



# 海洋付着生物の船底付着対策による海上輸送システムの効率向上に関する研究

花房, 元顕

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2013-09-25

(Date of Publication)

2014-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第5967号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005967>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

海洋付着生物の船底付着対策による  
海上輸送システムの効率向上に関する研究

2013 年（平成 25 年）7 月

神戸大学大学院自然科学研究科

花 房 元 顕

## 序

船舶の専用船化が進み、コンテナ船の本格的な輸送が日本に導入されてから約30年になる。現在、物流における当該輸送システムの役割は益々重要性を増すばかりであり、さらに大型化が加速している状態である。コンテナ船による貨物輸送はもはや海上定期船輸送としては一般的であり、今は大型化することによって得られるメリットの検討が必要となってきた。事実、10年前には単なる空想の域を出なかった積載コンテナ数18,000TEU（20フィート換算コンテナ個数）のコンテナ船の建造が、デンマーク船社のMaersk Lineの発注により韓国造船所で始まろうとしている。

通常、コンテナ船の運行効率の検討、メリットの検討に関しては建造初期の段階で、想定される諸々の費用（人件費やメンテナンス、燃料費など）を個別に算定し積算することにより行なわれてきたが、進水後変化していく諸費用を考慮した形での検討は比較的稀である。船舶には進水後、その水線下に徐々に海洋付着生物が付着・発育し、大型化して船体抵抗（主として摩擦抵抗）の原因の一つとなる。その影響は浸水表面積に比例して大きくなり、大型化することによりスケールメリットを産み出そうとするコンテナ船には大きな問題点となる。即ち、海洋付着生物の船底付着の問題をどうしても検討する必要が出てくることになる。

そこで、海洋付着生物の付着の船底付着対策による海上輸送システムの効率の検討は必要不可欠であり、船底防汚の必要性、重要性は益々高まってくる。そのためには、先ずその第一段階として海洋付着生物の生態の動向を先ず熟知する必要がある。海洋付着生物の生態を多方面から良くとらえた上であらゆる角度から実験をおこないその生態を先ず明らかにする必要がある。その上で、第二段階として、船底等に海洋付着生物の付着を防止する方策、しかも海洋そのものは汚損させない方法論の模索と実現が必要となってくる。整理すれば1) 海洋付着生物の生態を様々な角度から研究する。2) その付着機構も含め、海洋にも毒性が無く、効率上も遜色のない防汚システムの構築を目指す。3) 最後に、それらを踏まえたうえで、海上輸送システムのスケールエフェクトを十分に発揮する本来のニーズを保持しうる方法論の構築が必要となってくる。

本研究では、これらを3つの項目を踏まえた検討をおこなっている。本研究の成果が今後の海上輸送システムの効率向上と検討の指針となれば望外の幸せである。

# 目 次

<b>第1章 序 論</b> . . . . .	1
1.1 研究の目的 . . . . .	1
1.2 研究の内容 . . . . .	2
参考文献 . . . . .	3
<b>第2章 海洋付着生物の一般的生態と特性</b> . . . . .	4
2.1 海洋付着生物の発生と人類との係わり . . . . .	4
2.2 主要海洋付着生物とその生態 . . . . .	6
2.2.1 研究対象となる海洋付着生物 . . . . .	6
2.2.2 海洋付着生物の生態 . . . . .	6
2.2.3 汚損被害と汚損対策 . . . . .	9
2.3 まとめ . . . . .	9
2.4 基質の色相・明度と海洋付着生物の生態特性 . . . . .	16
2.4.1 はじめに . . . . .	16
2.5 実験方法 . . . . .	17
2.5.1 実験装置 . . . . .	17
2.5.2 実験時期・場所・観測項目 . . . . .	18
2.6 実験結果と考察 . . . . .	20
2.6.1 温度変化 . . . . .	20
2.6.2 付着量の相互比較と色相・明度との相関 . . . . .	23
2.7 おわりに . . . . .	25
参考文献 . . . . .	30
<b>第3章 無機抗菌剤による防汚の可能性の検討</b> . . . . .	34
3.1 はじめに . . . . .	34
3.2 細菌抑制による付着傾向の変化 . . . . .	35
3.2.1 実験方法 . . . . .	35
3.2.1.1 実験時期・観測項目 . . . . .	35
3.2.1.2 実験場所 . . . . .	35
3.2.1.3 実験装置 . . . . .	35
3.2.1.4 効力検査 . . . . .	35
3.2.1.5 海洋実験 . . . . .	35
3.3 実験結果と考察 . . . . .	36
3.3.1 温度変化・海水温度（表層&観測層）・pH・塩分・比重の変化 . . . . .	36
3.3.1.1 海水温度（表層・観測層） . . . . .	36

3.3.1.2	pH	36
3.3.1.3	塩分	36
3.3.1.4	海水比重	40
3.3.2	付着量・付着傾向	40
3.3.3	個体数	41
3.3.3.1	個体数詳細	42
3.3.3.2	個対数比較	43
3.3.3.3	個対数比較（フジツボ類）	43
3.3.3.4	個体数比較（ゴカイ類）	44
3.3.3.5	個体数比較（コケムシ類）	45
3.4	まとめ	48
3.5	無機抗菌剤添加塗膜への海洋付着生物の付着に関する研究	48
3.6	実験方法	48
3.6.1	実験時期・場所・観測項目	48
3.6.2	実験装置	49
3.7	実験結果と考察	51
3.7.1	温度変化・海水温度・pH・塩分・比重の変化	51
3.7.2	付着量・付着傾向	53
3.8	おわりに	55
3.9	海洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムの研究	56
3.9.1	実験方法	56
3.9.2	抗菌剤担持剤の開発	56
3.9.3	実験時期・場所・観測項目	57
3.9.3.1	実験海域	57
3.9.3.2	実験装置	58
3.10	実験結果と考察	58
3.10.1	温度変化・海水温度・pH・塩分・比重の変化	58
3.10.2	付着量・付着傾向	59
3.10.3	まとめ	64
3.11	おわりに	64
	参考文献	65

<b>第4章</b>	<b>清水港における海洋付着生物の生態分布について</b>	<b>70</b>
4.1	はじめに	70
4.2	清水港における海洋付着生物の付着状況	70
4.2.1	実験方法	70

4.2.2	実験機材および観測場所	70
4.3	実験結果	73
4.3.1	各観測項目と処理	73
4.3.2	付着状況について	73
4.3.3	生物相（類似度）について	75
4.4	考    察	75
4.4.1	過去の出現種との比較	75
4.5	付着生物の分布の特徴	77
4.5.1	付着傾向について	77
4.5.1.2	フジツボ類	78
4.5.1.3	ゴカイ類	78
4.5.1.4	コケムシ類	79
4.5.1.5	イガイ類	79
4.6	塩分との関連	79
4.7	巴川河川感潮域における生態	80
4.7.1	巴川について	80
4.8	付着実験	81
4.8.1	環境要因	81
4.9	結    果	81
4.9.1	環    境	81
4.9.2	出現種について	82
4.9.3	付着生物の分布	82
4.9.4	付着生物相の類似度	82
4.10	考    察	83
4.10.1	清水港と折戸湾および巴川の出現種	83
4.10.1.2	フジツボ類	83
4.10.1.3	ゴカイ類	83
4.11	付着生物の分布の特徴	88
4.11.1	他の研究との比較	88
4.11.2	塩分と種類別付着量の関係	92
4.12	おわりに	93
	参考文献	94
<b>第5章</b>	<b>世界のコンテナ船の費用コスト分析</b>	<b>98</b>
5.1	はじめに	98
5.2	コンテナ船の超大型化	98
5.2.1	コンテナ船大型化の推進者	98

5.2.2	日本の建造状態	99
5.2.3	他のアライアンスの動向	99
5.2.4	コンテナ船の大型化と採算	99
5.2.5	メガシップの妥当性	100
5.3	メガシップの就航可能性	101
5.3.1	社船の競合モデルによる就航可能性の検討	101
5.3.2	船底汚損への考慮	101
5.4	海洋付着生物の付着防止を考慮したコンテナ船費用分析	102
5.4.1	海洋付着生物付着観測実験と船体付着の計算	102
5.4.2	海洋付着生物の重量増加	103
5.4.3	計算対象船	105
5.4.3.1	対象コンテナ船	105
5.4.3.2	生物の付着による摩擦抵抗の増加	106
5.5	配船計画	108
5.5.1	コンテナ船の配船	108
5.5.2	各船の総費用	110
5.6	おわりに	113
	参考文献	114
	<b>第6章 結 論</b>	<b>117</b>
	<b>謝 辞</b>	<b>121</b>

## 第1章 序論

### 1.1 研究の目的

海洋付着生物が人類に認識されるようになってから現在までに、その研究は世界各国、様々な分野で、ありとあらゆる形式、方法で行なわれてきた<sup>(1),(2),(3)</sup>。それらの研究の多くは、現在までのところ最終目標として、「生態」、「分布」等を把握した上での人工海洋構造物への「付着防止」に重点がおかれているといえる。

しかし他方では、海産物としての価値を見出し、他の様々な水産資源と同様に「資源」として利用する研究がなされていることも事実である<sup>(4)(5)</sup>。また、最近では、海洋環境を生態の面から調査、評価する際の環境指標生物としての役割を果す生命体として、注目されつつある種属の存在も認められる。牡蠣やムラサキガイ、ホヤの一種やフジツボ類の一種のように養殖されたり、天然のものを食用に供したりする場合があります、人類に直接的に有意な種属もいる。

海洋付着生物は、人類とのかかわりの当初から、「汚損生物」としての位置付けのみがクローズアップされていたが、上記の他にも、水質の浄化等や藻類に属する海洋付着生物の乾燥体がミネラルを豊富に含み、農業肥料として有益であるなど、人類に有意な一面も併せ持つ場合が多分にあることも徐々に確認されつつある。

現在、記録されている海洋付着生物の種類は、世界的に見て約2000種で、生物群別には、バクテリアおよび菌類50、珪藻類110、海藻450、動物各群計約1240、そのうち基質に付着して棲息する固着生活種は、動物類の合計が824で、菌類等を合わせると、約1500であるといわれている<sup>(6)</sup>。

人工海洋構造物や特に「船舶」への付着は、その運行効率を低下させるだけではなく、海洋を主として地球の環境そのものを汚染させる原因となっている。

船舶への付着による運行効率の低下、すなわち運行コストの増加は、海上輸送システムそのものの重大な問題のひとつであり、船舶が専用化され、大型化の一步をたどる今日、決して見逃せない。この海洋付着生物の付着を防止する防汚技術については、人類が船舶等海洋構造物を海洋に投入して以来様々な形で模索模倣を繰り返し、検討してきたこれまでの結果を超えた検討事項であった。その間に船舶の形態は大きく変化していき、その必要性も重要性も少しずつ形を変えていったが、懸案事項であることに変わりはない。現在、一般貨物運搬のほぼ全てがコンテナ船に移行している。そしてそれらは目覚ましい速度で発達、大型化しており、関連する陸上施設や形態にも大きく影響をしている。従来主流であった雑貨船が、コンテナ船に代わり、それについて考えることは、海上輸送システムの約80%の効率向上を考えることに他ならないと考える。

本博士論文では、海洋付着生物が付着することによる海上輸送システムの受けるデメリットを把握し、海上輸送システムのコスト分析すること、ならびに船底への付着対策を具現化することにより、海上輸送システムの運行効率が大幅に向上することを述べる。

本論文では、まず、付着生物の生態を明らかにし、船底汚損対策を論じた後に、海上輸送システムへの海洋付着生物の船底への付着の影響と運行効率との関連について述べる。

## 1.2 研究の内容

本研究では、大きく5つに分けて研究を行なう。

第1章は「海洋付着生物の生態に関する研究」である。まず、その生態的特徴について様々な観点から論述する。

第2章では、これまでに述べられてきている海洋付着生物の一般的な生態と特性について一連の実験結果について述べる。特に2.4節では、従来問題とされてきた「基質の色相・明度と海洋付着生物の生態特性」について述べる。「基質」（海洋付着生物の被付着体）と海洋付着生物の幼生との関連については、長い間取沙汰されてきたが、そのなかで、ここではとりわけ、海洋付着生物の幼生と基質の色相（照度・明度・彩度）と幼生の選択性について行なった実験結果について述べる。防汚を考える場合、基質の正室がどのようなものであるかは非常に重要であり、特に基質の色相と明度については結果を大きく作用するため付着の傾向を把握するには非常に重要な要素となる。

第3章は「無機抗菌剤を用いた海洋構造物防汚システムの開発」について論述する。これまでの有機物質による防汚方法はその毒性のために敬遠されており、また、コストや船体への塗布に関しても汎用性が少ないため、無機物質を用いしかも海洋環境に影響を与えにくい抗菌物質によって、海洋付着生物の幼生の基質への付着を防止する方法について延べる。第1節では、「無機抗菌剤による防汚の可能性の検討」について述べる。具体的には無機物質による防汚の可能性について検討した実験について述べる。第2節では、前述の可能性の検討を行った後、「無機抗菌剤添加塗膜への海洋付着生物の付着に関する研究」に関して、行った予備実験について述べる。無機抗菌剤を用いて海洋付着生物の付着防止が可能であるか否かを確認する実験を行いその成果について述べる。第3節では「海洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムの研究」について述べる。つまり本章では、第2と3章の結果を考慮した上で、無機抗菌担持剤を開発する過程に関する実験について述べる。また、当該担持剤を用いた海洋付着生物の付着防止効果の確認実験について述べる。第4章では清水港における海洋付着生物の生体分布について述べる。後述するコンテナ船への船底付着の量や海洋付着生物の種類に関するデータの収集と分布の季節ごとの傾向を知ることを目的としておこなった実験結果について述べる。

第5章では「コンテナ船の運用コスト分析」について論述する。まずは「海上コンテナ輸送の動向」について述べる。ここでは、定期船輸送を大きく変化させたコンテナ船について述べ、特に、コンテナ船の大型化について考察を加える。更にメガコンテナ船の就航可能性や、稼動採算性について論述する。さらに5章の最終節では「世界のコンテナ船の運行費用コスト分析」について論述する。つまり、ここではこれまでの各章で明らかにした海洋付着生物の生態とそれを加味した上で作製した無機抗菌剤塗料添加剤を塗布した場合とそうでない場合のコンテナ船底への海洋付着生物の付着についてその運行効率について比較した運航費用の分析結果について述べる。

最後に、第6章では結論として全体を取りまとめる。

参考文献

- (1) 梶原武,海産汚損付着生物の生態学的研究,長崎大学水産学部研報,16,pp1～138.,1964.
- (2) 梶原武,概論:海洋付着生物.海洋科学,16(3),pp128～133.,1984.
- (3) Crisp,M.,The development of the serpulid *Pomatoleios kraussii* (Annelida,Polychaeta).j.Zool.183,pp147～160.,1977
- (4) 梶原武,海産付着生物をめぐる諸問題,海産付着生物と水産増養殖(梶原武編),恒星社 恒生閣,pp9～17.,1987.
- (5) 橘高次郎,付着生物の捕食者-ウニ・ロブスター-,海洋化学,16,pp146～152, 1984.
- (6) 梶原武,海産付着生物をめぐる諸問題,海産付着生物と水産増養殖(梶原武編),恒星社 恒生閣,pp9～17.,1987.

## 第2章 海洋付着生物の一般的生態

### 2.1 海洋付着生物の発生と人類との係わり

海洋付着生物のうち、大型海洋付着生物の一種で比較的大きな外殻を持つフジツボ類に関しては、カンブリア紀中期（約4億年前）に化石の存在が認められている。

地球の歴史において、海洋付着生物の誕生がいつ頃であり、人類と係わりを持ち出したのはいつ頃どのようにしてかは不明である。従来、ほとんどの場合、海産生物は人類にとって「食糧」として定義づけられる場合が多かった。日本にも、一部地域において蔓脚類、主としてフジツボ類を食用とした記録があり、現在においても、食用として利用している例がある。明治時代にはフジツボが天皇陛下への献上品であったという記録も残っている。

しかしながら、人類との海洋付着生物との係わりの中で、もっとも際立った関係としてとらえられるのは、やはり、船舶や魚網、リグやブイ等の人工構造物を海中に投入したときに、その投入目的を阻害する状況を作り出すこととなると考えられる。いわゆる汚損生物としての位置付けであろう。その汚損生物は表2.1に示すとおりに分類されている。

人類が最初に海洋に投入した人工の構造物は、小さな漁具を除けば、恐らく船舶であっ

表 2.1 損生物分類

分 類 群		総種類数	固着性種類	
微小汚損生物	細菌類、真菌類	51	51	
	珪藻類	111	111	
	原生動物	99	21	
	計	261	183	
大型汚損生物	海 藻 類		452	452
	無脊椎動物	海綿類	33	33
		腔腸動物	286	286
		環形動物	108	35
		触手動物	139	139
		軟体動物	218	95
		節足動物	292	120
		棘皮植物	19	0
		原索動物	116	116
		その他の無脊椎動物	29	0
		計	1240	824
合 計	1953	1459		

たと推察できる。世界最古の海洋民族として知られる古代フェニキア人、カルタゴ人は船

底汚損防止のために早期からピッチや銅を船底塗料として使用していたといわれている。この他にピッチやタール、アスファルトといった類もかなり初期から利用されていた形跡がある。

この場合の海洋付着生物に対する人類の認識は「汚損生物」であり、また、船体の防腐の目的も含めて、防汚塗料の始まりはこの時代にそのルーツがあると考えられる(①)~(⑦)。

表 2.2 に示すとおり、防汚塗料の歴史は古く、前述の例も含めると紀元前 400 年にさかのぼる。紀元前 3 世紀にはじまったタールやワックス、鉛板被膜等の使用は 18 世紀まで継続され、13 世紀頃にはじまったピッチの使用に関しても同様である。

防汚塗料の確立という意味では、1625 年英国のビールが特許を取得した防汚塗料がその位置にあるといえる。19 世紀には銅、ヒ素、水銀化合物等を単独もしくは化学合成して使用していた。20 世紀に入り、18 ヶ月間速度低下、燃費の増加のない防汚塗料が開発される。1960 年代に入り、有機スズ系の塗料は、環境への影響が大であるとの理由から全面的に使用禁止の方向へ傾倒する。2003 年 1 月からは船体への塗装が禁止され、2008 年には、有機スズ系塗料の船体への残存が禁止される運びとなった。

人類と海洋付着生物の係わり合いは、捕食と被捕食といういわゆる「海産物」という位置付けではなく、人類の目的を阻害する関係が形成されていたといえる。

表 2.2 防汚塗料の略史

時 代	方 法
BC 412	殺生物活性のあるヒ素と硫黄の混合物を防汚剤として使用
BC 3 世紀	タール、ワックス、鉛板被膜を防汚目的で使用（18 世紀まで使用される）
13 世紀	ピッチの使用
1625 年	英国・ビール 防汚塗料の特許取得
19 世紀	銅、ヒ素、水銀化合物を単独もしくは化合して使用
1940 年代	18 ヶ月スピードの低下や燃費の増加のない防汚塗料の開発
1950 年代	塩化ビニル系防汚塗料の開発（軽金属製船底の船底金属腐食問題）
1960 年代	T B T O（ビス・トリブチルスズ・オキシド）を第一種特定化学物質に指定
1990 年代	毒性の防汚剤を用いないシリコンゴム、シリコン樹脂を用いた塗料の開発
2000 年代	2003.T B T の船体塗装禁止、2008 以降船体表面に塗料存在不可 新しい無公害塗料の研究・開発 ⇒ ケイ素系加水分解塗料、ジ クピリチオン塗料 等 の開発

その結果、どのようにして「汚損被害」を「防除」するかはその多くの時間と経費が費やされている。

## 2.2 主要海洋付着生物とその生態

### 2.2.1 研究対象となる海洋付着生物

表 2.3 に日本を中心とした海洋付着生物の研究のうち、主なものを整理した。日本の海洋付着生物研究は、概ね 1945 年以降に開始される。それまで、研究は帝国海軍がその主導権を掌握しており、自由な研究はままならず、防汚研究となると化学が主体であり、生態研究はその主眼からはなれ海洋付着生物種の同定を行なう程度であった<sup>(8)</sup>。

帝国海軍の制約がなくなった 1945 年頃以降から、海洋付着生物の生態や種の分類に関して全国的な調査研究が開始された。海洋付着生物の研究は、その当初、生態学が中心であったが、付着を合理的に防止するという視野でアプローチをする場合、化学的、物理学的（工学的）もしくはそれらを取り合わせた方法がとられている。

生態学では、生物としての成立ちやその機構・構造、生活史等にスポットが当てられ、化学、物理学的（工学的）なアプローチとしては、その付着機構と誘引、忌避物質の同定、もしくは抜本的な防汚方法の模索等が挙げられる。

多種多様な海洋付着生物のうち問題の「汚損生物」となっているのは、フジツボ類、ゴカイ類、コケムシ類等の一定の大型海洋付着生物であることが多い。表 2.4 に代表的な大型海洋付着生物の分類、幼生の生態等を整理した。蔓脚類に属するフジツボ類やカンザシゴカイ等の管棲多毛類、コケムシ類やムラサキイガイ等がその代表種であり、その他にスライムと総称されるバクテリアや珪藻類等も対象となる。

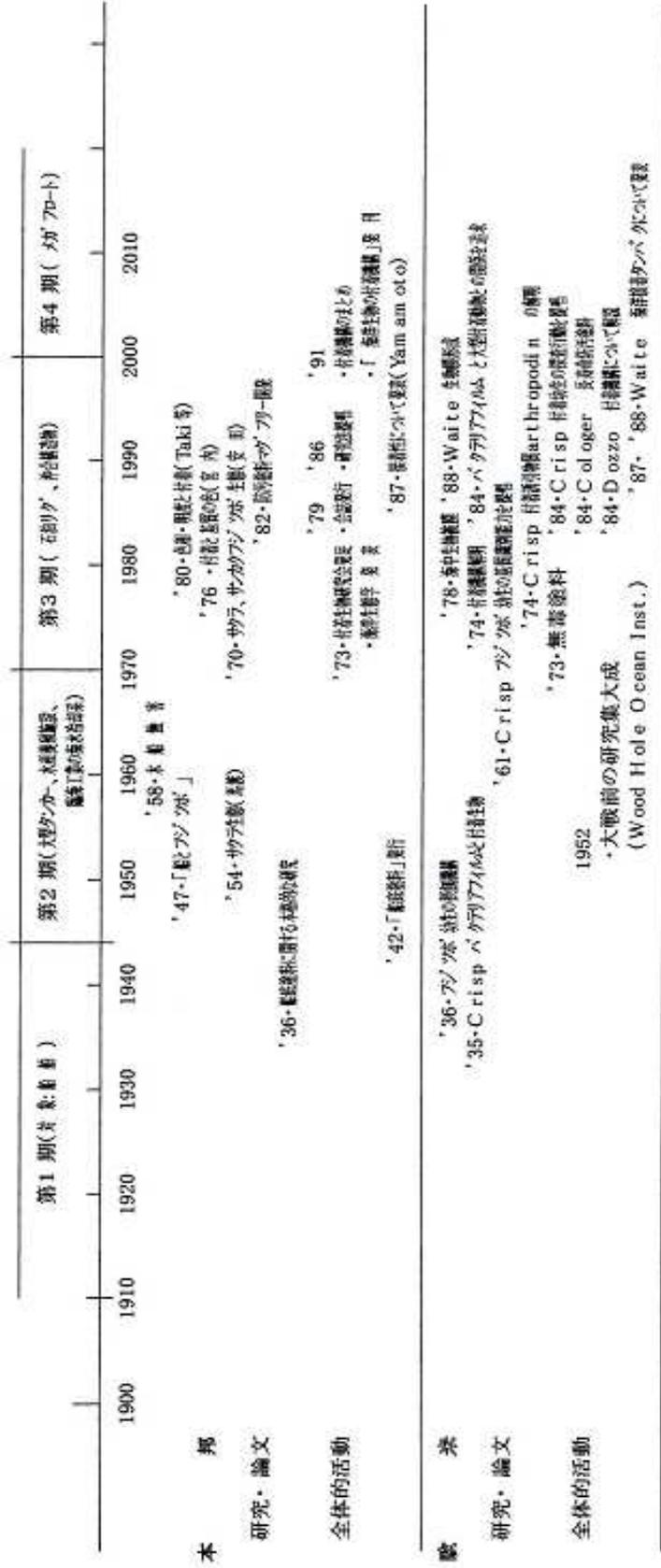
これら各海洋付着生物も、スポット的に研究対象とされた時期がそれぞれ異なっている。表 2.3 に海洋付着生物の研究の歴史を簡単に示した。日本では、その時期を戦前から今日にかけて 3 期から 4 期に分けて考えられているが、人類が海中に投入した構造物の種類、形状等によってそれぞれの期間を定義している。第 1 期は従来の懸案である「船舶」への付着問題が中心であり、第 2 期では水産養殖施設、臨海工場の海水冷却系、第 3 期は石油掘削リグ等の沖合の大型構造物が焦点となり、現在では、これら従来の懸案事項も含め、メガフロート等の大型の沖合浮構造物が第 4 期の対象物として挙げられる。

### 2.2.2 海洋付着生物の生態

対象とする海洋付着生物により、その生活史も生態も異なる。表 2.4 に示したとおり、幼生期の段階的な複数回の変態や、着床時の方法とメカニズムに関しても、海洋付着生物毎に多種多様な形態をとる。

代表的な例として、フジツボ類やゴカイ類等は幼生の段階で数回の成長後、付着幼生となり変態を行なう。他の海洋付着生物に関しても、この様な浮遊生活の後、甲殻を有する、いわゆる成体に変態する過程を経るものは少なくない。付着機構の解明には、各海洋付着

表 2.3 日本欧米各国における海洋付着生物研究 (海洋付着生物と人類の係わり：研究の歴史)



備考

区分根拠：海中構造物及び主要な汚損種の変化を目的として区分  
 第1期：海軍が主導権——防汚研究では、化学主体、生物学は種類の査定を行う従的役割  
 第2期：旧海軍による制約無く——全国的な港湾付着生物調査。生態、主要な付着動物群の分類研究。第2次大戦までの付着生物の研究を集成  
 第3期：多分野相立——工学：付着防止研究中心。生物学：付着傾向、分類。化学：非被付着基質（新塗料）の開発。

付着生物」の3つのエレメント、すなわち「基質」「海水」「付着生物」が一定の条件のもとでバランスよく存在することが必要である。また、逆に、3つのエレメントのバランスが変化すれば、付着の傾向（付着量や付着速度等）は変化する。付着の傾向は、基質の種類（材質、構造、表面粗度、硬度、色相・明度等）、海水の状況（温度、塩分、pH、比重等）ならびに当該海域に潜在する海洋付着生物とその幼生およびその種類により様々に変化するが、この内、我々が比較的意図的に変化させることが可能なのは、基質であり、付着傾向の確認を行なう場合の手段の一つである。

付着量そのものの変化に関しては、2つの大きなエレメントが関連をしていると考えられる。1つは付着可能な空間であり、もう一つは摂取可能な餌の存在量である。付着後は、移動することなく摂餌をおこなう海洋付着生物種にとって、付着場所に接近する餌の量の多少は付着選択の重要なエレメントである。また、それに関連して垂直分布や水平分布も場所によって変動的である。

付着幼生となった最終的な幼生は、付着場所の選択を行ない固着する。付着幼生となるきっかけが、生理的な年齢であるか、他の要因によるものかは明確ではないが、一般的には誕生後の時間経過の多い幼生に関しては付着基質に対する選択性が狭まる。また、投与すると変態を促す物質の存在も確認されてはいるが、その反応には極めて微妙な条件の成立が必要であり、恒常的であるとはいえない。

一般的には、基質が海中に初めて投入されてから、大型海洋付着生物の付着が開始されるまでには、様々な条件により変化はあるものの、ほぼ5日から7日間の間隔があるといわれている<sup>(9)(10)</sup>。その間に、大型海洋付着生物の付着を誘引する準備作業とも考えられる基質表面への被膜の形成が、バクテリアの活動を第一段階として、微細藻類や珪藻類によって行なわれる。大型海洋付着生物の付着誘引には、必ずしもバクテリア等の生物被膜は必要ないとする報告<sup>(11)</sup>もあるが、数例に過ぎず、恒常的ではなく、通常は前述の過程を踏襲する。

大型海洋付着生物の幼生は、それらの準備段階の作業が終了した基質に対して、付着のための行動を開始する。全ての海洋付着生物に関して確認されているわけではないが、付着・変態すべき基質を探索する滑走運動や匍匐運動を行ない、付着基質の選択をする。

例としてフジツボ類の一般的な付着生態を示すと、付着の際に匍匐行動を行ない、付着基質の性状（色（色相・明度・彩度）、表面組成（材質、粗度や硬度））を探索を行なった後、一時的に付着しそれを繰り返した後永久付着を行なう。ただし、その付着への過程は、光の射入、付近の水流速度など自然の偶然的要因に大きく左右されると同時に、幼生の付着を誘引する物理的、化学的要因に大きく依存する。一方、逆に付着幼生が忌避する物質や状況等も多数確認されており、付着傾向変化の一つの条件としてとらえられている。

フジツボ類の付着幼生が示す生態の一部分として、1) 走光性：付着の最終幼生であるキプリス幼生までの幼生では正の走光性を示し、変態するときには逆に負の走光性を示す、2) 基質の選択：基質の色（色相・明度）、材質、表面粗度等をパラメータとして選択する、3) 水流：付着可能な流速があり、実験室における実験では、5~8 cm/s で最も付着が生

じやすく、0 c m/s では付着は発生しにくく、36 c m/s 以上の流速が基質の周囲に存在すると、付着は発生しないという報告がある<sup>(11)(12)</sup>。

その他に 4) 個体識別能力：既付着の種もしくは剥離の跡からでも同種の海洋付着生物種を同定することが可能である、5) 付着密度認識：同種同士では、先着個体と間隔をとって付着する、6) 一次付着・永久付着：基質の選択後一時的に付着し、基質を判定する。基質が適当と判断すると永久付着を行なう。等といった特徴がある。

また、異種の海洋付着生物相互には付着場所を確保するための空間競争、異性物による捕食やグレイジング（剥離行動）等の作用が効果しており、群集や主の増減等の変化にも影響している。空間の確保に関しては、争奪とともに異種間では時期により、逆に譲り合うかのような付着傾向を示すことも確認されている<sup>(13)(18)</sup>。

### 2.2.3 汚損被害と汚損対策

海洋における様々な人工構造物への付着被害の例を表 2.5 に示した。被害の対象となる人工基質は船舶や海水利用システム、ブイやオイルリグといった工業的なものから、養殖用魚網、定置網などの水産的なものに大別できる。

表 2.5 はこれらの被害に対する対策（手段、手法）のうち主に汚損防止の方法に関して、分野別に分類しその問題点について整理したものである。海洋生物付着への対策は、「汚損防止」と「汚損除去」の 2 つに分かれる。汚損防止に関しては、現在のところ各方法とも十分に効果がありその再現性が補償されているものは、毒性の極めて高い塗料以外にはないといってよい。海洋付着生物の完全防汚は毒性塗料によってのみ完結をみており、他の方法論に関しては、研究段階もしくは検討段階といっても過言ではない。

汚損除去に関しては人工的な手段による剥離がその主方法となるが、狭い水管やプラント内の特殊な部位などの剥離除去等には、特別な装置や方法が必要となり、海洋付着生物汚損が経済的に当該プラント等の設置目的を駆逐するが多い。

しかしながら現在、これら人類の目的のみに終始した形での方法論は「環境への配慮」を合言葉に検討、縮小の方向へ策を転換せざるを得ない状況になりつつある。極めて短いタームの、人類に対してのみの利便性の追求が、結果的に長期継続した場合、人類を含む全ての生態系とそのバランスに少なからず影響を与えることが示唆されている。

表 2.6 から表 2.8 は、物理学的（工学的）方法とは別に、化学的、生化学的方法の模索例の一つとして、海洋付着生物の付着誘引ならびに付着忌避物質の同定を行なった例である。付着を誘引もしくは忌避する物質が判明し、その効果が恒常的であるなら、また、それらの物質が他の生命体から自然のかたちで化学的変化なく抽出、合成された物質であれば、海洋付着生物の付着防止対策に環境の面からも大きな一歩となる可能性は高い。

## 2.3 まとめ

海洋付着生物と人類とのコンフリクトの起源は、人類が海洋を生活の糧として利用しはじめた太古の昔にさかのぼる。以来さまざまな手法が発案され実験開発されたが、完璧と呼べる手法はその毒性によって海洋汚染を引き起こすもの以外にはなかった。

このような方法は早急に排斥されるべきである。自然環境保護の立場から決して妥協は

ない。人類は、海洋にあらゆる物体を投入し利用している。海水の導入出、船舶の浮揚、海上構造物の建築、ブイの投入、魚網や養殖用施設の投入、巨大浮揚物の投入等、その形態が様々に異なる。それらに等しく適用可能な防汚方法の模索は急務である。

通常、相互の問題を解決する手段として「コンフリクトアナリシス」を行うが、そこにおいては、双方の妥協や選択の優先性等、インデックスが解決方法の根幹をなす<sup>(19)</sup>。海洋付着生物の様に相手の妥協案が明確で無い場合、問題の解決は困難である。海洋付着生物の付着は付着防止の方向で考えるのではなく、付着の傾向に従って、付着を予め容認した状況で我々人類のニーズに合う形で完遂させることも考えられる。

具体的には1) 海洋を主体とし、自然環境を著しくかつ急速に変化させ、生態系（エコシステム）に直接、間接的にかつ過激作用しこれを破壊するものでないこと。2) 海洋人口構造物や船舶の人類に対するニーズが破壊されないこと。3) 科学の進歩を無視し、妨げる方法ではないこと。などの考え方が必要となる。



表 2.5 海洋付着生物付着被害例

被害対象	具 体 例
船舶(船底) オイルリグ等の海洋構造物	浮力の減少 波浪抵抗の増加 局部・隙間腐食 防食塗膜強度の低下 燃料消費量の増加 船殻表面の破損
海水利用システム 陸海発電所 海水淡水化プラント LMC気化器 海洋エネルギー発電システム 海水揚水発電所 製塩システム 水産養殖システム 海水取放水施設(上記プラントに付随する) 海水導水路の汚損被害	流路縮小による流動阻害と電熱阻害 汚損生物による腐食 熱交換器の腐食 水路断面縮小による流量の低下・ポンプ動力の増加 表面粗度の増加による流量の低下・ポンプ動力の増加 壁面からの脱落により、機械を閉塞することによる流量の低下・ポンプ動力の増加・器具の損傷 貝類などの養殖生物の斃死 海水取水施設・熱交換器・船底に付着し流量低下・腐食・船速低減 スラ임等による被害(パイプなどの流量低下・熱伝導率の低下・有菌状態では腐食性拡大)
その他 橋脚型構造物 プイ型構造物 漁礁型構造物(各種魚網等含む)	係留力の浮力増大 浮材の劣化・損傷 網目の閉塞・重量増加・形状変形

表 2.6 海洋付着生物付着防止対策の方法別分類（梶原，1991，文献（8））を改変

方 法	手 段	手 法；具体的方法等	問 題 点
生物学的法	捕食種による捕食	細菌防除；酵母、ウイルス、バクテリオファージ 付着幼生駆除；巻貝類による捕食 成体駆除；カニ、ロブスター、ヒザメ、ヒゲ等	確実性に欠ける 生態系バランスへの配慮必要
物理学的法	基質及び 基質表面処理	材 質；銅、銅合金 表面処理；軟質、伸縮、振動、 防汚塗装；シリコン、パラフィン（ワックス）アクリル系、 ガラス、ブクセンアクリロトリレン樹脂、 シリコン、イオノセメント	時間経過と共に効果減少 表面への有機物質の付着で 効果減少 銅に関しては環境汚染に注意
	幼生の流入、 付着防止	流入防止；取水水深の変動、日間変動、 マイクロシレータ、スクリーン使用 ロープネット、エヤカーテン	装置が大掛り、 保守、整備が比較的困難 経済的に不利
	スライム、幼生の 駆除または殺菌	音、光、色；紫外線、ストロボライト 電 撃 環境変化；昇温、酸欠、淡水化、干出	殺菌までに時間の経過が必要 電力等経済的に不利
	付着生物 スライム除去	洗 浄；スポンジボール 機械的洗浄；ジェット式、回転円盤 回転ブラシ、吸引、洗浄	付着場所により 薄利不可能な 部分あり 電氣的、時間的効率悪し
化学的 生化学的誌		化学的殺菌殺菌；有機銅系、亜酸化銅系 生化的着生阻害；付着分泌物の分泌阻害 糖タンパク質の付着阻害  幼生、成体の受精阻害、成体成熟阻害； 幼若ホルモン利用、受精又は成熟阻害  天然物による付着忌避； 物質による付着忌避 溶菌酵素による阻害	重金属による海洋汚染とそれ に伴う生態系バランスの崩壊  自然界への散布は要注意 (懸浮微粒子の懸濁)  効果の再現性と継続性に難有

表 2.7 海洋付着生物毎にみた付着誘引 (活性) 物質

種		族	付着誘引または変態要素
腔腸動物	ヒドロ虫	タマウミヒドラ カイウミヒドラ	ヨレモクの抽出液 等バクテリアの皮膜から拡散する物質 セシウム、ルビジウム、リチウム、H. エステル
環形動物	多毛類	カンムリゴカイ ウスマキゴカイ	他のゴカイの棲管、周辺の砂、クククラタンパク 不飽和脂肪酸、バクテリア皮膜
軟体動物	カキ 蛤類	アメリカガキ <i>Mytilus edulis</i> < <i>Mcalifornianus</i>	バクテリア皮膜、LST (グラム陰性細菌の拡散液)
節足動物	フジツボ類	<i>B. amphitrite</i> <i>B. balanoides</i> <i>B. galeatus</i>	誘引フェロモン (水中拡散)、着底誘引物質 <i>arthropodin</i> (タンパク質) <i>mimics</i> ZR-512: 変態誘起物質 (量が微妙)

表 2.8 着生物の付着忌避活性物質

陸上植物より抽出される忌避活性物質	抽出植物名
Xanthatin	Xanthium Strumarium (オナモミ)
Pittosporanosi de Al	Pittosporum tobira (トベラ)
活性物質 A、B (未銘々)	Cotyledon japonica (ジエズダマ)
ニコチン酸アミド	Mallotus japonicus (アカメガシワ)
ケンフェロール・アシル化配糖体	Quercus dentata (カシワ)
ω-S-メチル芥子油	Wasabi japonica, Cochlearia armoricana (ワサビ属植物)

## 2.4 基質の色相・明度と海洋付着生物の生態特性

### 2.4.1 はじめに

現在までに、実に様々な付着防止の方法が検討され実用化されたが<sup>(1)-(9)</sup>、結果的に納得できる成果として認められる最も簡便な方法は、毒性の塗料によるものであろう。しかしながら、地球の自然破壊が懸念されはじめ、その被害が目に見える形で表面化するようになった近年、もはや毒性塗料による付着防止という方法は適切ではない。

ここでは、6000種を超えるといわれる付着生物の内、比較的大型で、かつ近年、大型の海洋投入構造物等に対する被害が著しく顕著である付着生物群に着目し、その付着傾向の一部をより明らかにすることを目標に、実験を行う。

そもそも付着生物の付着は図 2.9 に示す様に、付着生物に着床場所である「基質」、付着生物の生命を維持し基質に浮力を与える「海水」、そして直接原因である「付着生物」の3つのエレメントが一定の条件のもとでバランスよく存在することが必要であり、また、これら3つのエレメントのバランスを変化させることにより、付着の傾向は変化する。付着の傾向は、基質の種類（材質、構造、表面粗度、硬度、色相・明度等）、海水の状況（温度、塩分、pH、比重）により様々に変化するが、この内、我々が比較的意図的に変化させることが可能なのは、基質であり、付着傾向の確認をパラメトリックに行う手段の一つである。基質の種類による付着傾向は過去に同一海域で確認、報告しているが<sup>(10)-(14)</sup>、本論では、そのうち最も重要と思われる、基質の色相・明度をパラメタとした場合の付着傾向に関して、過去の研究例を踏まえながら、より詳細な実験を行う。

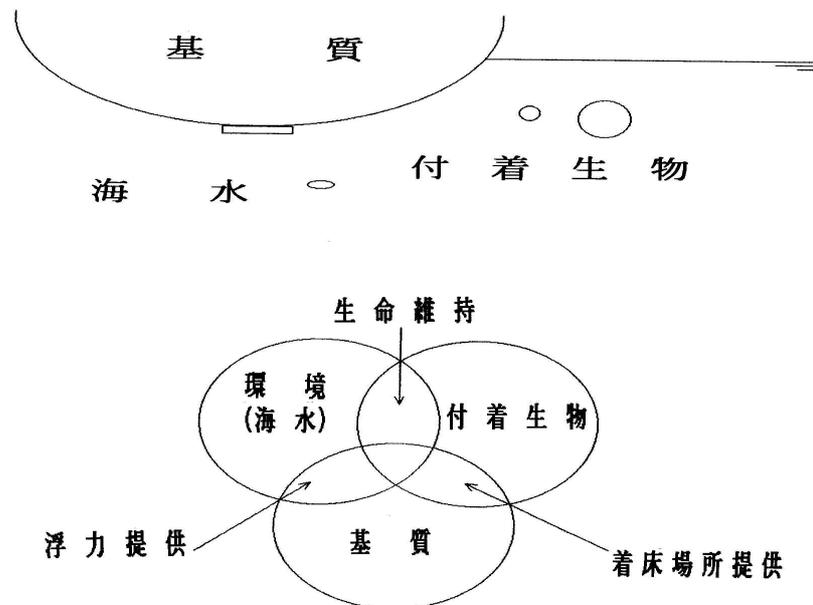


図 2.9 付着エレメントの相互関係

## 2.5 実験方法

### 2.5.1 実験装置

基質の色相・明度の違いによる付着傾向の変化については、主にフジツボ類を中心にして、過去に様々な研究<sup>(15)~(19)</sup>がされている。これら過去の一連の実験では、異色相、異明度の実験板を利用したもので、両者の何れかを固定し、他方をパラメトリックにとった実験は行われていない。現在までの研究報告では、基質の色相と明度の違いを原因として付着序列が発生するか否かのみであり、色相のみまたは明度のみが変化した場合の付着序列発生の有無に関しては、不明な点が多い。そこで、ここでは同色相異明度の実験板を図 2.10 に示すマンセル色相の表示に従って数色相選択し、色相ならびに明度の違いによる付着序列をより明確にする実験を行った。

図 2.10 はマンセル色相表 (Japan) で、横軸は、主だった色相を段階的に表示しており、縦軸は、上から明度 10、最下段は明度 2 で、左欄外の白黒色相 (貧明色) 明度 1 は黒となる。今回実験板に塗布したペイントの色相・明度も、これらに準拠しており、表の左右端よりほぼ同一列数に位置する黄色系と青色系、ならびに最左列に位置する白黒系を選択した。各色系に関しては明度 5、7、9 (以下青色系は B5・B7・B9、黄色系は Y5・Y7・Y9、白色系は W5・W7・W9 と略す。) を使用した。また、明度のない透明なアクリル板を試験的に 1 枚、計 10 枚を 1 セットとした。この他に、黒色から白色まで明度を 5 段階に分けた実験板 (以下 B L1、B L3、B L5、B L7、B L9 と略す) 5 枚を用意した。

実験板は図 2.11(a) に示すように、200mm のアクリル板 2 枚を 1 組とし、板表面に選択した色相・明度に該当するペイントを塗布し、塗布面を貼り合せ、板厚 2mm の実験板とする。なお、実験に用いた色相および明度に関しては、表 2.9 にまとめた。

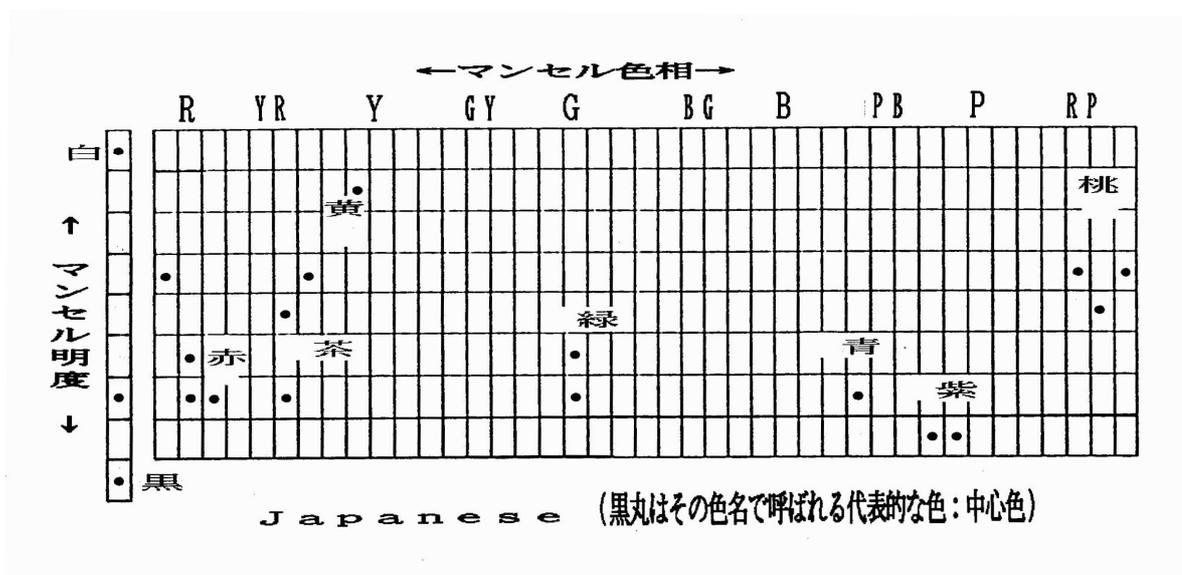


図 2.10 実験板に使用したマンセル色相表 (JAPAN) 上の色相・明度

これらの実験板を図 2.11(b)に示すフレームに等間隔に固定し、実験時期の最付着量観測水層である<sup>(20),(21)</sup>水面下 2mに実験板の中心が浸水する様にロープで木材とブイを附した木枠を連結、下方には装置の安定と振れ防止のために重錘を取り付けた。

### 2.5.2 実験時期・場所・観測項目

静岡県清水市（当時）において海洋付着生物が付着しやすい時期は、海域の如何を問わず水温が最も上昇し、交尾繁殖の好機となる 6 月、7 月、8 月<sup>(22)~(33)</sup>といわれている。そのため実験を行うのは 8 月頃が最も適している。しかし、生命維持と繁殖のために、本来は呈し得ない性質を示したり、あるいは逆に本来持っている性質や特性を発揮しない恐れがあるため、今回の実験目的にそぐわない期間であると判断できる。そこで実験期間は、徐々に水温が下降し、付着優勢種の相互勢力が安定期に入る 9 月以降とした。また、今回実験場所を選択した折戸湾では、12 月以降とした。この時期は、フジツボ類等、甲殻を有する第 1 種付着生物群およびコケムシ等の第 2 種付着生物群に属する生物の付着が極めて減少することが明らかになっている<sup>(34),(35)</sup>。この時期における付着状況も確認するため、9 月 13 日（新月、大潮）～10 月 12 日（新月、大潮）を第 1 期、10 月 12 日（新月、大潮）～11 月 11 日（新月、大潮）を第 2 期として実験を行った。

図 2.12 に実験場所を示す。実験場所は、静岡県清水市清水港折戸湾内である。この海域は小型の船舶が常時停泊し、清水港の中で最湾奥に位置し還流がほとんどなく、この種の調査実験を行うのに適している。

実験機材は同図に示す様に、No. 1（臨海実験場）、同ポイントから 50mの離隔距離で No. 2（貯木場 1）、さらに 50mの間隔をあけて No. 3（貯木場 2）の 3ヶ所に実験機材を投入した。実験装置の設置の方向は、実験板の船用航路側を「表」、逆側を「裏」と定義し、太陽光線の照射方向の違いによる影響も併せて観察するために、No. 1 の実験板は表を南東、裏を北西に、No. 2、No. 3 の実験板は表を北東、裏を南西に向け設置した。

表 2.9 実験板に塗布した塗料の色相と明度

色 相 \ 明 度	1	3	5	7	9
Blue			○	○	○
Yellow			○	○	○
White (チタニウムホワイト)			○	○	○
Black (マースブラック) / (ニュートリカグレイ 3, 5, 7) White (チタニウムホワイト)	○	○	○	○	○

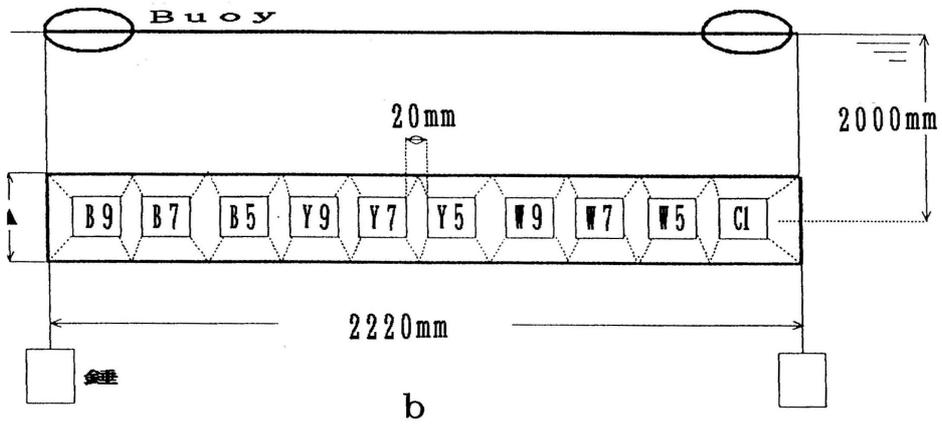
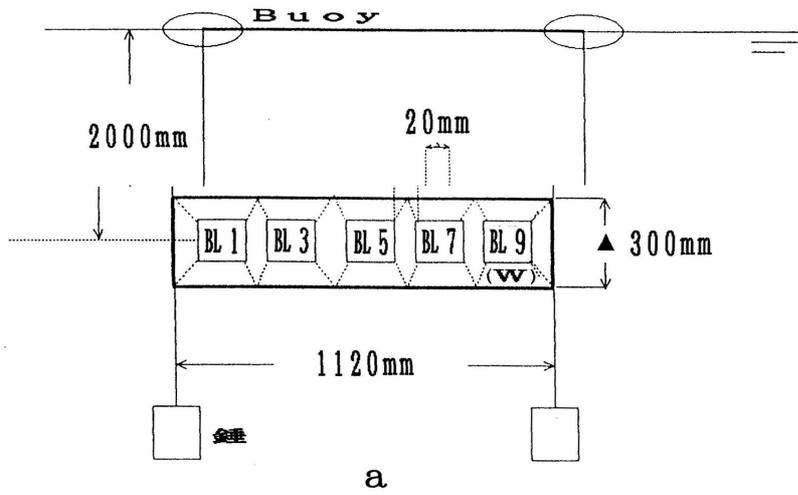


図 2.11 実験装置 ((a) :Black to White, (b) :Blue, Yellow, White, Clear)

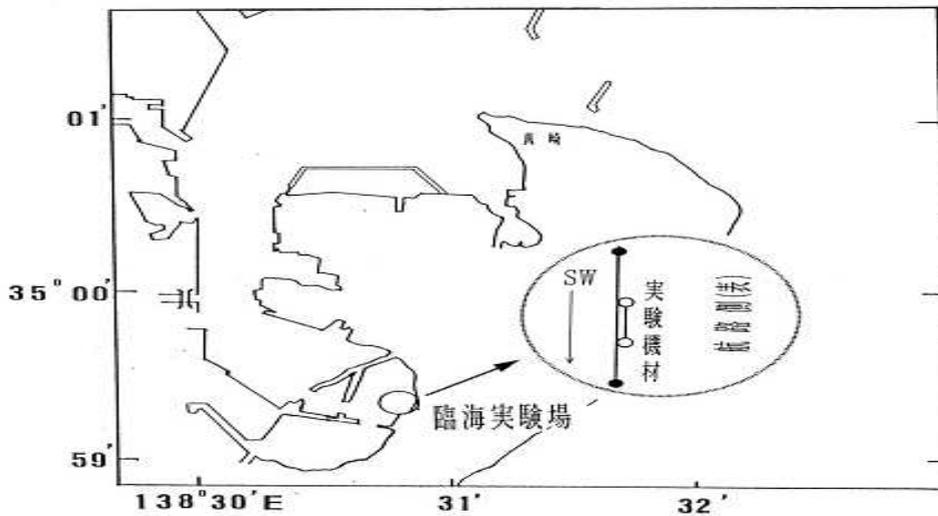


図 2.12 実験場所 (静岡県清水市折戸)

実験では、場所の違いによる影響、時期の違いによる影響や実験板の設置方向の違いによる影響を考慮しながら、色相と明度をパラメタとした付着傾向を観察した。実験中の観測項目として、気温、湿度、表面海水温度、観測層海水温度、pH、塩分を観測期間中毎日定時に測定した。また、実験板回収後の観測項目として、湿潤重量、乾燥重量の計測、第1種、第2種付着生物群個体数の底径、体長別計測を行った。

## 2.6 実験結果と考察

### 2.6.1 温度変化

図 2.13 から図 2.16 に今回の実験期間中の、第1期ならびに第2期の実験場所付近における気温および各実験場所の観測層海水温を示す。新月から満月までの約15日間を1単位とし、横軸には実験開始の日付を、縦軸には温度を取り、それらの変化をグラフ化した。

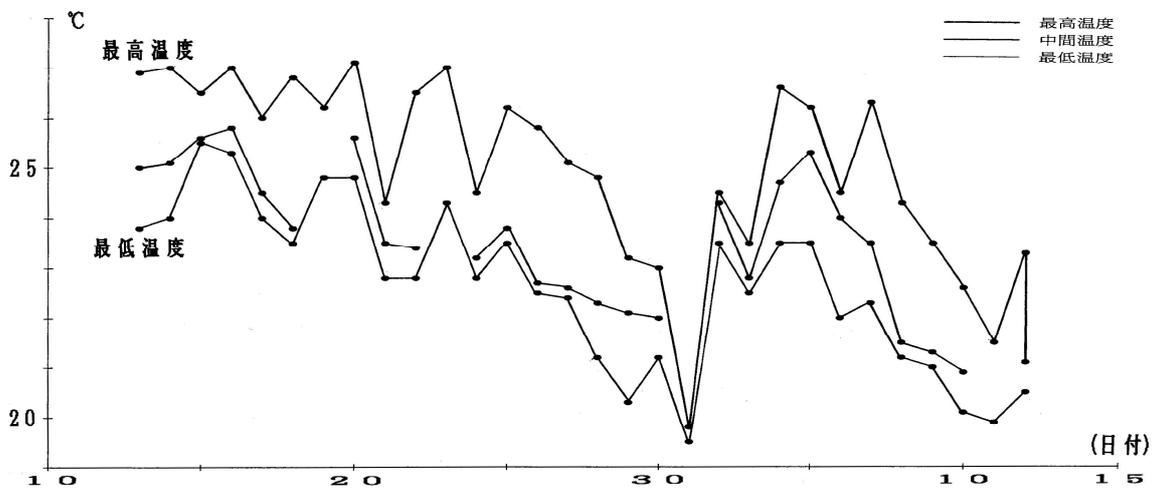


図 2.13 観測中気温変化 (9/13~10/12 : 第1期)

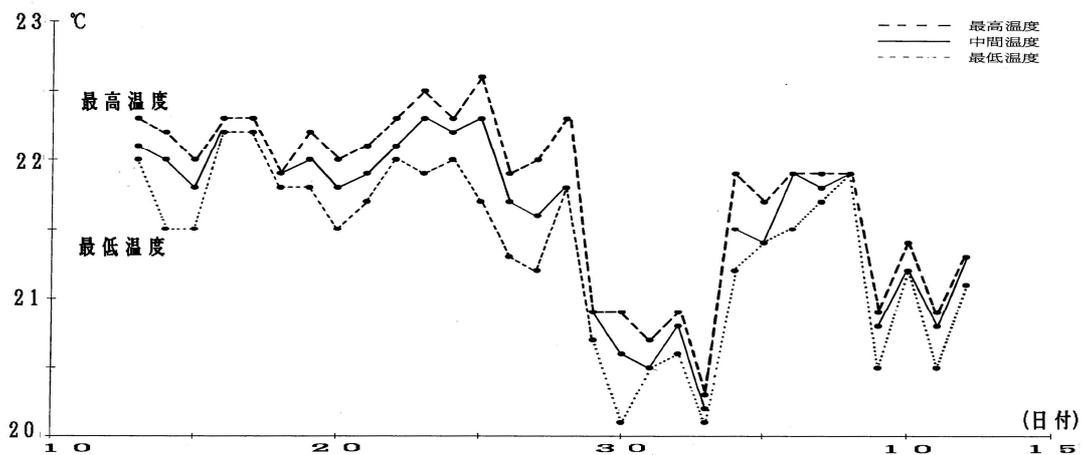


図 2.14 実験装置設置場所No. 1の観測層海水温 (9/13~10/12 : 第1期)

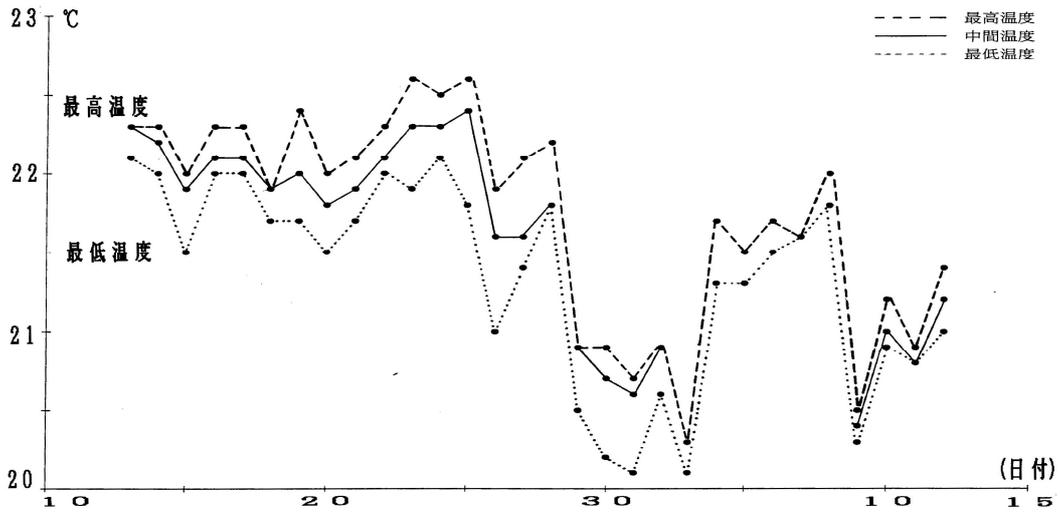


図 2.15 実験装置設置場所No. 2 の 実験層海水温 (9/13~10/12 : 第 1 期)

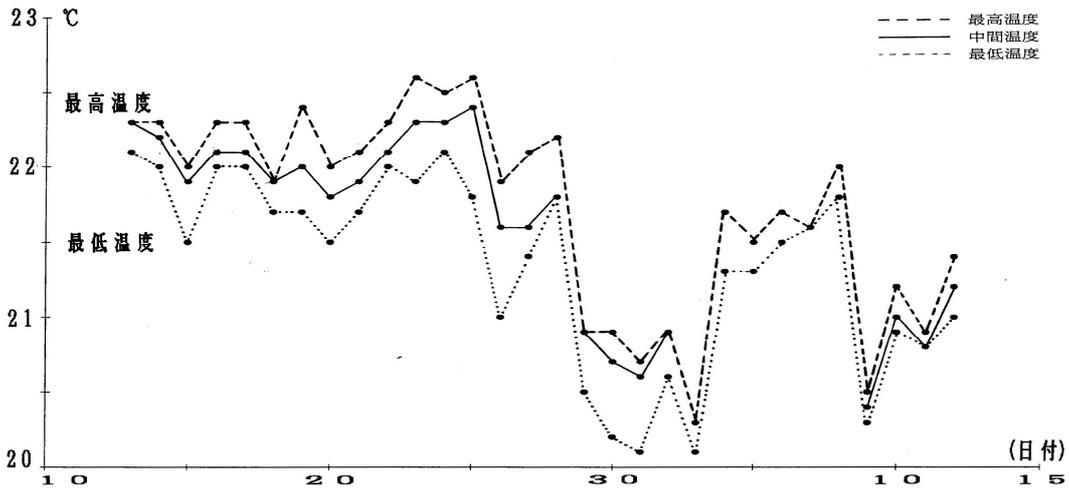


図 2.16 実験装置設置場所No. 3 の実験層海水温 (9/13~10/12 : 第 1 期)

気温の温度降下を境に気温は全体的に低下する傾向があり、最低気温は平均して 2、3 度低下、また、最高気温も 10 月 6 日あたりから下降の一途を辿っており、10 月 1 日および同月 6 日以降は温度からみた環境変化のポイントといえる。

図 2.17 から図 2.20 に第 2 期の各実験場所の観測層海水温度の変化を示す。各実験場所とも、変化傾向は気温と同様で、各所ともに前述の日には温度が前日より約 1℃低下している。この日を除けば、平均して 21 から 22℃の水温を維持した期間であると考えることができ、実験の目的に則した温度帯であることがわかる。また、平均 pH は 8.2 と多少高く、アルカリ度のやや強い状況を示していた。アルカリ度の高い海水は生物の繁殖には比較的好条件であり、付着生物の様な微生物の発生発育にも適していると考えられる。海水比重は平均して 1.017、また、塩分の平均は 23.3PSU と低めであった。

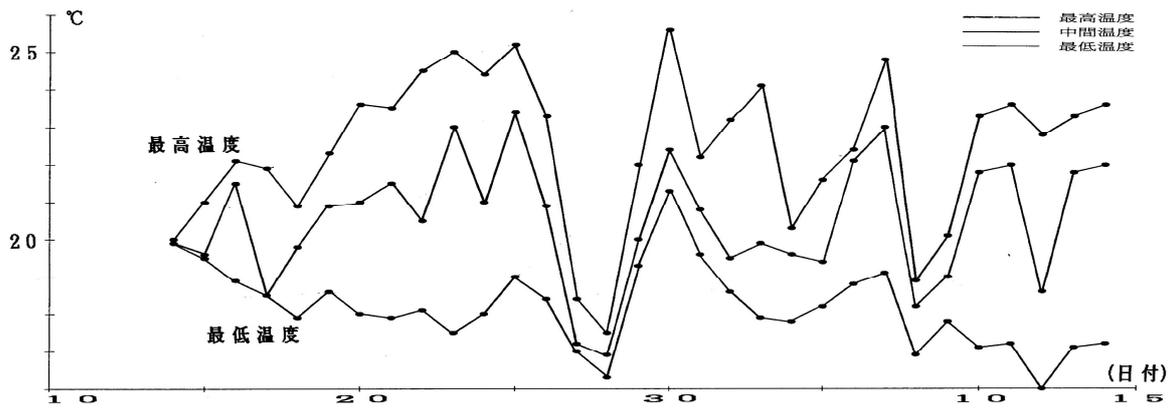


図 2.17 観測中気温変化の実験層海水温 (10/12~11/11 : 第 2 期)

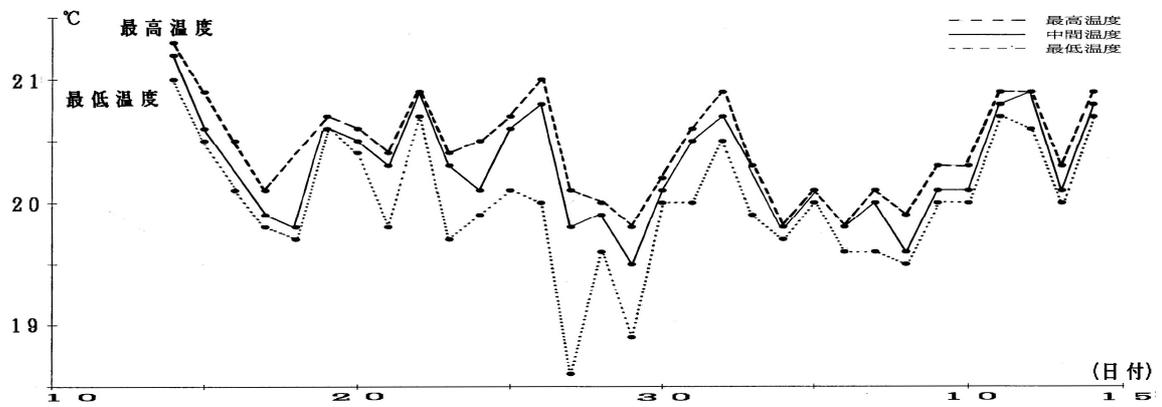


図 2.18 実験装置設置場所N o. 1 (10/12~11/11 : 第 2 期)

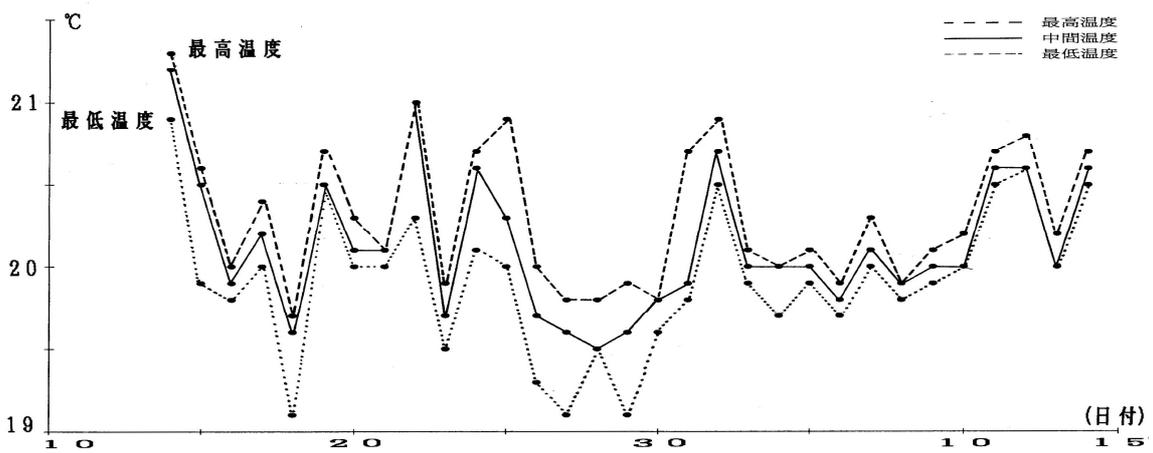


図 2.19 実験装置設置場所N o. 2 の実験層海水温 (10/12~11/11 : 第 2 期)

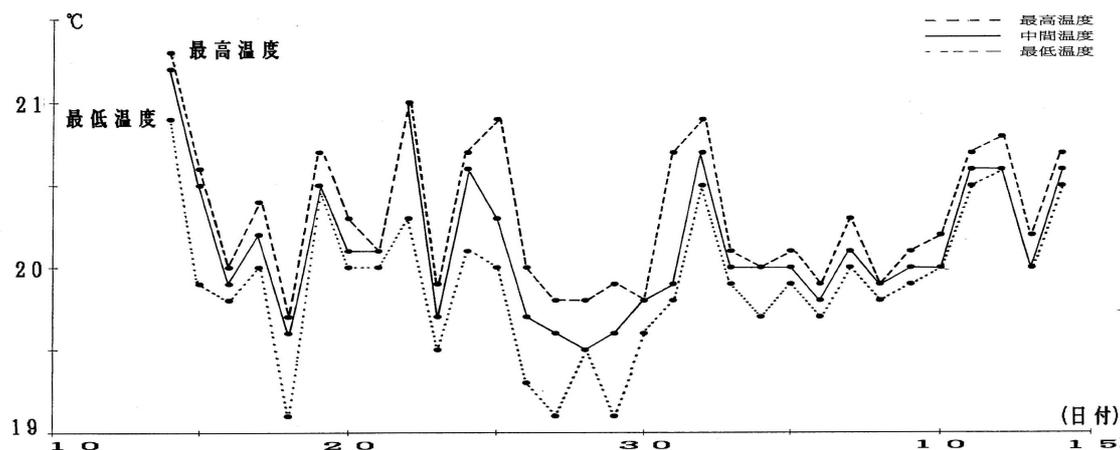


図 2.20 実験装置設置場所 No. 3 の実験層海水温 (10/12~11/11 : 第 2 期)

温度によってはコケムシ類の発生発育に適した環境である。

## 2.6.2 付着量の相互比較と色相・明度との相関

表 2.10 に、実験板グループ（色相グループ：Blue, Yellow, White, Black-white）毎に実験連番号を付し、乾燥重量と各色相における明度との相関、各付着生物群中の種類毎の付着個体総数と各色相における明度との相関を表示した。図 2.21 は、計測した個体数総数を実験板毎に表示したもので、縦軸に個体総数、横軸に前述した実験連番を付して表している。同図中の\*印は、実験第 1 期と第 2 期の区切りを意味している。

表 2.10 および図 2.21 より、付着量は全体的に第 2 期の方が第 1 期よりも 12.3% 程度少ないことがわかる。これは明らかに海水温度等の環境変化がもたらした付着優勢種の転換に起因するものであると推定できる。

表 2.10 より、明度と乾燥重量との相関関係については、各実験板グループの 80% が負の高い相関を示していることが分かり、このことは、明度がより高くなれば、付着量はより減少することを明示している。正の相関を示したものを除き、各実験場所、時期毎に比較した場合においても、その平均値は高く、乾燥重量と明度との相関は非常に高いと判断できる。

図 2.21 から図 2.24 は、実験板別付着個体数を付着生物種別毎に図示したもので、縦軸上方に付着個体数、横軸に表 2.10 に示した実験連番を示している。種類別個体数をみた場合にも 9 割が完全相関に近い状態で明度との関係を示しており、また、この傾向は色相が異なっても変化はない。

フジツボ類に関しては、種の判定が困難である数十個の極小個体を除き、タテジマフジツボ、シロスジフジツボがその大半を占めており、シロスジフジツボとタテジマフジツボの付着量比率はほぼ 7 : 3 である。また、計測した底径毎の個体数や実験板の付着位置に関しても個別に言及する必要があるが、ここでは色相・明度と付着序列の問題に絞って考察を加えることを目的としたため、両者をフジツボ類としてまとめて表示した。

管棲多毛類のカンザシゴカイ、付着機構や生態も全く異なるフサコケムシがその他の代

代表的な付着生物、残りはスライム等で、個体の特定は不可能であったので、前記2つの代表種を個体の調査対象とし、残りは付着重量という表現に止めた。図 2.21、図 2.22 および表 2.10 より、フジツボ類の付着個体数と各色相の間には、実験の場所や時期に関係なく、非常に高い負の相関があることがわかる。中には完全相関に近いものが存在し、平均しても 92%以上 (92.53%) の負の相関を持っていることから、フジツボ類の付着量と明度との関連は色相を問わず非常に深いと判断できる。

図 2.23 はゴカイ類の付着個体数を示したものである。本実験の種別個体付着数で最多付着数を示したのはゴカイ類であった。

白黒系の5段階の異明度実験板による実験では、いずれの実験場所と時期においても他の色相のものより付着個体数が50%程度以上多く、色相毎に付着に序列が存在していることを示唆している。ゴカイ類の付着量と明度との相関は、フジツボ類ほどではない。また、この時期におけるカンザシゴカイの透明板に対する付着個体数は皆無であり、このことは、藻類の付着優勢化によって実験板の表面に藻類が付着し実験板本来の色相が変化し、明度が低下しても、その付着個体数は変化をしないという根拠となる。

前述の黒・白系の付着個体数を考えれば、浸水当初の透明板より、明らかに明度の低下した同実験板には、より多くの付着個体が観察できるはずであるが、藻類の付着によって引き起こされる程度の色相・明度の変化は、カンザシゴカイの付着に特に影響を与えなかったと判断できる。透明板の藻類付着による色相・明度の変化と、当該付着種の付着個体数変化の相関については、今後の課題の一つである。

図 2.24 は、前述同様に、第2種生物群中唯一存在した個体であったコケムシ類（フサコケムシがほぼ全体を占めた）の付着量を示したものである。その付着傾向は、1~2期を通してカンザシゴカイと同様である。つまり、第1期における付着量が圧倒的に多く、期別の付着量対比は平均で1期:2期=7:3程度となっている。各期とも色相別に判断すると実験場所を問わず、白黒系の基質に対する付着量が比較的多くなっていることは、他の生物の場合と同様である。

コケムシ類に関しても、色相毎の明度と付着量との間の負の相関は高く、第1期については95%以上 (95.35%)、第2期についても88.7%、平均して92%程度の負の相関があり、正の相関は存在せず、場所や時期によらず、付着量と明度との相関は高いと判断できる。今回、フジツボ類のみならず、ゴカイ類、コケムシ類についても色相、明度をパラメータとした付着量における付着傾向に関して、その相関関係を調査することにより、相互の関連性を明確にした。その結果、明度との付着量の相関は付着生物種を問わず、高い負の相関が時期を問わずに発生することが判明した。他の要因を一切考慮せずに、当該結果のみより推察すれば、上記3種の付着生物に限ってはその幼生は全て、基質の明度や色相を選択の要素の中に入れており、また、明度（光の反射率）や色相（光の波長）を識別することが可能である。

図 2.25 と 2.26 は、それぞれ付着生物種毎に、縦軸に個体数、横軸に実験板を各色相の同一明度毎ならびに実験場所毎に配列し、それぞれの付着個体総数を表示したものである。

これにより付着個体総数の色相別変化をみることができる。図 2.25 は、実験第 1 期のものであり、図 2.26 は実験第 2 期の様子を示している。両時期とも、付着生物の種類を問わず同一の傾向を示している。つまり、各同明度異色相板の付着量の変化傾向は八字型をしている。色相は図左より青 (B)、黄 (Y)、白 (W) と図 2.10 に示したマンセル色相の右側から左側へ推移する形で配列したが、白黒系は別としてやはり、一部の場合を除いて相当高い負の相関を示していることがわかる。

全体的にみて、第 2 期における付着個体数と明度との相関は、第 1 期のものより、いずれの実験場所、色相においても、バラツキを見せている。これは、第 2 期における付着優勢種が、フジツボに変換したために、発生した付着基質選択率の低下によって引き起こされた可能性が高い。負の相関を示した実験グループの相関係数の平均値は、 $89.21\%$  で、やはり、ゴカイ類の付着量、明度との相関は非常に高いと判断することが可能である。色相による付着個体数の変化はマンセル色相の右側から左側にかけて左上がりに変化する傾向を持つものと推測される。

## 2.7 おわりに

本節により以下のことが判明した。

(1) 色相・明度を重点パラメタとして時期別、場所別の付着傾向を調査した結果、各パラメタともに共通に現れた傾向として、付着機構の異なるどの異種生物でも、付着量は色相・明度の序列に従って変化する。

(2) 生物によっては温度や場所的条件により付着基質選択パラメタの選択順位が変更される場合があるが、海水温度等の自然条件が安定し、各付着生物自らの付着優勢化条件に適合する場合には選択肢の序列は一定となる。

(3) 青、黄、白黒と色相別に見た場合も、明度の高い順に付着が少なく、他のエレメントの介在が無いと考えるなら、ここに取上げた付着生物の幼生は探索行動の中で、色相・明度の序列区別をもって識別し、選択する能力がある。

(4) 時期別に行った実験の結果の差は、多少の付着量の差があるが明度による付着傾向は時期が変わっても同様である。

(5) 付着生物の総個体数を計測した場合、フジツボ類に比して、フサコケムシやカンザシゴカイの付着が多い。この結果から、フジツボ類が付着する以前にフサコケムシやカンザシゴカイが優勢種として先行付着し領域の占有を行うか、または、フジツボ類が探査行動の一環として適所選択を行っている可能性がある。これは、「付着量の多少は最初の定着量によるもので空間争奪競争ではない」という Bush e k<sup>(30)-(42)</sup>の説の裏付けともなる。

追記：著者はこの他にも、海洋付着生物の生態実験として、「基質の材質と海洋付着生物の付着傾向に関する研究」<sup>(15)</sup>「自然光線と明度をパラメタとした実験」<sup>(16)</sup>、「基質の表面粗度及び水深と海洋付着生物の付着傾向 - 藻類を中心とした調査研究 - 」<sup>(43)</sup>などの基礎実験を行い、第 3 章の実験段階への指標としている。

表 2.10 実験番号および付着個体数・乾燥重量と色相・明度との付着量序列相関

実験番号 グループ	実験板色相 (明度; 場所; 時期)	乾燥重量と 明度との相関 %	付着個体数と明度との相関 (上: 個数, 下: 相関%)			
			総個体数 各色相明度版の合計	フジツボ類	ゴカイ類	コケムシ類
1	Blue (5,7,9;No.1;1期)	-97.9	1689	172/-91.9	1002/-91.0	516/-80.4
2	Yellow (5,7,9;No.1;1期)	-86.6	2111	203/-77.0	1230/-77.0	678/-99.9
3	White (5,7,9;No.1;1期)	-99.6	1236	91/-89.7	953/-99.8	192/-96.3
4	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.1;1期)	-99.7	3787	74/-85.8	3023/-98.9	685/-98.4
5	Blue (5,7,9;No.2;1期)	-87.2	1506	266/-91.7	684/-87.2	556/-99.8
6	Yellow (5,7,9;No.2;1期)	-97.9	2116	222/-88.9	1410/-86.0	484/-99.6
7	White (5,7,9;No.2;1期)	-99.7	1413	254/-97.4	890/-95.0	269/-99.8
8	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.2;1期)	-42.6	4072	546/-97.6	2728/-96.6	798/-99.6
9	Blue (5,7,9;No.3;1期)	-70.8	1223	412/-92.2	647/-86.2	164/-86.6
10	Yellow (5,7,9;No.3;1期)	-95.6	1996	404/-90.8	1442/-84.9	150/-95.7
11	White (5,7,9;No.3;1期)	-93.6	1125	246/-93.7	833/-99.8	046/-91.2
12	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.3;1期)	14.1	3613	259/-97.5	3016/-95.9	338/-99.5
13	Blue (5,7,9;No.1;2期)	-30.9	4513	793/-80.1	3150/80.1	570/-96.1
14	Yellow (5,7,9;No.1;2期)	-13.5	1180	459/-98.9	467/-99.9	254/-92.8
15	White (5,7,9;No.1;2期)	-99.9	1006	510/-99.2	275/-99.9	221/-99.9
16	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.1;2期)	-67.0	1402	625/-99.3	686/-97.6	091/-47.6
17	Blue (5,7,9;No.2;2期)	-61.1	1299	991/-99.7	281/-74.6	027/-94.5
18	Yellow (5,7,9;No.2;2期)	-99.9	1569	825/-99.2	719/-40.4	025/-99.7
19	White (5,7,9;No.2;2期)	-93.8	1215	799/-97.9	411/31.6	005/-72.1
20	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.2;2期)	-91.6	2703	1758/-87.3	872/-98.5	073/-99.1
21	Blue (5,7,9;No.3;2期)	4.6	1381	910/-90.4	366/-98.1	105/-81.4
22	Yellow (5,7,9;No.3;2期)	-99.5	1933	603/-95.9	1115/-46.8	215/-97.2
23	White (5,7,9;No.3;2期)	96.0	1402	672/-88.1	557/-91.1	173/-89.3
24	Blk to Wht(1,3,5,7,9;No.3;2期)	-94.7	3095	1880/-94.9	1144/-99.3	071/-94.7

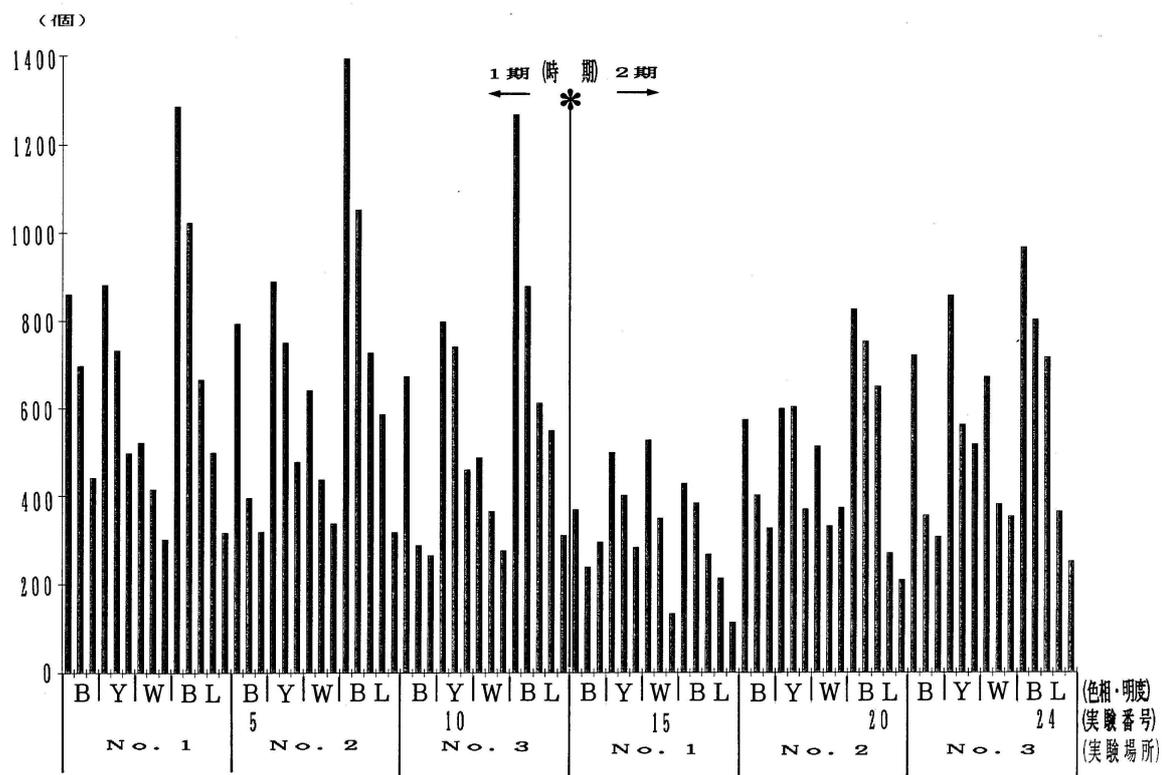


図 2.21 個体総数 (第2種付着生物群：フジツボ類，ゴカイ類，コケムシ類)

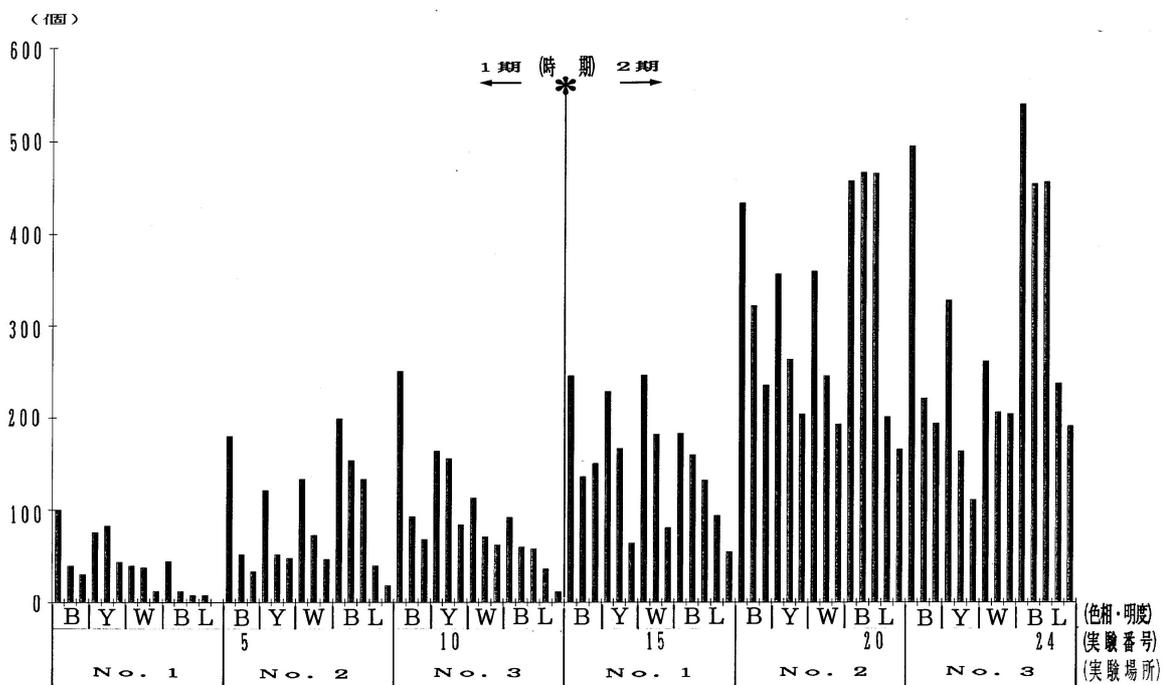


図 2.22 フジツボ類付着個体数 (タテジマフジツボ、シロスジフジツボ等)

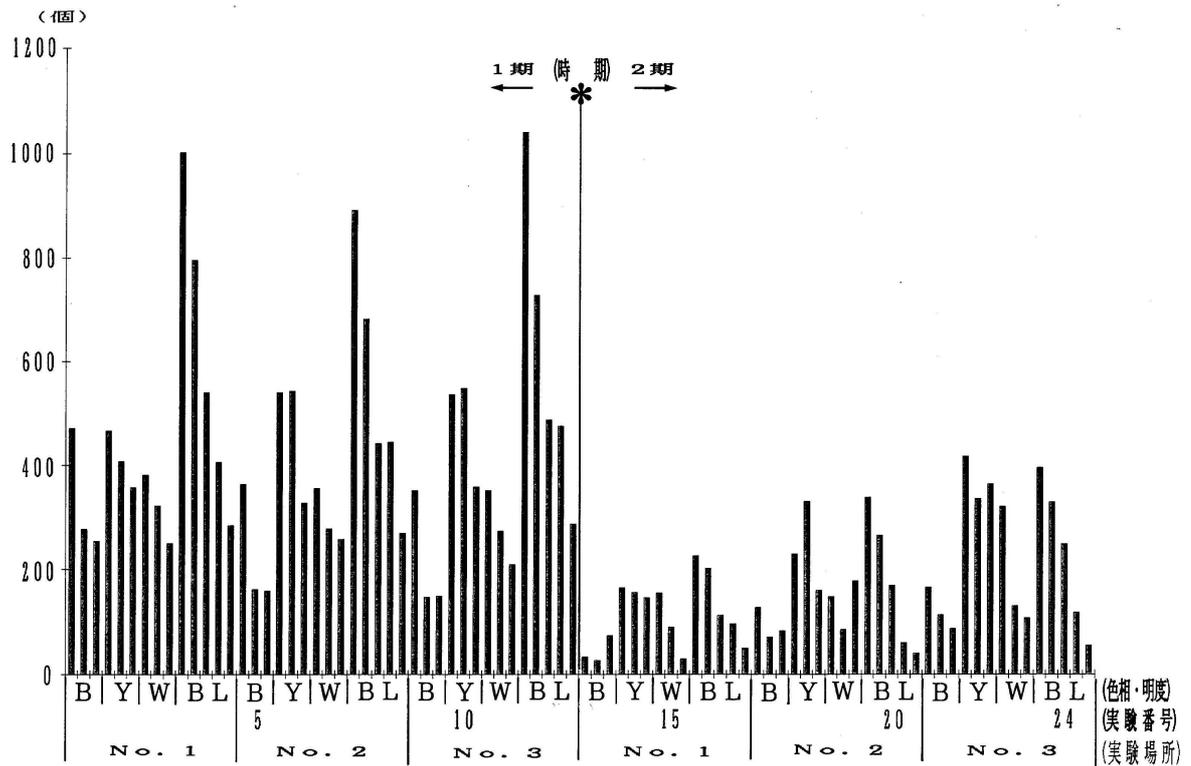


図 2.23 ゴカイ類付着個体数 (カサネカンザシ、イバラカンザシゴカイ等)

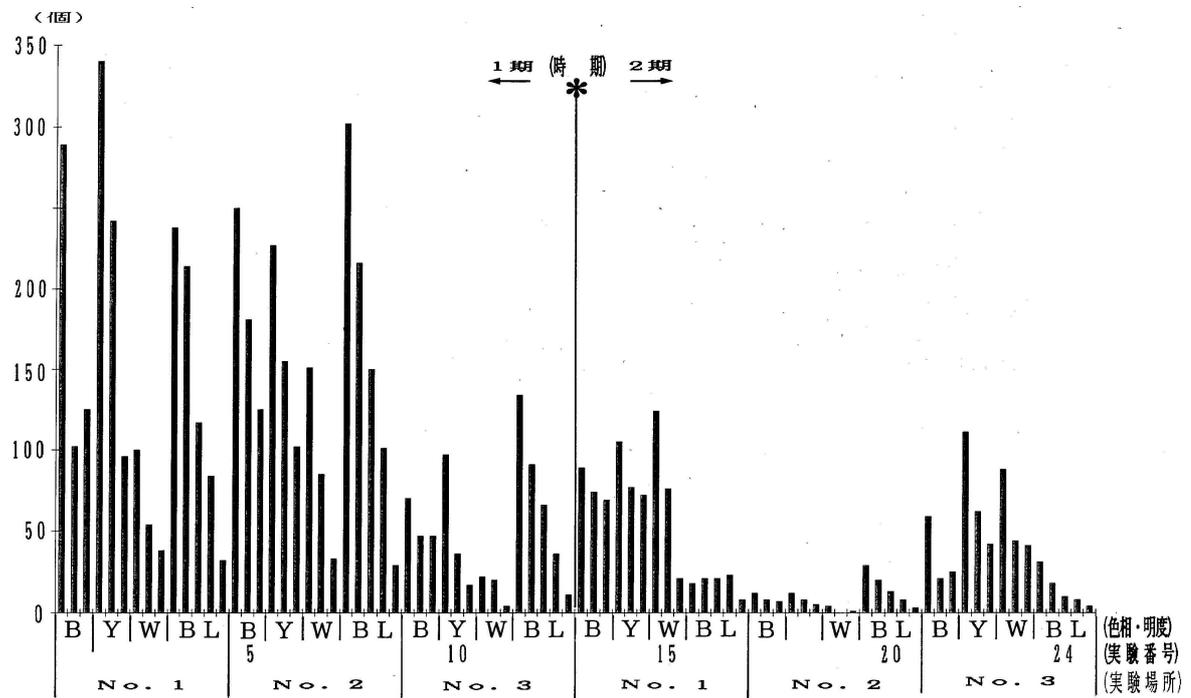


図 2.24 コケムシ類付着個体数 (フサコケムシ等)

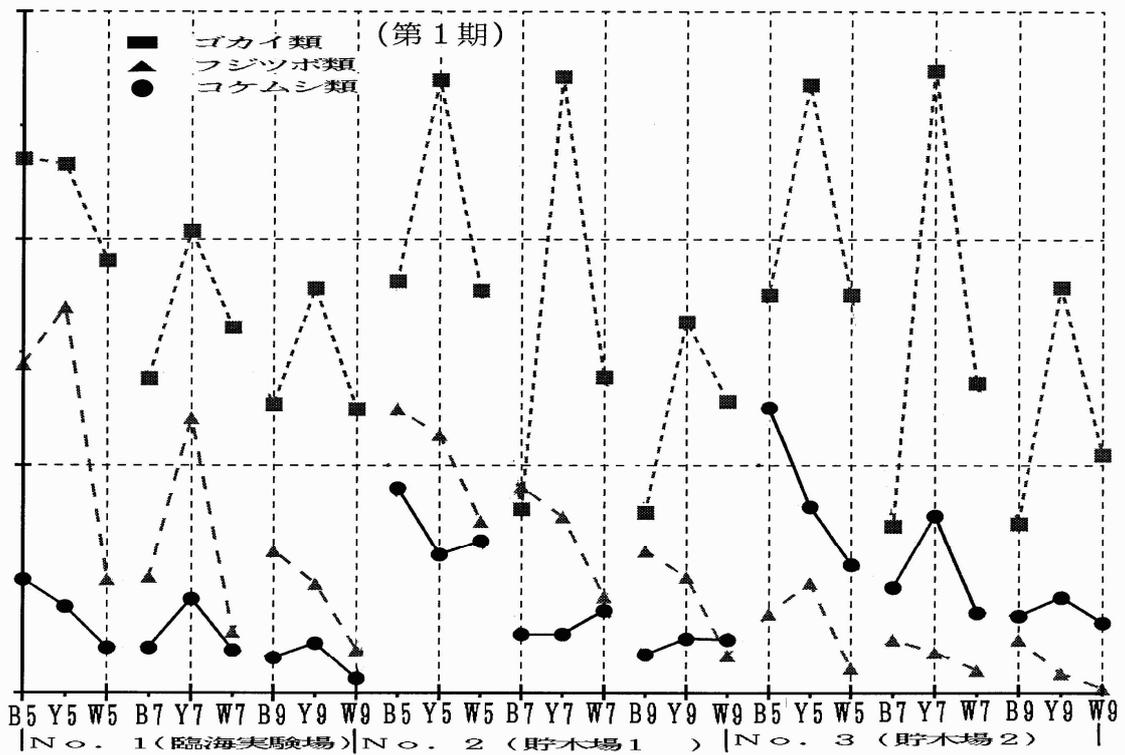


図 2.25 異色相・同明度での付着生物別個体数序列 (第1期)

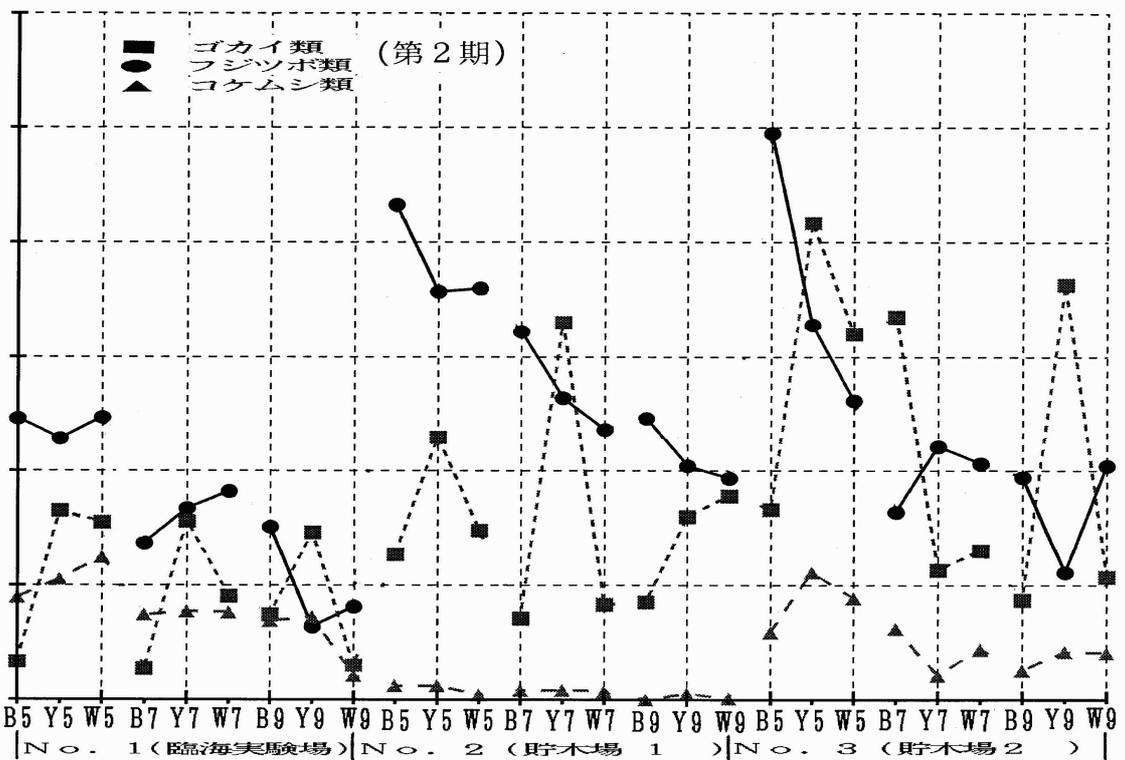


図 2.26 異色相・同明度での付着生物別個体数序列 (第2期)

参考文献 (海洋付着生物の発生と人類との係わり : 2.1 節)

- (1) 梶原武, 海産汚損付着生物の生態学的研究, 長崎大学水産学部研報, 16, pp1~138., 1964.
- (2) 梶原武, 概論: 海洋付着生物. 海洋科学, 16(3), pp128~133., 1984.
- (3) Crisp, M., The development of the serpulid *Pomatoleios kraussii* (Annelida, Polychaeta). *J. Zool.* 183, pp147~160., 1977
- (4) 梶原武, 海産付着生物をめぐる諸問題, 海産付着生物と水産増養殖(梶原武編), 恒星社恒生閣, pp9~17., 1987.
- (5) 橋高次郎, 付着生物の捕食者・ユニ・ロブスター-, 海洋化学, 16, pp146~152, 1984.
- (6) 梶原武, 海産付着生物をめぐる諸問題, 海産付着生物と水産増養殖(梶原武編), 恒星社恒生閣, pp9~17., 1987.
- (7) 石塚末豊, 中道俊彦 編, 塗装ハンドブック, 朝倉書店, 1996.11.20.

参考文献 (海洋付着生物の発生と人類との係わり : 2.2 節、2.3 節)

- (8) 梶原 武監修, 海洋生物の付着機構, 水産無脊椎動物研究会編, 恒星社厚生閣刊, 1991年6月10日
- (9) D.KIRCHMAN, S. GRAHAM, D.REICH and R.MITCHELL, Bacteria induce settlement and metamorphosis of *Jannu(Dexiospira) brasiliensis*(Grude). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 56, pp153~163., 1982.
- (10) P.H.D.H. de SILVA: Experiments, On choice of substrata by *Spirorbis* larvae (Serpulidae). *J. Exp. Biol.*, 39, 483~490, 1962.
- (11) D.J.Crisp, Overview of research on marine invertebrate larvae, 1940-1980. In "Marine biodeterioration: An interdisciplinary study" (J.D. Costlow and R.C. Tipper ed.), Naval Institute Press, Annapolis, pp.103~126., 1984.
- (12) Crisp, D.J, The behaviour of barnacle cyprids in relation to water movement over a surface. *J. Exp. Biol.* 32, pp569~590., 1955
- (13) Bushek, D., Settlement as a major determinant of intertidal oyster and barnacle distributions along a horizontal gradient. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 122, pp1~18., 1988.
- (14) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I.-付着個体数から見た基質の色相・明度との相関-, 日本航海学会誌 "NAVIGATION", 第139号, 1993.3.
- (15) 花房元顕, 基質の材質と海洋付着生物の付着傾向-折と湾奥における調査実験結果-, 日本航海学会誌 "NAVIGATION", 第142号, 1993.12.
- (16) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I.-付着個体数から見た基質の色相・明度との相関-, 日本航海学会誌 "NAVIGATION", 第139号, 1993.3.
- (17) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-II.-自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-, 日本航海学会誌 "NAVIGATION",

第 140 号,1993.6.

(18)花房元顕,海洋付着生物の一般的生態,日本航海学会誌 "NAVIGATION",第 154 号,2002.12.

(19)Thomas L.Saaty and Joyce M. Alexander, CONFLICT RESOLUTION

-The Analytic Hierarchy Approach-, PRAEGER Publishers, New York,1989.

参考文献 (基質の色相・明度と海洋付着生物の生態特性 2.4 節)

(1) 梶原武 (1964), 海産汚損付着生物の生態学的研究. 長崎大学水産学部研報, 16, 1~138.

(2) 梶原武 (1984), 概論: 海洋付着生物. 海洋科学, 16 (3), 128~133.

(3) 梶原武 (1987a): 海産付着生物をめぐる諸問題, 海産付着生物と水産増養殖 (梶原武編). 恒星社恒生閣, 9~17.

(4) Crisp,M.,The development of the serpulid *Pomatoleios kraussii*(Anne]Polychaeta).j.Zool.183,147~160.,1977.

(5) Crisp,D.J.and J.S.Ryland,Influence of filming and of surface texture on the settlement of marine organisms.Nature 119,185.,1960.

(6) 馬渡静夫・馬渡峻輔 (1986): 苔虫類, 付着生物研究法—種類査定・調査法— (付着生物研究会編), 恒星社厚生閣, 71~106.

(7) Crisp,D.J.and J.S.Ryland,Influence of filming and of surface texture on the settlement of marine organisms.Nature 119,185.,1960.

(8) Crisp,D.J.,Mechanisms of adhesion of fouling of organisms.in Proc. 3rd International Congress on Marine Corrosion and Fouling - Evanston.IL: Northwestern Univ.Press,691-708,1972.

(9) Crisp,D.J.and H.Barnes,The orientation and distribution of barnacles at settlement with particular reference to surface contour.J.Anim. Ecol.23,142~162.,1954.

(10) 今本健二郎, 船底、海上構造物への付着生物の付着に関する基礎的研究, 東海大学海洋学部卒業論文, 1992

(11) 小田部浩輝, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察, 東海大学海洋学部卒業論文, 1994

(12) 宮本英夫, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察, 東海大学海洋学部卒業論文, 1995

(13) 花房元顕, 今本健二郎, 小型舟艇への海洋微生物付着防止に関する研究, 航海学会運用研究会資料, 1994. 10

(14) 花房元顕, 小田部浩輝, 宮本英夫, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察, 航海学会運用研究会資料, 1997. 10

(15) 馬渡静夫・広崎芳次・小林純子, サラサフジツボの付着と生長. 資源科学研究所集報. 33, 34, 1954

(16) 馬渡静夫・小林純子, あご湾に於る付着動物の季節消長. 同誌, 35, 36, 1955

- (17) 安田 徹, 福井県下における沿岸付着汚損生物の生態研究 - 内浦湾音海沿岸におけるフジツボ類4種の生態について-. 日水誌, 36 (10), 1007-1016., 1970
- (18) Taki, Y., Y. Ogasawara, Y. Ido and N. Yokoyama, Color factors influencing larval settlement of barnacles, *Balanus amphitrite* subsp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46, 133~138., 1980.
- (19) Walker, G. and A. B. Yule, Temporary adhesion on the barnacle cyprid, the existence of an antennular adhesive secretion. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 64, 679~686., 1984.
- (20) 前掲 10, 今本健二郎, 船底、海上構造物への付着生物の付着に関する基礎的研究, 東海大学海洋学部卒業論文, 1992
- (21) 前掲 11, 小田部浩輝, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察, 東海大学海洋学部卒業論文, 1994
- (22) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況, 東京商船大学研究報告第9号, 1958
- (23) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第2報), 東京商船大学研究報告第10号, 1959
- (24) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第3報), 東京商船大学研究報告第18号, 1967
- (25) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第4報), 東京商船大学研究報告第23号, 1972
- (26) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第5報), 東京商船大学研究報告第26号, 1975
- (27) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第6報), 東京商船大学研究報告第29号, 1979
- (28) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第7報). 東京商船大学研究報告第34号, 1983
- (29) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第8報), 東京商船大学研究報告第34号, 1983
- (30) 宮嶋他. 折戸湾における生物付着状況 (第9報), 東京商船大学研究報告第41号, 1990
- (31) 宮嶋他. 折戸湾における生物付着状況 (第10報), 東京商船大学研究報告第41号, 1990
- (32) 宮嶋他, 海中生物付着判定基準, 東京商船大学研究報告第13号, 1962
- (33) 宮嶋時三, 海中生物付着程度評価基準, 付着生物研究: Vol 18, No. 1/2, 1-8, 1991
- (34) 前掲 10, 今本健二郎, 船底、海上構造物への付着生物の付着に関する基礎的研究, 東海大学海洋学部卒業論文, 1992

- (35) 前掲 11, 小田部浩輝, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察, 東海大学海洋学部卒業論文, 1994
- (36) Mori,K, Poulation system of the intertidal barnacle, *Chthamalus Challengeri* Hoek. Doctor thesis, Kyushu University. 191pp., 1989.
- (37) Mori, K. and M. Tanaka, Interidal community structures and environmental conditions of exposed and sheltered rocky shores in Amakusa, Japa. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.* 10, 41~64., 1989.
- (38) Bushek, D., Settlement as a major determinant of intertidal oyster and barnacle distributions along a horizontal gradient. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 12, 1988.
- (39) Crisp, D. J., Territorial behaviour in barnacle settlement. *J. Exp. Biol.* 38, 429~446, 1961.
- (40) Crisp, D. J., Factors influencing the settlement of marine invertebrate larvae. in *Chemoreception in Marine Organisms* (P. T. Grant and A. M. Mackie eds.) New York Academic Press, 177~265, 1974.
- (41) Crisp, D. J., Overview of research on marine invertebrate larvae. 1940~1980, in *Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study* (J. D. Costlow and R. C. Tipper eds.) Annapolis, Maryland, Naval Institute Press, 103~126, 1984.
- (42) 宮内徹夫, フジツボの付着と基盤の色, 付着生物研究: Vol 13, No. 1, pp 11-16, 1996
- (43) 花房元顕 (2000). 基質の表面粗度及び水深と海洋付着生物の付着傾向-藻類を中心とした折戸湾奥における調査研究結果-. *NAVIGATION*, 144, 77-82.

### 第3章 無機抗菌剤による防汚の可能性の検討

#### 3.1 はじめに

2003年1月以降、有機スズ系の毒性防汚塗料の船舶もしくは海洋構造物への使用が全面禁止となった。また、2008年以降には、当該海洋構造物等への毒性塗料の残存も容認されない状況となった。これを受けて、毒性の低い、無毒塗料としてシリコンやケイ素の加水分解を利用した塗料が開発、検討され実用化されている<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。

一方で、生物、生態の研究分野では、大型の付着生物を対象とした忌避物質利用による付着防止方法や<sup>(5)(6)</sup>化学的な薬物投与による方法<sup>(7)</sup>が研究されつつある。

基本的に、大型の付着生物が付着するプロセスや付着の方法に関しては、基質の表面張力などに代表される物理学的説明<sup>(8)(9)</sup>や、付着誘引物質等の生物学的説明<sup>(10)(11)</sup>が可能であるが、後者のうち、特に誘引因子の中に含まれるであろう、細菌の存在は注目すべきことである。

本章では、付着生物の生態の一部を付着の傾向から分析する。具体的には付着のエLEMENTである「海水」、「付着生物」ならびに「基質」のうち、基質に着目して、以下の分析をする。

- (1) 基質に無機抗菌剤による抗菌処理を施した場合の付着の傾向を、同材質、同表面硬度、同表面粗度種類の抗菌処理を施していない基質の場合と比較し、細菌抑制による付着傾向の変化。
- (2) 基質に無機抗菌剤を添加した塗膜を形成し細菌フィルムの抑制をはかった場合の海洋付着生物の付着の状況とその効果。
- (3) 基質に無機抗菌剤を添加した塗膜を形成した場合の海洋付着生物の付着の状況と、その効果。

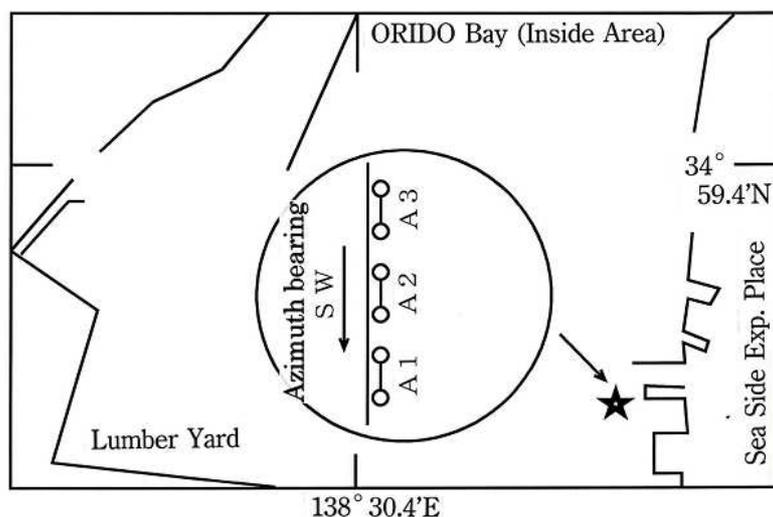


図 3.1 実験海域（静岡市清水区折戸湾奥）

## 3.2 細菌抑制による付着傾向の変化

本節では、基質に無機抗菌剤による抗菌処理を施した場合の付着の傾向を、同材質、同表面硬度、同表面粗度種類の抗菌処理を施していない基質の場合と比較し、細菌抑制による付着傾向の変化について分析する。

### 3.2.1 実験方法

#### 3.2.1.1 時期・観測項目

大型の海洋付着生物が基質に付着するためには、その第一段階として、基質表面に藻類を中心とした被膜が形成される必要があるという報告<sup>(12)</sup>があるが、一般的に大型の海洋付着生物が付着するまでには、基質の浸漬からほぼ1週間程度の時間的経過を必要とする。

実験の時期としては、気温、水温、塩分、pH等自然環境指標の変化も考慮し、また、付着優勢種の均衡、交代時期よりも少し早い時期を選択した。当該海域では、観測層の平均海水温度が20℃以上を保持するのは、10月下旬までであり<sup>(13)(14)(15)</sup>、実験期間もそれに応じ、1999年09月26日～10月26日とした<sup>(16)～(26)</sup>。

#### 3.2.1.2 実験場所

実験場所は、図3.1に示す清水港折戸湾内の臨海実験場とした。実験開始に当り、前もって各実験板の重量を精密計測した。実験開始後、実験板の浸漬中は天候、大気温度（乾球温度、湿度）海水温度（表層海水温度、観測層海水温度）、塩分、pH、海水比重を毎日定時計測した。実験板回収後は判定写真の撮影、種類別目視評点、一対比較評点の計測と同時に湿潤重量を計測後、晴天が3日間続いた日に、屋内で十分に乾燥させ、実験板を1枚ずつ丁寧に取り外してから乾燥重量を計測した。

#### 3.2.1.3 実験装置

実験板の抗菌効果の確認については、抗菌製品技術協議会（1995年設立）の「銀等無機抗菌剤」の安全性と品質に関する自主規格（現JIS規格JISZ2801）<sup>(27)</sup>に基づいた試験を行ない確認した。表3.1に抗菌力試験の条件を示す。なお、無機抗菌剤の混入量は一般的なポリエチレンの方形基質生成量の4%とした。

抗菌効果を確認するための対象菌種は表3.1に示すとおり、陸上の一般的な細菌であり、また、河川を通じて海洋、主に潮間帯にその生活域をもつ、大腸菌および黄色ブドウ球菌とした。

#### 3.2.1.4 効力検査

抗菌処理の効力に関しては、同表に示した。プラスチックシャーレを対照とし、菌の試験培地として、表3.2に示した培養液を段階的に利用して菌液の調整を行なった。

大腸菌、黄色ブドウ球菌ともに、35℃、湿度90%で24時間培養後の菌数の増減値差は、2桁以上となっており、対象となる菌を滅殺する効力を有していることが確認できた。抗菌効果の自主規格（現JIS規格JISZ2801）から判断して、十分に抗菌作用を有する実験板といえることができる。

#### 3.2.1.5 海洋実験

図3.2と図3.3に実験装置を示す。実験板は抗菌処理を施したものと、表面粗度、硬度、

色相・明度、面積、体積等同質で、抗菌処理を施さない厚さ 150mmのポリエチレン製のもの（以下非抗菌実験板と呼称する。）を 200mm四方に加工し使用した。また、実験装置の枠は、同図に示すとおり、1120mm×300mmの木枠で、これに実験板を等間隔に固定した。これにより実験時期の最付着量観測水層である<sup>(12)</sup><sup>(13)</sup>水面下 2000mmに実験板の中心が浸漬する。また、同図に示すとおり、ロープで木材とブイを附した木枠を連結、下方には装置の安定と振れ防止のために重錘を取り付けて設置した。なお、実験装置には、88%可視光線遮断、99%紫外線遮断のフィルムを貼ったアクリル板の覆いを用意した。

実験装置は、実験板の表を南東、裏を北西の方角に向くように設置した。図 3.1 のとおり、実験装置の配置は、南西から 10 日間浸漬(A1)、20 日間浸漬(A2)、30 日間浸漬 (A3) とした。

### 3.3 実験結果と考察

#### 3.3.1 温度変化・海水温度（表層&観測層）・pH・塩分・比重の変化

図 3.4 から図 3.8 は、観測データを基にして、横軸に観測日時を、縦軸に各観測項目をとり、それぞれの変化をグラフ化したものである。なお、観測期間中雨天は 3 日間、終日ではなくその一部のみであった。

##### 3.3.1.1 海水温度（表層・観測層）

図 3.4 より、実験期間中 10 月 16 日まで、即ち実験開始後 20 日までは、最高・最低海水温度はほぼ 20℃を上回っている。なお、観測データ中最高海水温度と最低海水温度の差は、平均して 1.6℃である。一方、平均最高海水温度は 23.1℃、平均最低海水温度 21.5℃という条件であった。また、図 3.5 は、海面より 2mの観測層における海水温度観測中の最高・最低海水温度の変化を示したものである。

実験開始から最終日まで、両者はほとんど 20℃以上と安定している。20 日経過以降は最低海水温度が若干 20℃を下回り、平均して 18℃程度となっているが、全体的に温度的安定が保たれている時期、海域、海水層であることがわかる。第 1 と 2 種付着生物群の着床、変態に支障のない限界温度域であり、温度的条件からみて、ほぼ、付着の最終期であると判断できる<sup>(1)~(19)</sup>。

##### 3.3.1.2 pH

図 3.6 は、表面海水の pH を一日一回測定・記録したものである。pH 測定器の調整は、pH 6.9 の標準試水を用いて 1 回校正にて使用した。一般的に海水は弱アルカリ性であり、その pH 値は表面で  $8.0 \pm 0.2$  くらいであるが、本水域の pH 値は平均して 8.34 と比較的アルカリ度の低い値となっている。

##### 3.3.1.3 塩分

図 3.7 は、塩分を計測したものである。通常、外洋の標準海水といわれるものは 35PSU であり、極限範囲が 34PSU~38PSU であることから考えると、実験水域の塩分は低いと判断せざるを得ない。期間平均は、24.6PSU 程度であり、閉ざされた海域の特徴的な濃度<sup>(28)</sup><sup>(29)</sup> であると考えられる。

表 3.1 フィルム密着法による抗菌力試験諸条件

<p>試験菌株 Examination bacillus</p>	<p>Escherichia coli IFO 3972 (大腸菌) Staphylococcus aureus IFO 12732 (黄色ブドウ球菌)</p>
<p>試験培地 Test cultivation ground</p>	<p>NA培地：普通寒天培地 [栄研化学 (株)] NA cultivation ground: usually an agar cultivation ground [EIKEN Lab. Ltd. ] 1/500NB培地：肉エキス 0.2%を添加した普通ブイヨン [栄研化学 (株)] を精製水で 500 倍に希釈し、pHを 7.0±0.2 に調整したもの。 1/500NB cultivation ground: The thing which added meat extract 0.2% and which usually diluted bouillon [EIKEN Lab. Ltd. ] with refining water 500 times, and adjusted pH to 7.0±0.2. SCALP培地：SCDLP培地 [日本製薬 (株)] SCALP cultivation ground: SCALP cultivation ground [Jap. Medic. (Ltd.)] SA培地：標準寒天培地 [栄研化学 (株)] SA cultivation ground: Standard agar culture medium. EIKEN CHEMICAL CO., LTD.</p>
<p>菌液の調製 Manufacture of the liquid of a bacillus</p>	<p>NA培地で 37±1℃、16～24時間前に培養した試験菌株をNA培地に再度接種して 37±1℃、16～20時間培養した菌体を 1/500NB培地に均一に分散させ、1ml 当たりの菌数が <math>2.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6</math> となるように調製 1 / 500NB culture medium is made to distribute uniformly Bacillus which inoculated again into NA culture medium the examination strain cultivated ago (37±1 degree C and 16~24 hours), and cultivated it 37±1 degree C by NA culture medium for 16~20 hours, and it prepares so that the number of bacilli per ml may be set to <math>2.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6</math>.</p>

表 3.2 フィルム密着法による抗菌力試験結果

試験菌 Examination bacillus	測定試料 1個当たりの生菌数 Measurement sample. The number of raw bacilli per piece.
大腸菌 Escherichia coli IFO 3972	接種直後 対 照 $1.9 \times 10^5$ Immediately after inoculation. Contrast.
	35°C 検 体 1) $2.6 \times 10^3$ Sample 1)
	24 時間後 検 体 2) $2.4 \times 10^7$ 24 hours after Sample 2) 対 照 $1.9 \times 10^7$ Contrast.
試験菌 Examination bacillus	測定試料 1個当たりの生菌数 Measurement sample. The number of raw bacilli per piece.
黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus IFO 12732	接種直後 対 照 $3.2 \times 10^5$ Immediately after inoculation. Contrast.
	35°C 検 体 1) $6.2 \times 10^2$ Sample 1)
	24 時間後 検 体 2) $2.2 \times 10^3$ 24 hours after Sample 2) 対 照 $1.5 \times 10^5$ Contrast.
菌液調製溶液 : 1/500NB培地 対照:プラスチックシャーレ manufacture solution for Liquid of a bacillus :1/500NB Cultivation ground Contrast.: Plastic Share	

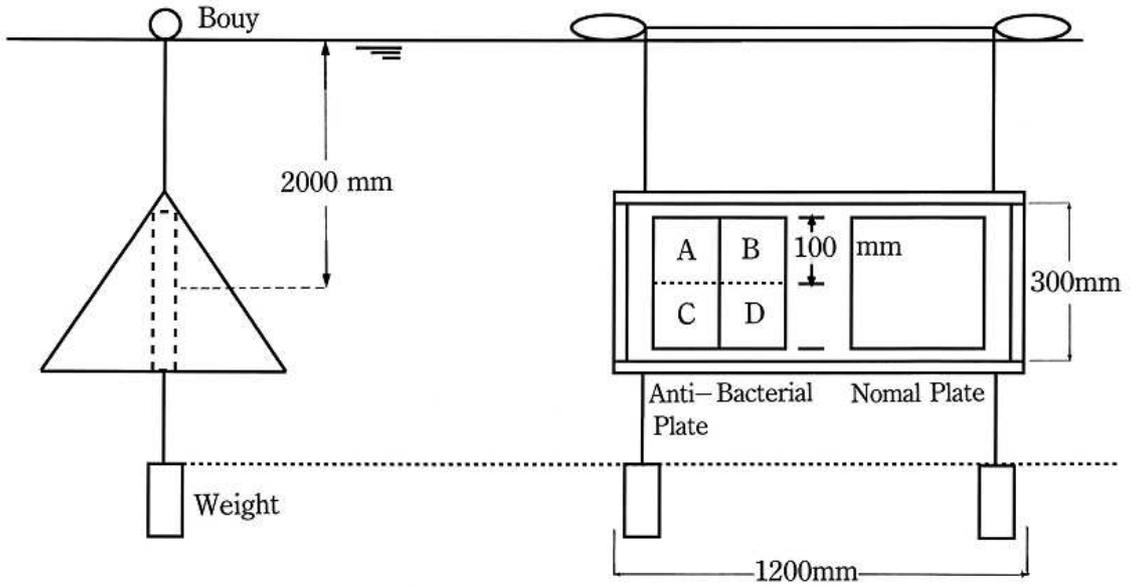


Fig. 2b

Fig. 2a

図 3.2 実験装置 (側面)

図 3.3 実験装置 (正面)

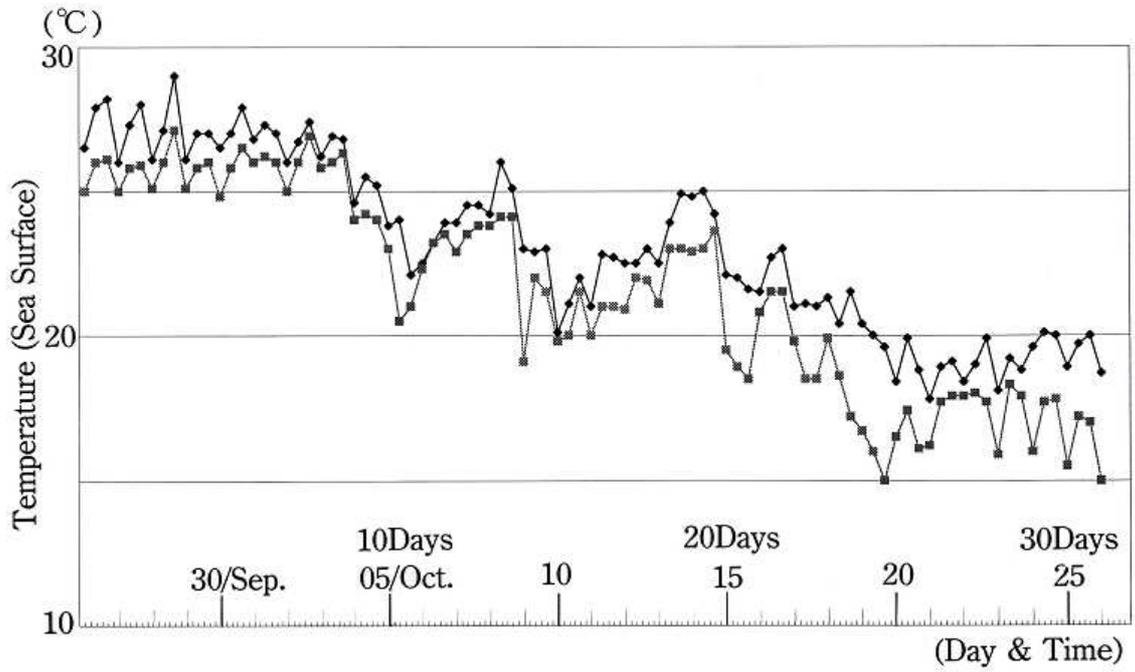


図 3.4 表層海水温度

### 3.3.1.4 海水比重

図 3.8 は、海水比重の変化を記録・表示したものであるが、実験開始から終期に至るにつれ徐々に上昇する傾向にあることがわかる。その差は密度に換算して 0.01 g/ml 程度であり、これを多大な変化とみて、当該期間の該当海洋生物種に与える影響を推察することは無意味であると考ええる。

### 3.3.2 付着量・付着傾向

回収した実験装置は、湿潤重量、乾燥重量計測後、ラッピングし、実験板の取り付け上部を上とし、図 3.3 に示す様に 4 区画に等分し、それぞれの区画における付着個体数、

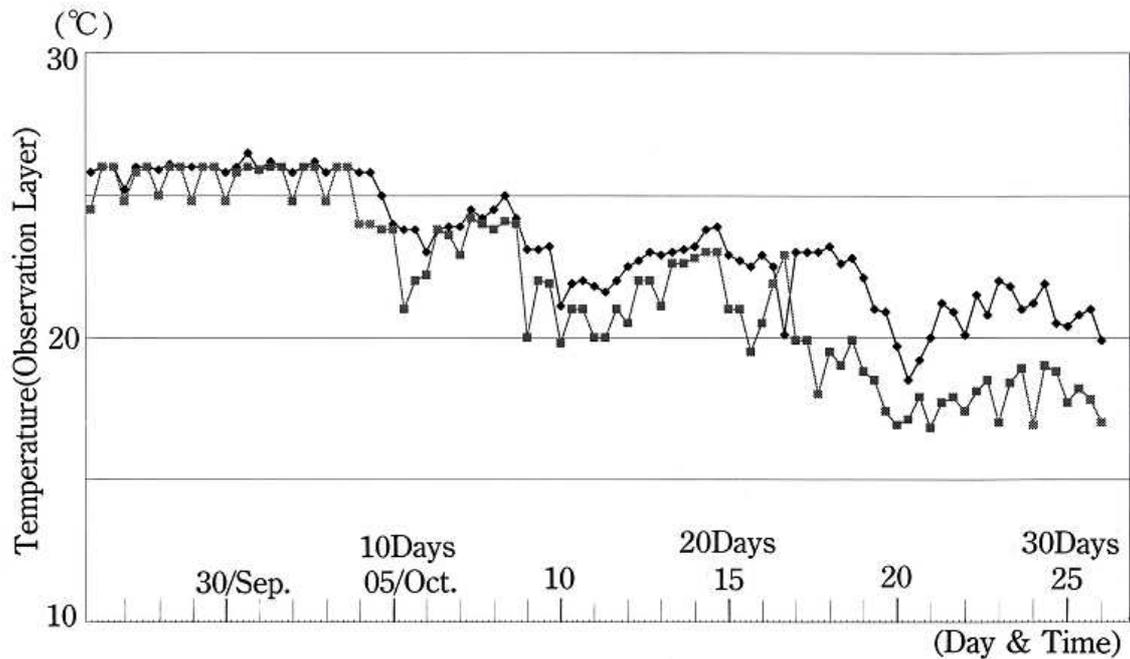


図 3.5 観測層海水温度

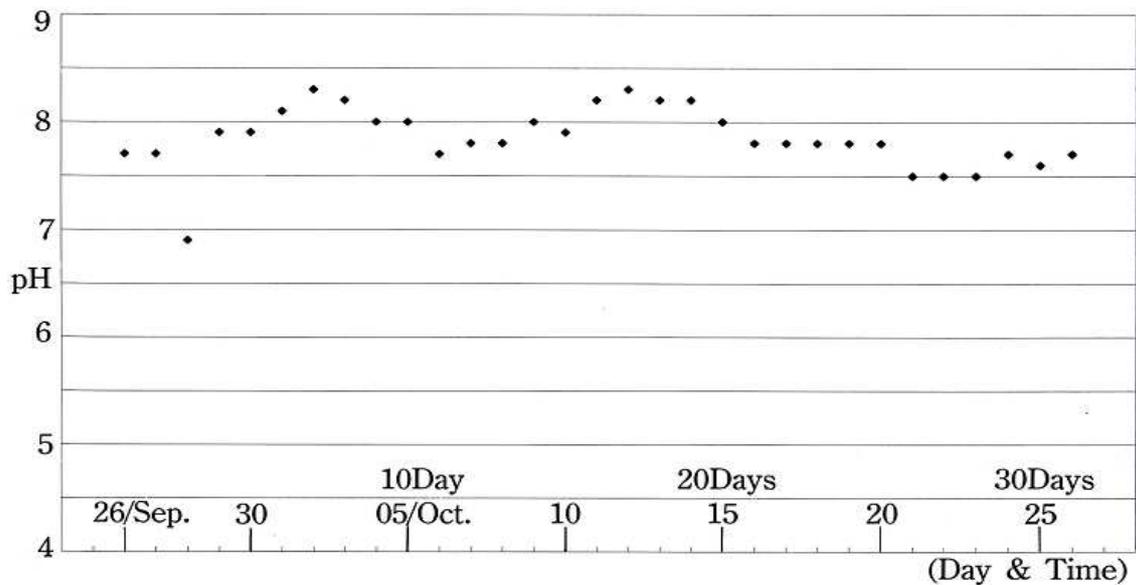


図 3.6 pH

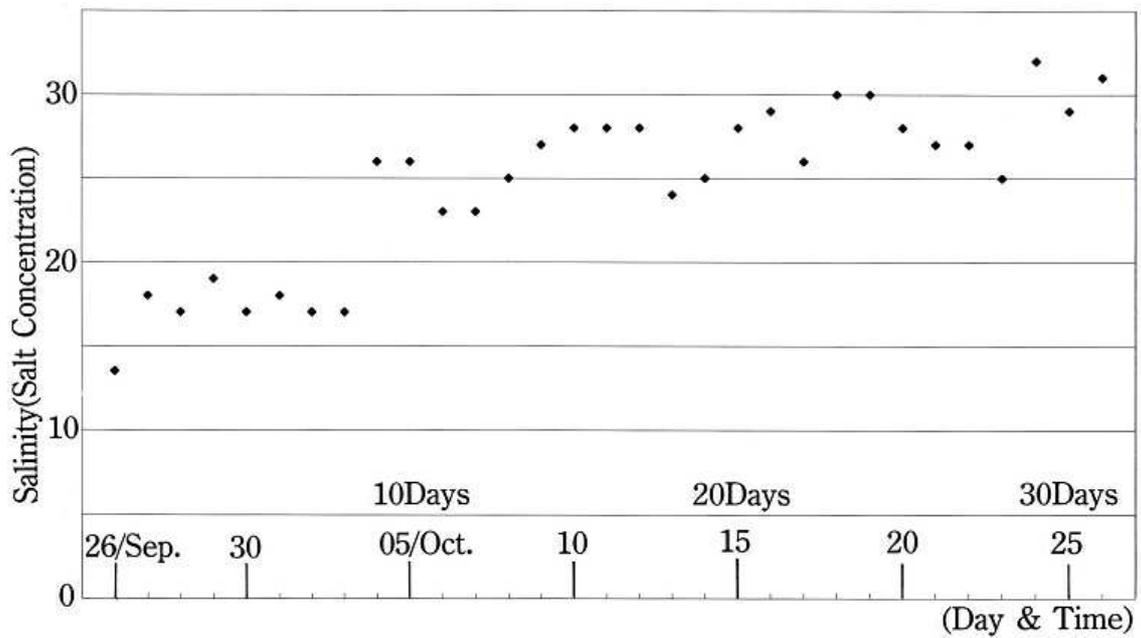


図 3.7 海水比重

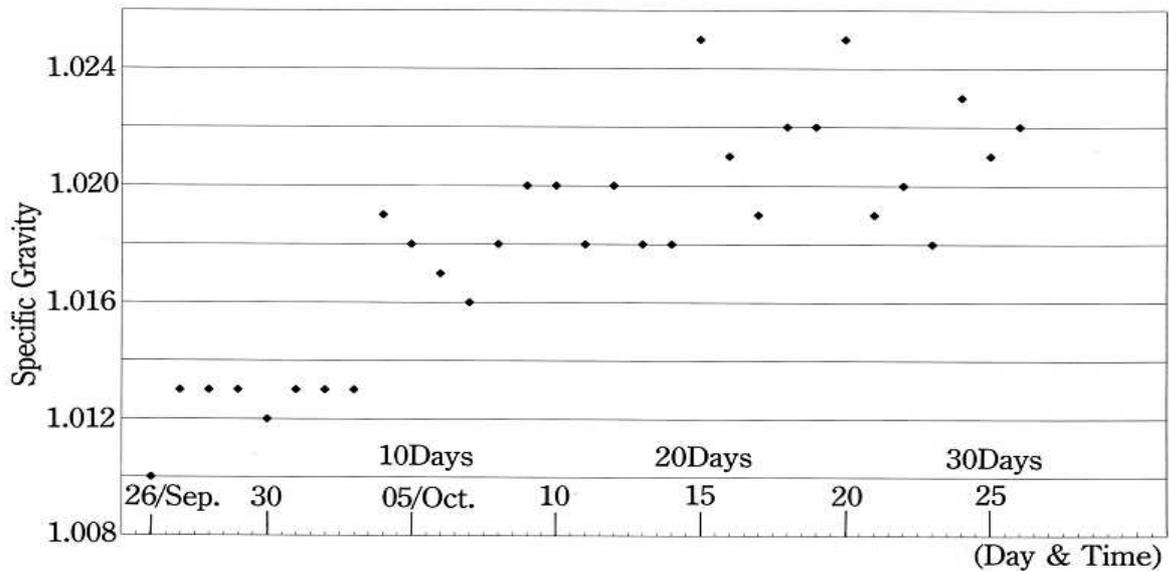


図 3.8 塩 分

体長、底径計測を付着生物種毎に実験板の表裏について行った。なお、解析結果として用いる個体数には実験板に付着後、変態し成体となったもののみとした。

### 3.3.3 個体数

図 3.9 に実験板に付着した全個体数（第二種付着生物群：有殻付着生物群）を実験期間別、実験板毎に表示した。比較的多く付着したのは、タテジマ、シロスジに代表されるフジツボ類とカサネカンザシゴカイを大半とする管棲多毛類であった。同図から、抗菌処理

実験板と非抗菌処理実験板の付着量の序列は明確に異なっており、経過日数と共に徐々にその付着量の差は異なっていくことがわかる。

一定の浸漬期間内は、ある特定の細菌を制御することは、大型海洋付着生物の付着速度を低下させる結果を誘引することが明確となった。

実験板別にみると10日間浸漬したものでは、抗菌処理実験板への付着量は非抗菌処理実験板の29.06%減となった。同様に20日間では14.53%、30日間では21.72%抗菌処理実験板の方が付着量の減少をまねている事がわかり、この傾向は実験期間を通して一定であった。

### 3.3.3.1 個体数詳細

図3.10は、実験板に付着した全個体数のうち、各実験板ともに10日間浸漬した実験板への付着量を母数として、20日間、30日間浸漬した実験板の付着量を比較したものである。抗菌処理実験板では、20日間浸漬実験板では2.23倍、30日浸漬実験板では2.54倍、非抗菌処理実験板に関しては、20日浸漬実験板では1.85倍、30日浸漬実験板では2.31倍の付着量比率となった。

付着量の増加率は抗菌処理実験板では20日間浸漬実験板で約120%増、30日間では約150%増という結果が出た。非抗菌実験板では、20日間浸漬実験板で85%増、30日間では131%増という結果となった。最初の10日目から20日目までの付着量の変化は、極めて大きいことがわかる。この時間間隔は付着可能な面積を占有するための重要な期間であると推察できる。また、同図より、抗菌処理実験板の付着量増加比率が非抗菌実験板に比べて大きいことがわかるが、これは最初の10日目から20日目にかけて、無機抗菌剤の静菌処理が著しい効果を挙げ、大型海洋付着生物の付着を抑制したため、その効果が徐々に薄れはじめ付着量が急激に増加したためと考えられる。

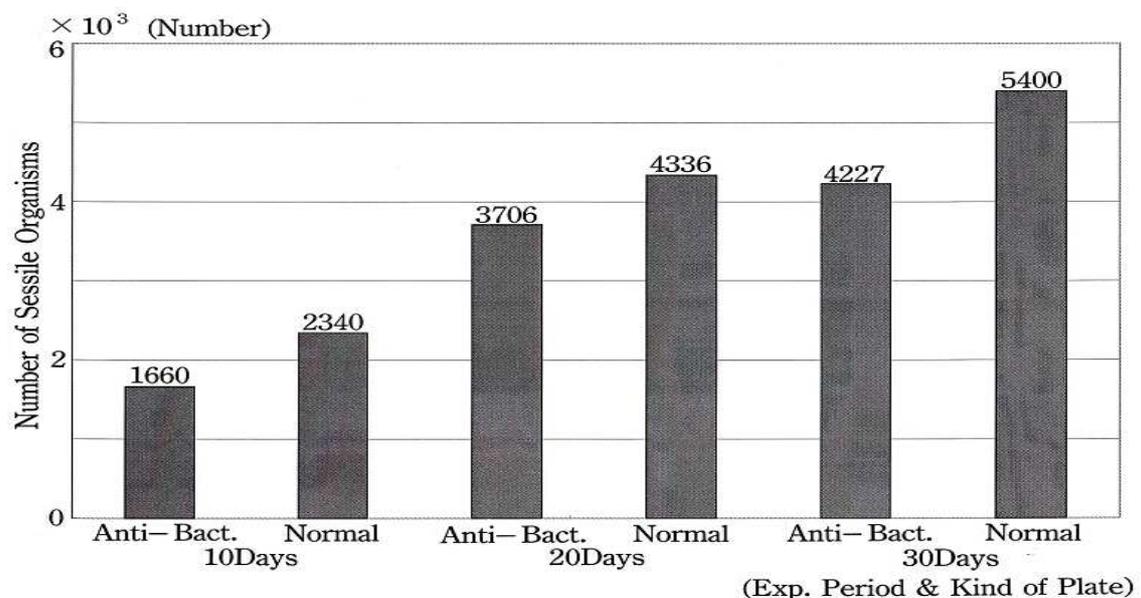


図3.9 実験結果 (海洋付着生物付着総個体数)

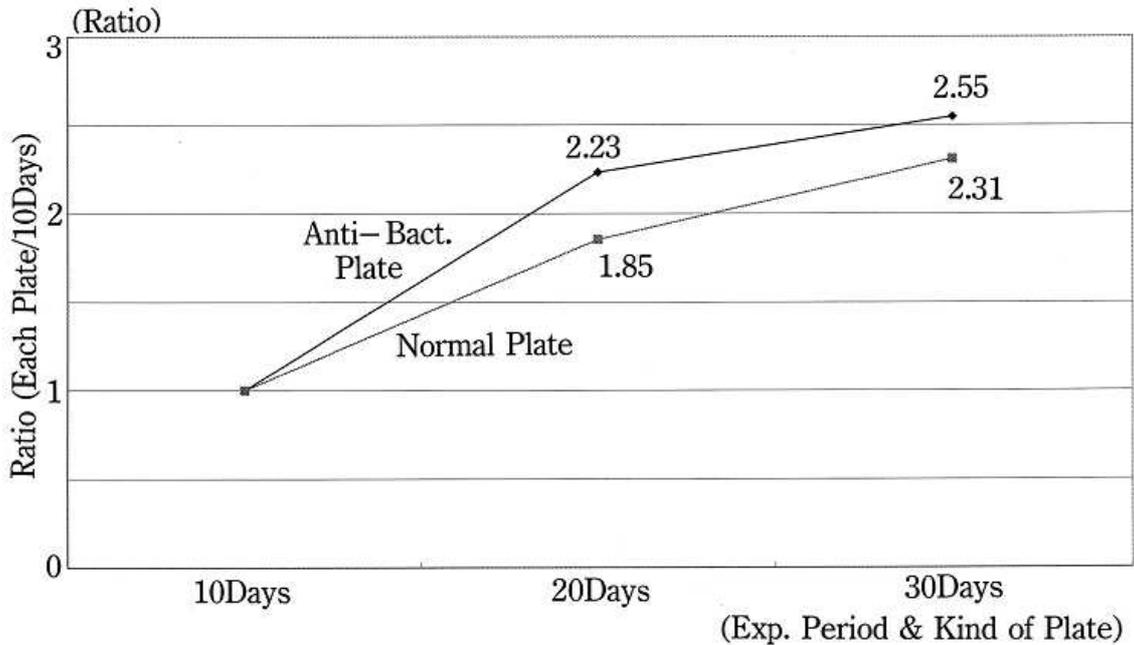


図3.10 海洋付着生物総個体数比率

### 3.3.3.2 個対数比較

20日目と30日目の付着量増加率を比較すると、抗菌処理実験板は30%増加、非抗菌処理実験板は50%増加しており、付着量の伸び率は非抗菌処理実験板の方が大きい。20日目と30日目との両実験板の付着量増加比率の差は、20日目は40%、30日目は20%となっており、経過日数とともに狭まっている。実験板に付加した抗菌剤の効果が減少するにつれ、おそらくこの差はある日数経過後なくなるものと考えられる。

### 3.3.3.3 個対数比較（フジツボ類）

図3.11(a)に、フジツボ類の付着量を、縦軸に付着個体数、横軸に実験板浸漬日数として表示した。全般的に抗菌処理実験板への付着量は、非抗菌処理実験板への付着量より少なくなっている事がわかる。実験板別にみると10日間浸漬したものでは、抗菌処理実験板への付着量は非抗菌処理実験板の26.93%減となった。同様に20日間では24.95%、30日間では37.81%ほど、抗菌処理実験板の方が付着量の減少をまねいている事がわかり、この傾向は実験期間を通して一定であった。フジツボ類に関しては、各実験板ともに10日目から20日目までの付着量の増加比率が非常に大きいといえる。

図3.11(b)は、フジツボ類に関して、各実験板ともに10日間浸漬した実験板への付着量を母数として、20日間、30日間浸漬した実験板の付着量を比較したものである。抗菌処理実験板では、20日間浸漬実験板では2.91倍、30日浸漬実験板では3.11倍、非抗菌処理実験板に関しては、20日浸漬実験板では2.84倍、30日浸漬実験板では3.07倍という付着量比率となった。付着量の増加率は抗菌処理実験板では20日間浸漬実験板で190%増、30日間では207%増という結果が出た。非抗菌実験板では、20日間浸漬実験板で180%増、30日間では211%増という結果となった。20日目と30日目の付着量増加率を比較すると、

抗菌処理実験板は 20% 増加、非抗菌処理実験板は 26% 増加しており、伸び率は非抗菌処理実験板の方が大きい。20 日目と 30 日目との両実験板の付着量増加比率の差は、20 日目は 10%、30 日目は 4% となっており、経過日数とともに狭まっている。

### 3.3.3.4 個体数比較 (ゴカイ類)

図 3.12(a)に、ゴカイ類の付着量を、縦軸に付着個体数、横軸に実験板浸漬日数を取り表示した。一般的に抗菌処理実験板への付着量は、非抗菌処理実験板への付着量より少なくなっている事がわかる。実験板別にみると 10 日間浸漬したものでは、抗菌処理実験板への付着量は非抗菌処理実験板の 29.26% 減となった。同様に 20 日間では 10.45%、30 日間では 20.79% ほど、抗菌処理実験板の方が付着量の減少をまねいている事がわかり、この傾向は実験期間を通して一定であった。ゴカイ類では、両実験板ともに 10 日目と 20 日目の付着個体数の急激な変化はみられず、直線的な変化をしていることがわかる。このあたりからもこの時期の付着優勢種がゴカイ類ではないことを判断することも可能である。

図 3.12(b)には、ゴカイ類に関して、各実験板ともに 10 日間浸漬した実験板への付着量を母数として、20 日間、30 日間浸漬した実験板の付着量を比較したものである。抗菌処理実験板では、20 日間浸漬実験板では 2.07 倍、30 日浸漬実験板では 2.39 倍、非抗菌処理実験板に関しては、20 日浸漬実験板では 1.64 倍、30 日浸漬実験板では 2.13 倍という付着量比率となった。付着量の増加率は抗菌処理実験板では 20 日間浸漬実験板で 107% 増、30 日間では 139% 増という結果が出た。非抗菌実験板では、20 日間浸漬実験板で 63.7% 増、30 日間では 113% 増という結果となった。20 日目と 30 日目の付着量増加率を比較すると、抗菌処理実験板は 31.5% 増加、非抗菌処理実験板は 49.3% 増加しており、伸び率は非抗菌処理実験板の方が大きい。20 日目と 30 日目との両者の付着量増加比率の差は、20 日目は 43.3%、30 日目は 25.5% 減となっており、経過日数とともに狭まっている。

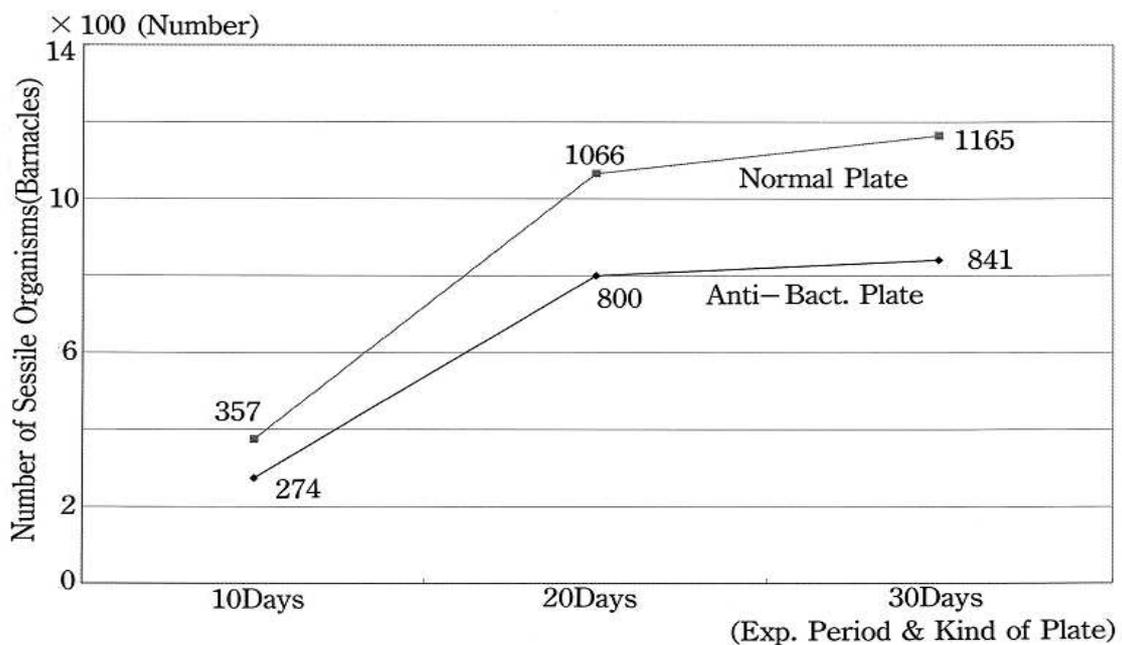


図 3.11(a) 種別付着生物個体数：フジツボ類

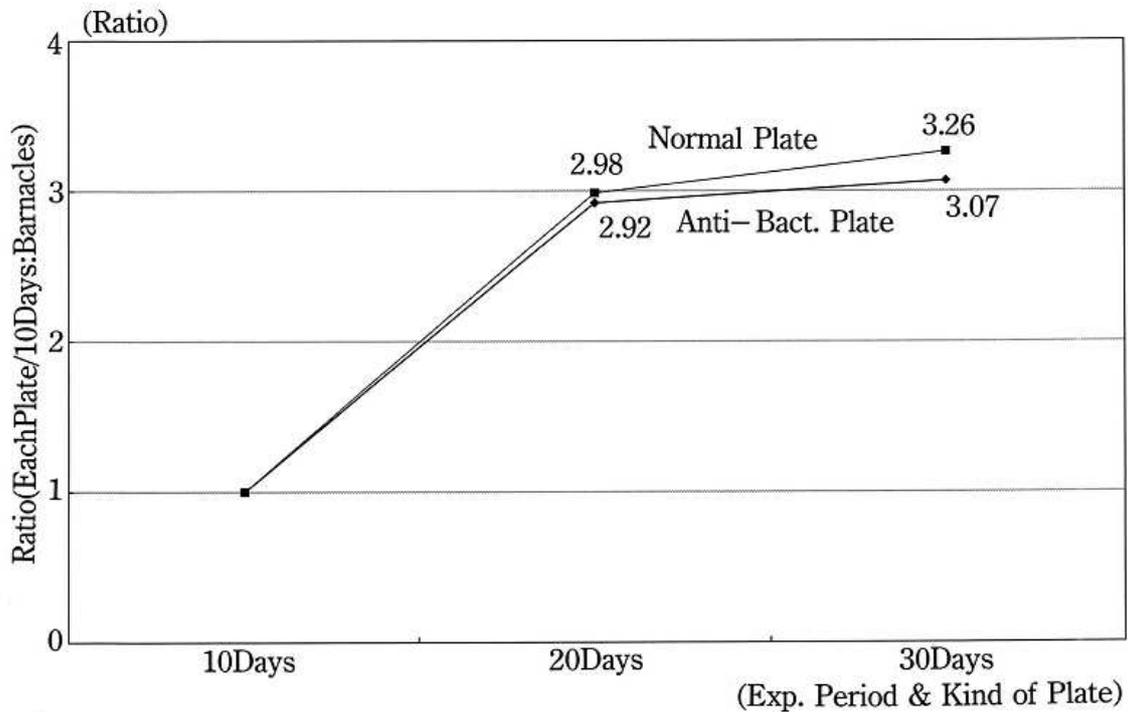


図 3.11(b) 種別付着生物個体数：フジツボ類

### 3.3.3.5 個体数比較（コケムシ類）

図 3.13(a)に、コケムシ類の付着量を、縦軸に付着個体数、横軸に実験板浸漬日数をとって表示した。全般的に抗菌処理実験板への付着量は、非抗菌処理実験板への付着量より少なくなっている事がわかる。実験板別にみると 10 日間浸漬したものでは、抗菌処理実験板への付着量は非抗菌処理実験板の 60.0%減となった。同様に 20 日間では 44.83%、30 日間では 35.71%ほど、抗菌処理実験板の方が付着量の減少をまねいている事がわかり、この傾向は実験期間を通して一定であった。コケムシ類に関しても 10 日目から 20 日目において、付着量の急激に増加しているといえる。

図 3.13(b)は、コケムシ類に関して、各実験板ともに 10 日間浸漬した実験板への付着量を母数として、20 日間、30 日間浸漬した実験板の付着量を比較したものである。抗菌処理実験板では、20 日間浸漬実験板では 16.00 倍、30 日浸漬実験板では 18.00 倍、非抗菌処理実験板に関しては、20 日浸漬実験板では 11.60 倍、30 日浸漬実験板では 11.20 倍という付着量比率となった。20 日目あたりから、観測層の平均気温は 25℃を下回り、その後 30 日目あたりからは 20℃を下回っている。海水温度の低下が、比較的低温で付着優勢種となるコケムシ類の過渡的な付着を誘引したものと考えられる。20 日目と 30 日目の付着量増加率を比較すると、抗菌処理実験板は 200%増加、非抗菌処理実験板は 40.0%減少している。抗菌処理を施した実験板の付着量の伸び率が大きいのは、抗菌剤の効果が減少し抑制作用が及ばなくなったことに対する過渡的な現象であると考えられる。20 日目と 30 日目

との両者の付着量増加比率の差は、20日目は440%、30日目は680%減となっている。

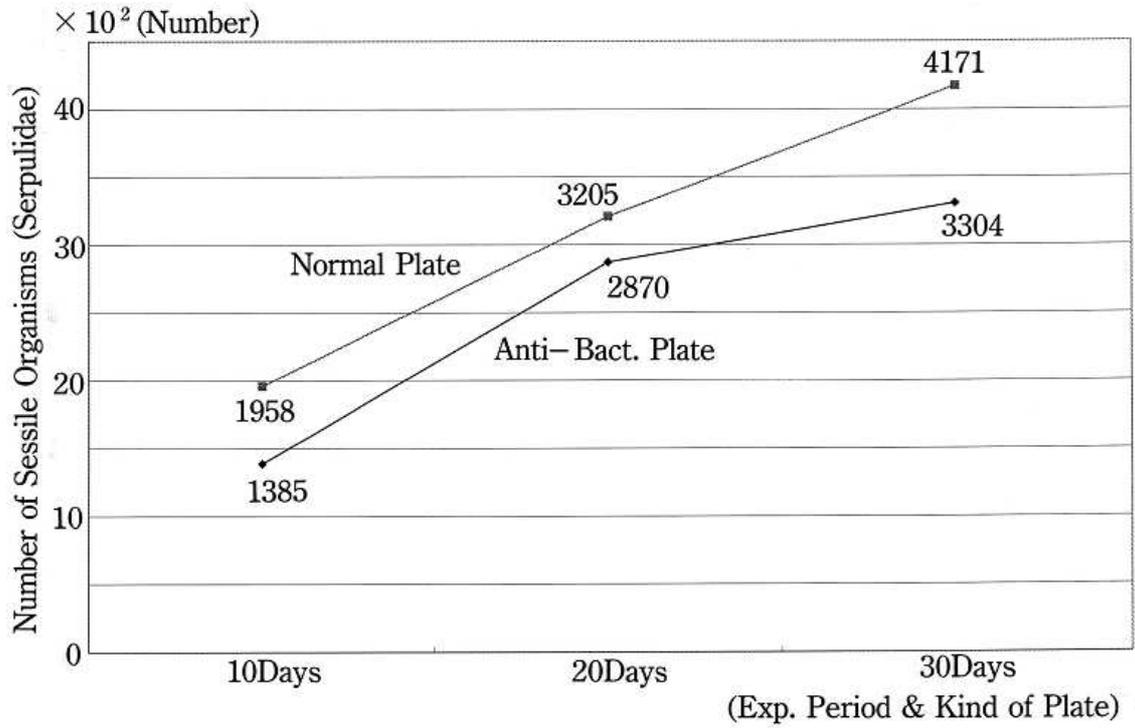


図 3.12 (a) 種別海洋付着生物個体数：管棲多毛類

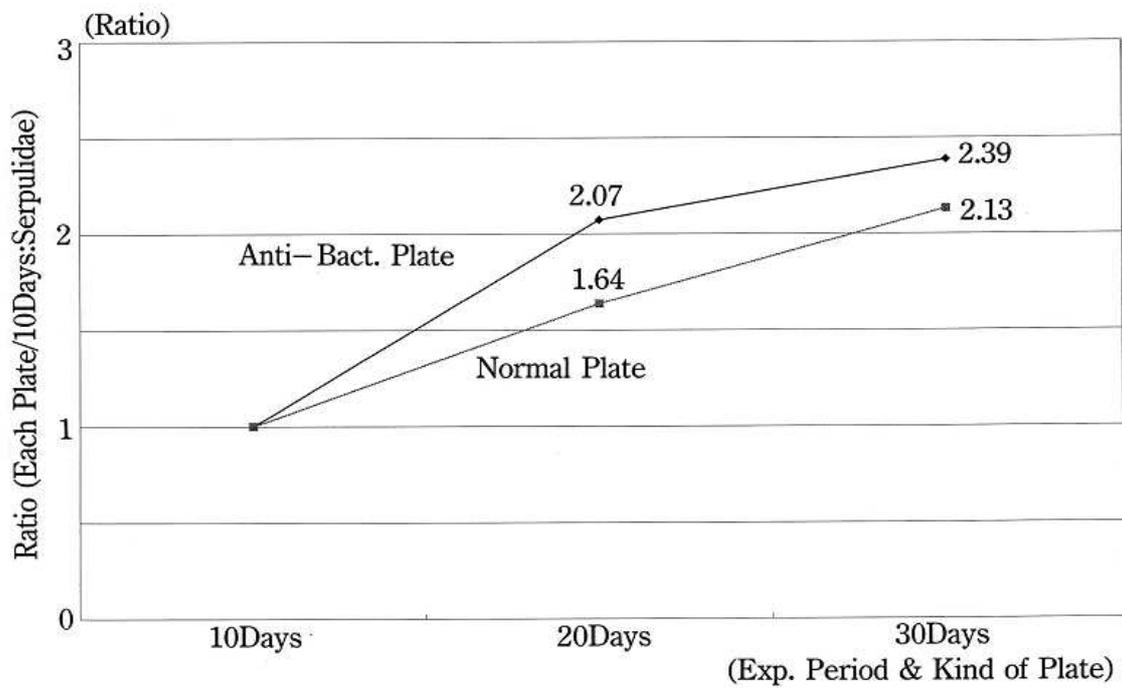


図 3.12 (b) 種別海洋付着生物個体数：管棲多毛類

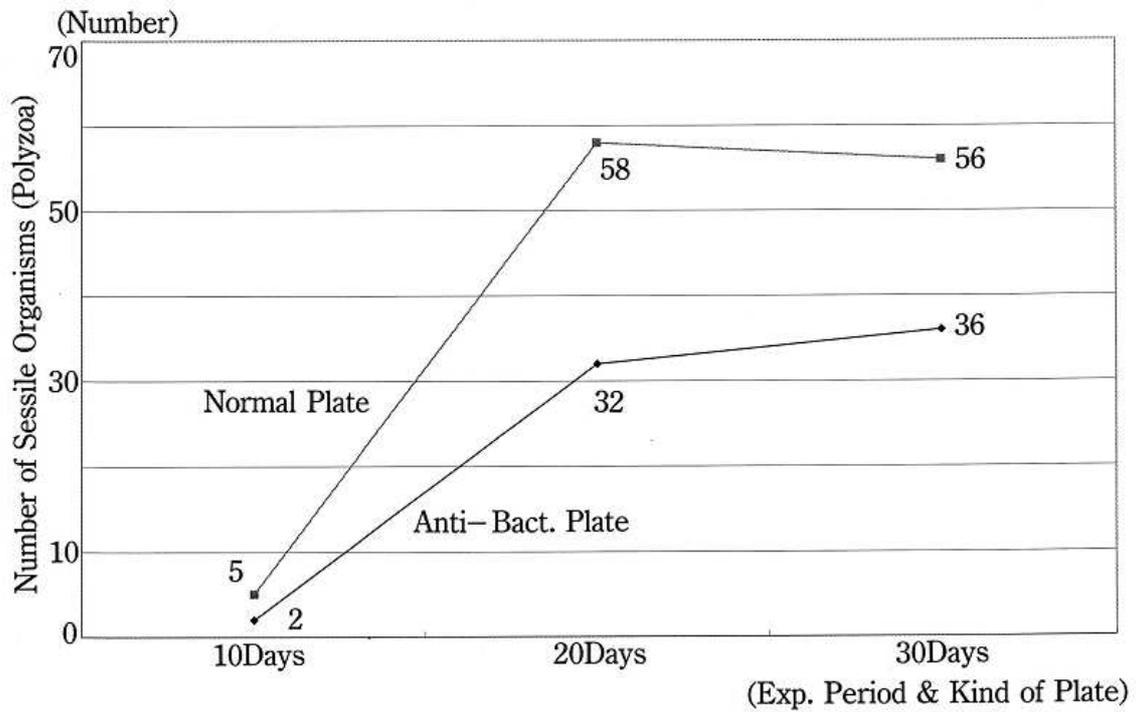


図 3.13(a) 種別海洋付着生物個体数比率：コケムシ類

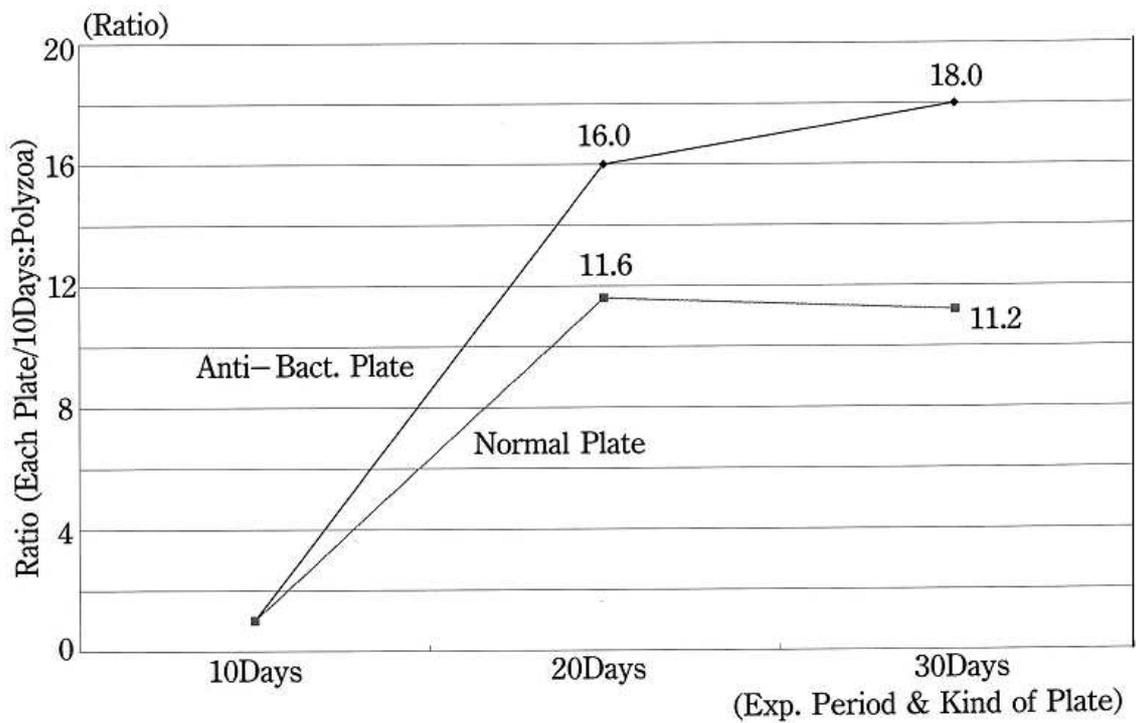


図 3.13(b) 種別海洋付着生物個体数比率：コケムシ類

### 3.4 まとめ

これら一連の実験結果より、海洋付着生物の種類に関係なく、抗菌処理を施した実験板への付着量は、非抗菌処理の実験版への付着量よりも少なく、一定の細菌の繁殖を制御・抑制することは、付着量を減少させることが可能であるということがわかった。

このことから、抗菌性金属を母体とする無機抗菌剤を用いて抗菌処理を基質に施すことにより発生する静菌作用は、完全防汚は不可能であるにしても、その付加量に応じ一定期間内、付着量をかなり減少させることが可能であるという知見を得た。

本実験では、抗菌の効果の有無を、抗菌製品技術協議会（1995年設立）の「銀等無機抗菌剤」の安全性と品質に関する自主規格<sup>(27)</sup>に求めたが、今回この基準を満たすのに混入した無機抗菌剤は、基質の全体形成量の4%であった。これより、薬剤の溶解速度等を考慮し無機抗菌剤の混入量を調節することにより、さらに端的に付着量の減少を導くことが可能であると考え<sup>(1)~(12)</sup>。

おそらく、再現性のある同様の結果が導かれると思われるが、今後は、数多くの実験場所で同様の観察実験を行ない、実験期間も連続的にして付着傾向を見ていく必要がある。

今後の課題としては、1) 今回使用した無機抗菌剤が対象とする菌種以外の菌に作用していないことを証明し、対象となる細菌の繁殖抑制が付着量の減少に寄与していることを明らかにすること。同様に、2) 抗菌剤が海洋付着生物の幼生そのものにも効果していないことを証明し、細菌を抑制することによる付着の制御の効果を確認すること。等を挙げることができる。

### 3.5 無機抗菌剤添加塗膜への海洋付着生物の付着に関する研究

本節では、基質に無機抗菌剤を添加した塗膜を形成し細菌フィルムの抑制をはかった場合の海洋付着生物の付着の状況とその効果について確認した実験結果について分析する。

### 3.6 実験方法

#### 3.6.1 実験時期・場所・観測項目

藻類の皮膜形成の前段階として細菌フィルムの形成が考えられ、藻類の誘引エレメントのひとつであると考えられている。これらは自然環境の変化に如実に反映するため、実験目的に沿った実験時期の選定が必要である。実験の時期としては、海水温度等の自然環境指標の変化も考慮し、若干の余裕を持たせるために、付着優勢種の均衡や交代時期よりも若干早い時期<sup>(13)(14)(15)</sup>を選択した。特に海水温度の変化は付着優勢種の変化に如実に影響すること<sup>(13)(14)(15)</sup>も配慮し、実験期間は観測層の海水温度が20℃以上を常に保持すると考えられる2006年8月20日から同年9月18日までの30日とした。

実験場所は、図3.15に示す山口県徳山下松港内の笠戸島本浦漁港とした。同港には漁船が多数常時在泊し、笠戸島、給島、仙島、黒髪島、大津島などの半島、島等により比較的深い湾奥をもつ港湾が形成されており、静穏度も比較的高当該実験を行うのに適した海域と考える。また、付近には外航船舶の往来、停泊するバース等もあり、船底に付着して移入してきた外来種の有無や分布状況を併せて観察するにも比較的都合の良い観測海域であると考え。なお、実験期間中は、同実験海域において気温、海水温度、pH、塩分、海水

比重を連続観測した。

### 3.6.2 実験装置

図 3.16 に実験装置を示す。実験板は 3.2 同様、200mm 四方に加工したアクリル板とした。抗菌剤塗膜の効果は抗菌剤の含有量と付着量の差異をパラメタとして確認するため、それぞれ 1) 表面に密着用添加剤のみを塗布し抗菌剤塗膜を有しないもの、2) 密着用添加剤と抗菌剤溶剤とを 1:1/2 で混合したもの、3) 密着用添加剤と抗菌剤溶剤とを 1:1 で混合し塗布したものの 3 種類を用意した。なお、抗菌剤は「銀等無機抗菌剤」の安全性と品質に関する JIS 規格 (JIS 規格 JISZ2801) <sup>(28)</sup> に基づきその効果を確認した <sup>(16)</sup> 銀系無機抗菌剤を用いた。溶剤としてイソプロピルアルコールを使用し、抗菌剤を 25%、溶剤 75% の抗菌剤溶剤を作製し使用した。また塗膜を形成させるための密着用添加剤としては合成樹脂 (アクリル、シリコン) を用いた。

実験装置の枠は、図 3.16 に示す通り、1200mm×300mm の木枠で、これに実験板を等間隔に固定した。水面下 1000mm に実験板の中心が浸漬する様に、同図に示す通りロープで機材とブイを付した木枠を連結、下方には装置の安定と振れ防止のために重錘を取り付けて設置した。実験板は、湾内東から西に抗菌剤塗膜を有しないもの (以下実験板 A とする)、密着用添加剤と抗菌剤溶剤とを 1:1/2 で混合したもの (以下実験板 B とする)、密着用添加剤と抗菌剤溶剤とを 1:1 で混合し塗布したもの (以下実験板 C とする) の順で配列した。

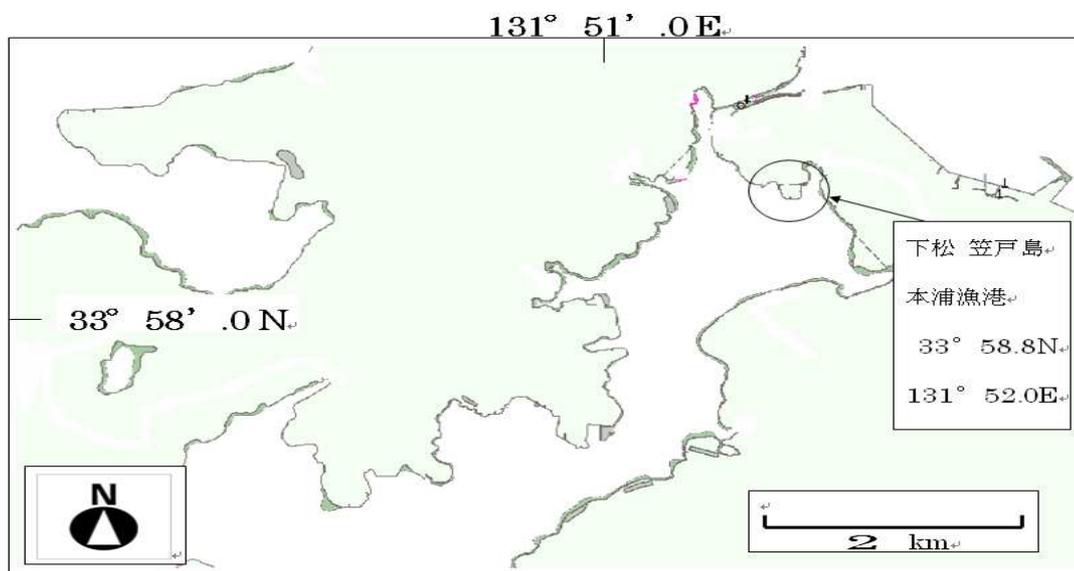


図 3.15 実験海域

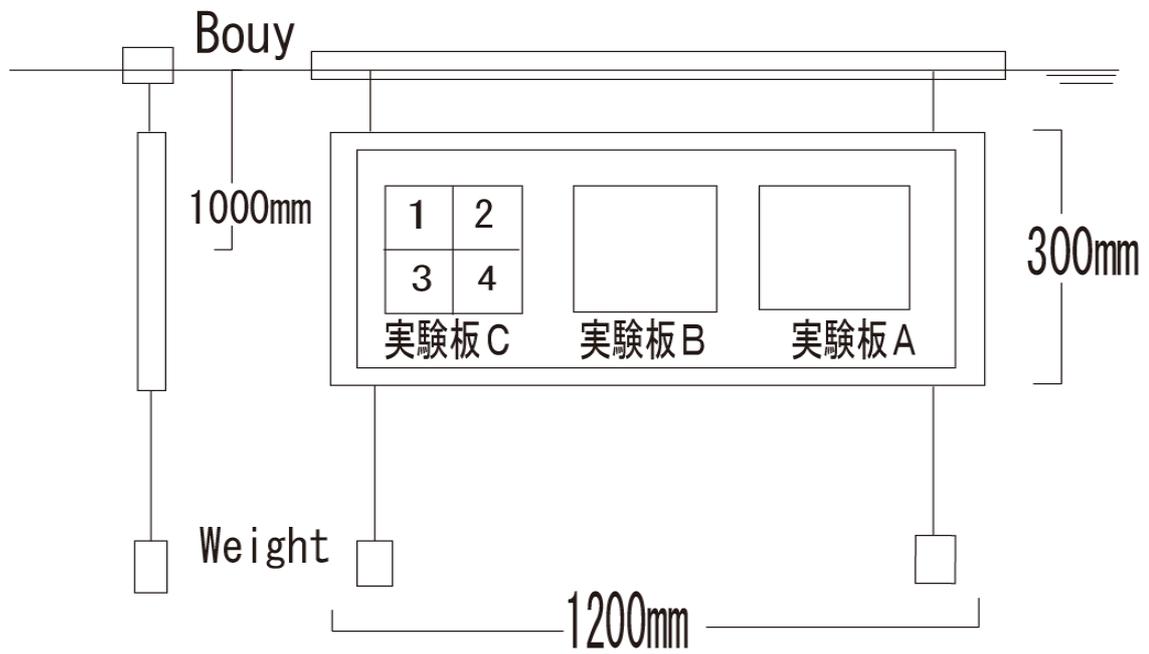


図 3.16 実験装置

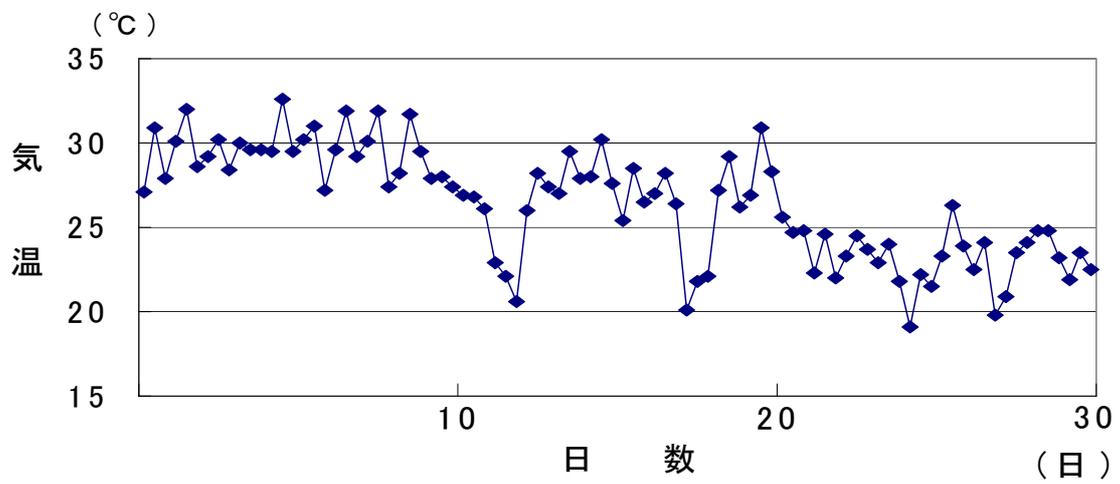


図 3.17 气温

### 3.7 実験結果と考察

#### 3.7.1 温度変化・海水温度・pH・塩分・比重の変化

図 3.17 から図 3.21 は、観測データを基にして、横軸に観測日時を、縦軸に各観測項目をとり、それぞれの変化をグラフ化したものである。図 3.17 は実験期間中の大気温度の日変化のグラフである。同図より、観測中の大気温度は、平均して 26.4℃であった。実験期間中は、ほぼ全日 20℃を上回る日が続いている。実験期間中は安定した気温の状態が続いていることがわかる。

図 3.18 は、観測層における海水温度の変化を示したものである。期間中の観測層平均海水温度は 24.6℃であり、また、期間中は 20℃以上の温度を保っていた。温度変化から見て第 1、2 種付着生物の付着に支障の無い状況であったと判断できる<sup>(13)~(15)</sup>。

図 3.19 に、表面海水の pH を一日一回測定した結果を示す。pH 測定器の調整は、pH 4、7、10 の標準液を用いて 3 点校正にて使用した。一般的に海水は弱アルカリ性であり、その pH 値は表面で  $8.0 \pm 0.2$  くらいであるが、本水域の pH 値は平均して 8.22 と標準的なアルカリ度よりやや高い値となっている。

図 3.20 は、塩分を表示したものである。なお、計測には屈折率塩分計を用いた。実験水域の塩分は一般的な塩分值と比較して低いと判断できる。期間平均は、24.23 であり内海の標準的な塩分<sup>(13)~(16)</sup>であると考えられる。

図 3.21 は海水比重の変化を記録・表示したものである。実験開始から終期に至るまでほぼ一定した値となっていることがわかる。期間の平均は 1.018 であった。

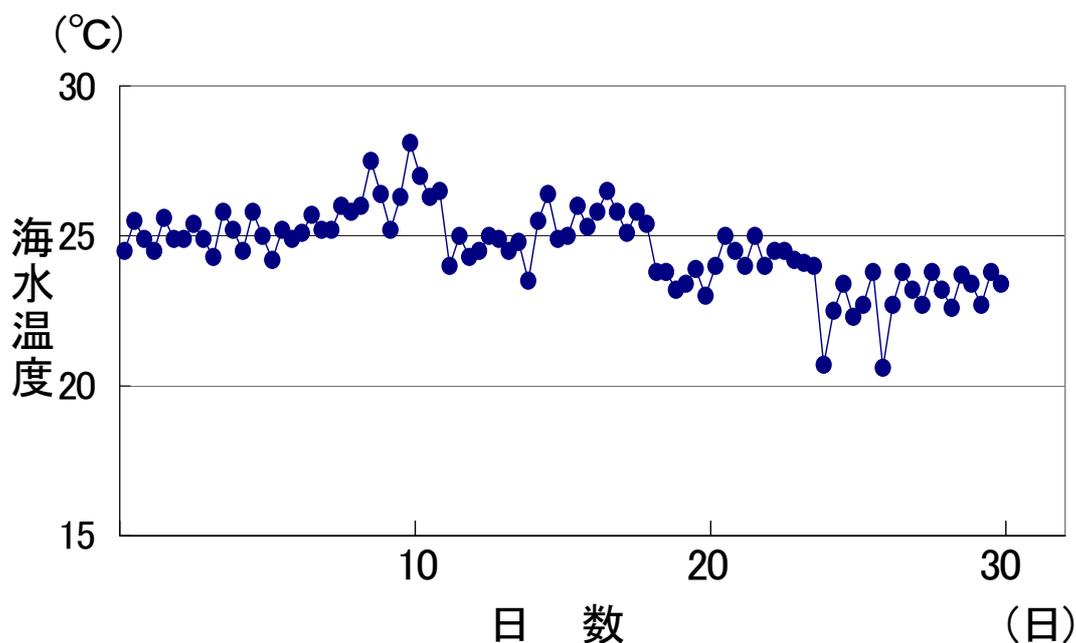


図 3.18 観測層海水温度

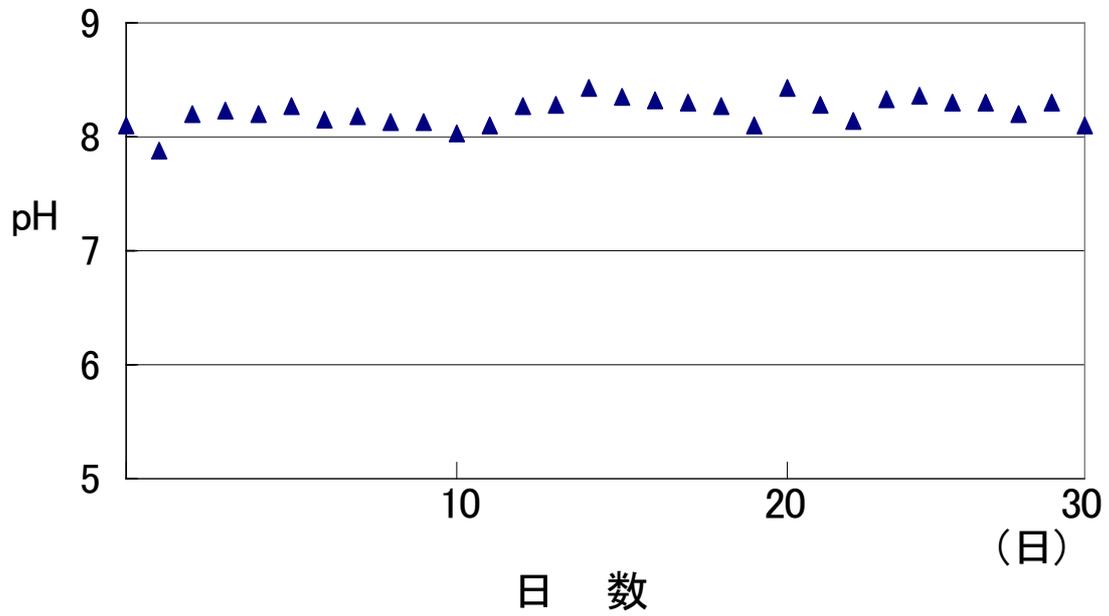


图 3.19 表面海水 pH

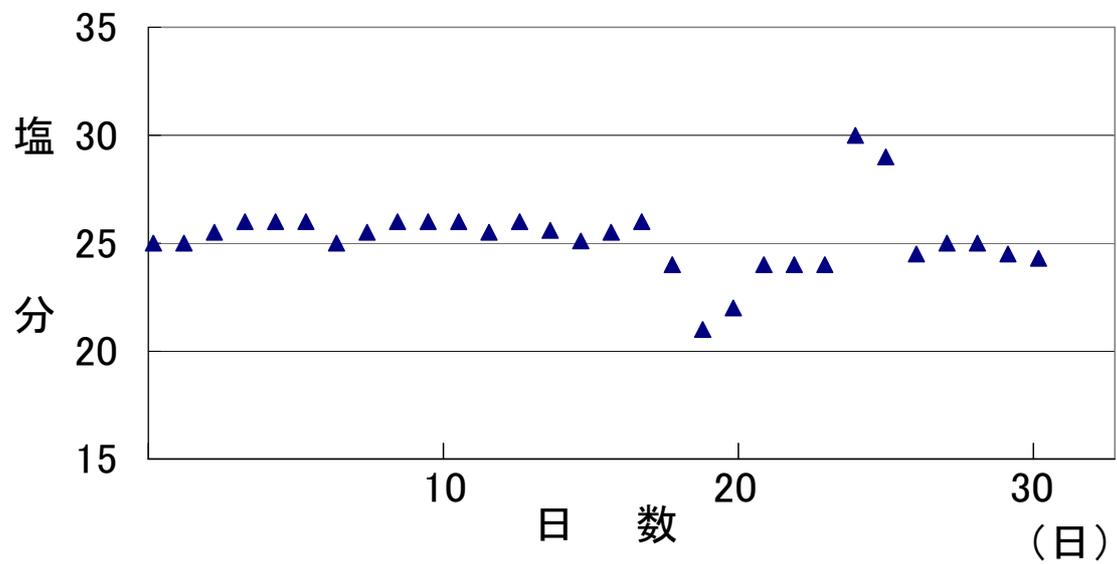


图 3.20 塩分

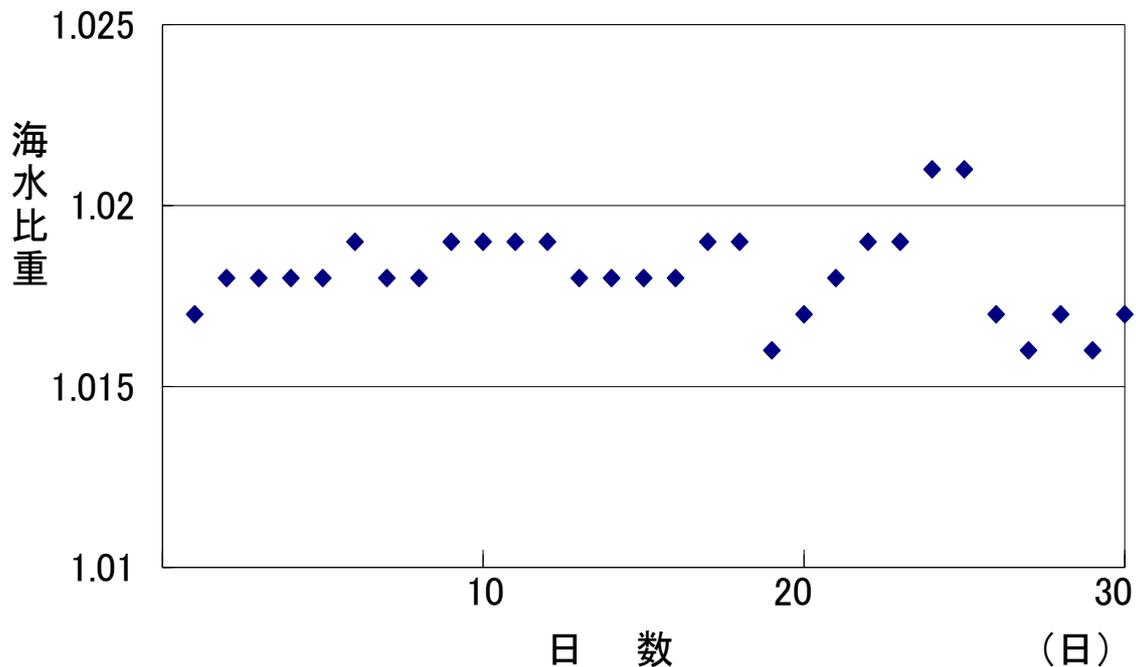


図 3.21 表面海水比重

以上のように、図 3.17 から図 3.21 の観測データからみて、全体的に実験海域の状況は今回の実験に特に支障のない状態であったと判断できる。

### 3.7.2 付着量・付着傾向

回収した実験装置は、湿潤重量、乾燥重量計測後ラッピングし、実験板の取り付け上部を上とし、図 3.16 に示す様に 1、2、3、4 の 4 区画に等分し、それぞれの区画における付着個体数、体長、底径計測を付着生物種毎に実験板の表裏について行った。なお、解析結果として用いる個体数には実験板に付着後、変態し成体となったもののみとした。

図 3.22 に実験板に付着した全個体数(有殻付着生物群:成体となったときに外殻を形成して棲息する固体。一例としてフジツボ類、管棲多毛類等)を、縦軸に個体総数、横軸に各実験板をとり表示している。比較的多く付着したのは、タテジマ、シロスジに代表されるフジツボ類とカサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイを大半とする管棲多毛類であった。同図から、それぞれの付着量は明確に差異があり、それらは添加した抗菌剤の量にほぼ比例していることがわかる。一定の浸漬期間内においては、ある特定の細菌フィルムの基質への形成を制御することは、大型海洋付着生物の付着速度を低下させる結果を誘引することは明確であり、その付着量は細菌フィルムの形成量によりほぼ決定付けられることは明らかである。

図 3.23 に、フジツボ類の付着量を、縦軸に付着量比率、横軸に実験板をとり実験板 C

の付着個体数を母数として各実験板の付着量比率を表示した。実験板Bは1.06倍、実験板Aは1.79倍の付着量であったことがわかる。両実験板へのフジツボ類の付着量は実験板Cのものに比べ非常に多い。特に、実験板Aへの付着量の比率は格段であり、抗菌塗膜の有無がフジツボ類の付着量の軽減に大きく寄与していることがわかる。

図 3.24 は、ゴカイ類の付着量を縦軸に付着量比率、横軸に実験板をとり実験板Cの付着個体数を母数として各実験板の付着量比率を表示した。実験板Bは1.87倍、実験板Aは4.21倍の付着量であった。実験板B、実験板Aへのゴカイ類の付着量は実験板Cのものに比べ非常に多い。特に、実験板Aへの付着量の比率は格段であり、抗菌塗膜の有無と抗菌剤の含有比率がゴカイ類の付着量の軽減に大きく寄与していることがわかる。

これら一連の実験結果より、海洋付着生物の種類にほぼ関係なく、抗菌塗膜を施した実験板への付着量は、全く抗菌塗膜を有しない実験板への付着量よりも少なく、一定の細菌の繁殖を制御・抑制することは、付着量を減少させることが可能であるということが明確になった。

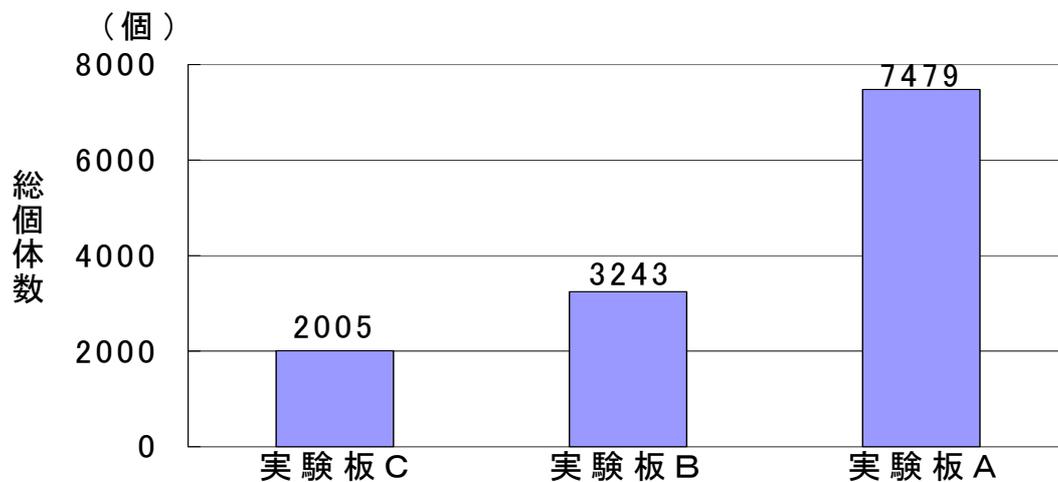


図 3.22 付着個体数 (付着全個体)

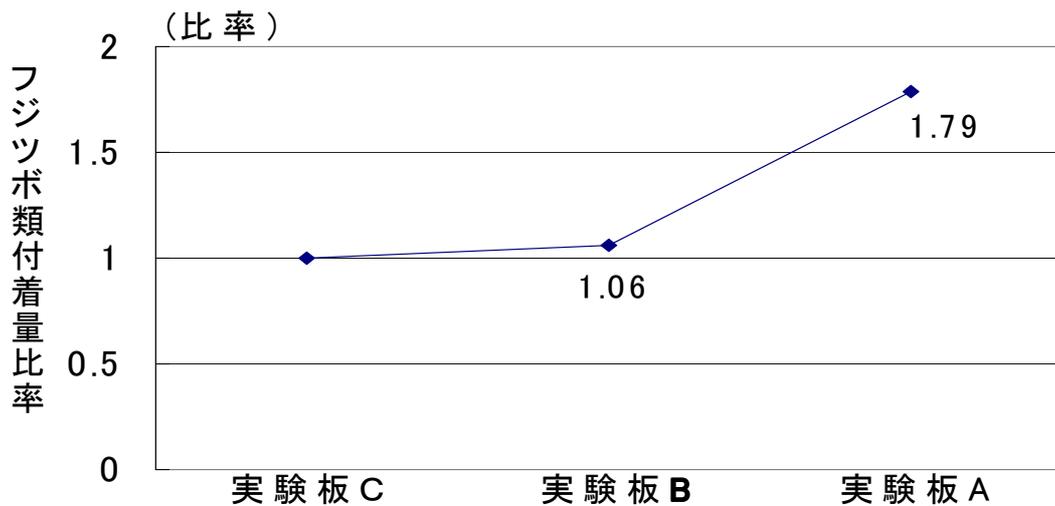


図 3.23 付着量比較 (フジツボ類)

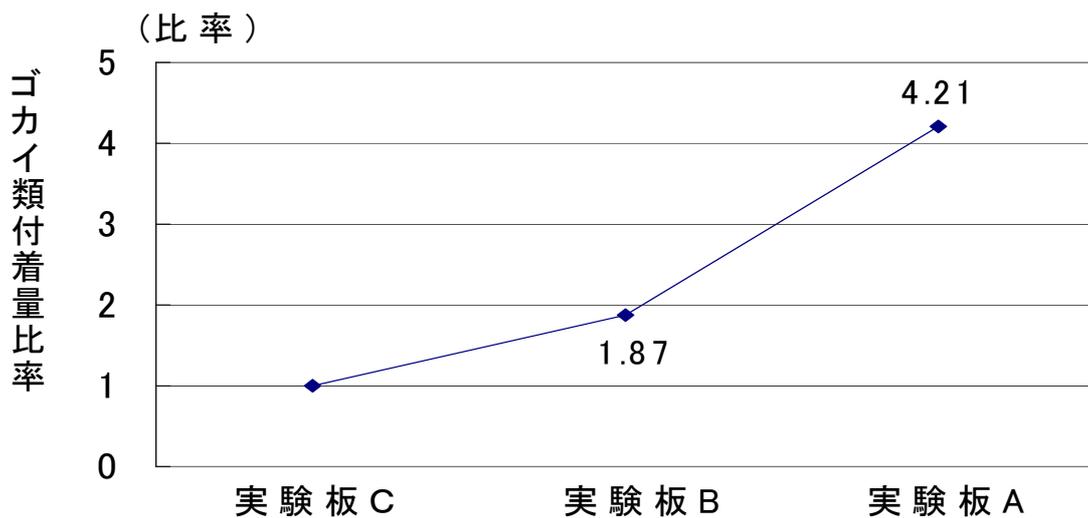


図 3.24 付着量比較 (ゴカイ類)

### 3.8 おわりに

今回の実験で、海洋付着生物の種類に関係なく、抗菌剤塗膜を有する実験板への付着量は、抗菌剤塗膜を有しない実験板への付着量よりも少なく、その比率は、抗菌剤の含有量にほぼ順ずるという結果を得た。このことから、抗菌性金属を母体とする無機抗菌剤を用いて抗菌塗膜を基質に施すことにより、発生する静菌作用は、その付加量に応じ一定期間内、付着量を相当量減少させることが可能であるという知見を得た。

本結果より、薬剤の溶解速度等を考慮し無機抗菌剤の混入量を調節することにより、さらに端的に付着量の減少を導くことが可能であると考えられる。今後は、数多くの実験場所でさらに抗菌剤の含有量や担持の仕方、塗膜の色等を考慮して同様の観察実験を行ない、実

験期間も連続的にして付着傾向を見ていく必要がある。

### 3.9 海洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムの研究

本節では、基質に無機抗菌剤を添加した塗膜を形成した場合の海洋付着生物の付着の状況と、その効果について確認した実験結果について述べる。

#### 3.9.1 実験方法

#### 3.9.2 抗菌剤担持剤の開発

著者らがこれまでに行なってきた一連の実験、主として無機銀系抗菌剤を利用した大型の海洋付着生物の付着抑制効果確認実験<sup>(15)(16)</sup>では、現象論的にみて、当該抗菌剤が、フジツボ類等の大型海洋付着生物の付着抑制に寄与することがわかっている。無機系の抗菌剤ならびにこれらの効果を応用した塗料が大型の海洋付着生物の付着防止に効果があることは種々確認されている<sup>(17)~(22)</sup>が、定量的な効果の度合いや持続性に関してはまだ研究段階の域を出ておらず、有機スズ系の塗料や、前述のその代替塗料等と比較すると実用レベルにあるとは言い難い<sup>(19)~(29)</sup>。

そこで、無機系の銀系抗菌剤による海洋付着生物の付着防止効果の持続性の向上を図るために、「銀等無機抗菌剤」の安全性と品質に関する J I S 規格 (JIS 規格 JISZ2801)<sup>(16)</sup>に基づき、その効果を確認した<sup>(28)</sup>銀イオンを用い、これを多孔質物質に担持させ、その溶出速度を軽減させることにより効果を持続させるための抗菌剤担持剤を開発し、その性能を確認する実験を行った。

当該抗菌剤担持剤は、粒子径  $1\mu\text{m}$ 、真比重 3.0、嵩密度  $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 、pH7 で銀の担持量は 10 重量%、耐酸性は pH3 であり通常の海水では溶解しない。また、当該担持剤の開発に当っては、セラミックに銀イオンを担持させる既存の方法<sup>(23)~(27)</sup>を参考にした。なお、安全性に関しては通常行なわれるラット、マウス試験を行なった。ラットを用いた急性毒性試験では  $\text{LD}_{50}$  (♂ラット)  $\Rightarrow 4700\text{mg}/\text{kg}$ 、マウスを用いた急性毒性試験では  $\text{LD}_{50}$  (♂マウス)  $\Rightarrow 4800\text{mg}/\text{kg}$ 、ウサギを用いた皮膚一次性刺激試験では刺激性が認められず、微生物を用いる変異原性試験は陰性、皮膚感作性試験は陰性であった。同様に、24 時間クローズドパッチテストによるヒト皮膚一次刺激性試験も陰性であった。

また、海洋での使用が目的であるため、魚毒性 (急性) 試験を行った。マダイ、ヒラメの当歳魚 15~20 尾をそれぞれ 4 個の汲み上げ海水槽内に入れ、当該抗菌剤担持剤を散布し、96 時間 (4 日間) の動静試験を複数回実施した。その結果、壊死は全く見られず、挙動にも異常は観察されなかった。将来的には、植物プランクトン、動物プランクトンを始めとし、様々な海洋生物への影響を確認する必要がある。

当該抗菌剤を水中、特に海洋で使用することを考慮し、また、他の溶液との比較を容易にするために人口海水ではなく生理食塩水を使用、各種の溶媒中での銀イオンの溶出量を計測した。表 3.3 に溶出試験の結果を示す。当該試験は各抗菌剤担持剤 0.1 g を溶媒 50 ml に入れスターラーで攪拌し、60 分後に  $0.2\mu\text{m}$  メンブランフィルターでろ過し、そのろ過液について銀イオン濃度を測定したものである。あわせて、他の既存の抗菌剤担持剤との溶出量の比較も行った。当該抗菌剤担持剤は、イオン交換水やリン酸緩衝液中ではほと

んど溶出が認められないが、生理食塩水においては比較的溶出量が多いことがわかる。しかしながら、既存の抗菌剤との比較では銀イオンの溶出量は約 30%以下、もしくは 20%以下の数値を示しており、抗菌性能の持続性において、従来のものよりも格段に優れているといえる。

表 3.3 各種溶媒における銀イオンの溶出量比較

溶 媒 被験対象	イオン交換水 p H6.13	リン酸緩衝液 p H6.87	生理食塩水 p H5.20
当該担持剤	25 p p b	30 p p b	100 p p b
セラミック担持型	50 p p b	70 p p b	200 p p b
イオン交換型	<10	450	470
溶解型抗菌剤	370	370	580

また、本抗菌剤担持剤は、一般的に流通している塗料等に混入するだけで抗菌塗料としての性質をもつことから、比較的安価に対処することが可能である。抗菌剤担持剤と一般的な塗料という 2 つのサブシステムを融合させることによるひとつのシステムということができる。

### 3.9.3 実験時期・場所・観測項目

#### 3.9.3.1 実験海域

今回開発した抗菌剤担持剤を用いて、海洋付着生物の付着傾向とその量を計測することにより、その性能を確認するための実験を以下の要領で行なった<sup>(30)~(33)</sup>。

フジツボ類や管棲多毛類等に代表される大型の海洋付着生物が基質に付着するためには、その第一段階として藻類を中心とした被膜が形成される必要があるという報告<sup>(29)</sup>がある。一般的にみて、大型の海洋付着生物が付着するまでには、前述したとおり基質の浸漬からほぼ 1 週間程度の時間的経過を必要とする。藻類の皮膜形成の前段階として細菌フィルム<sup>(30)</sup>の形成があり、藻類の誘引エレメントのひとつであると考えられている。これらは自然環境の変化を如実に反映するため、実験目的に沿った実験時期の選定が必要である。実験の時期としては、海水温度等の自然環境指標の変化も考慮し、海洋付着生物の付着優勢種の均衡、交代時期よりも若干早い時期<sup>(30)(31)(32)</sup>を選択した。特に海水温度の変化は付着優勢種の変化に極めて影響する要因であること<sup>(30)(31)(32)</sup>も配慮し、実験期間は観測層の海水温度が 20℃以上を常に保持すると考えられる 2007 年 8 月 10 日から同年 9 月 18 日までの 40 日とした。

実験場所は、前節と同様、山口県徳山下松港内の笠戸島本浦漁港とした。なお、実験期間中は、同実験海域において気温、海水温度（表層および観測層）、pH、塩分、海水比重を観測した。

### 3.9.3.2 実験装置

実験装置に関しても、前節の図 3.15 と同様とした。抗菌剤添加剤を塗膜として密着させるために、溶剤として酢酸ブチルを使用し、抗菌剤担持剤を 50%、溶剤 50%の抗菌剤担持剤溶剤を作製した。また塗膜を形成させるための密着用添加剤としては合成樹脂（アクリル、シリコン）を用いた。

抗菌剤担持剤添加塗膜の効果を、抗菌剤添加剤の含有量と海洋付着生物の付着量の差異を、パラメタとして確認するため、1)実験板のそれぞれの表面に密着用添加剤のみを塗布し抗菌剤担持剤添加塗膜を有しないもの、2)密着用添加剤と抗菌剤添加剤溶剤とを 1:1/2 で混合したもの、3)密着用添加剤と抗菌剤担持剤溶剤とを 1:1 で混合し塗布したものの 3 種類を用意した。

実験板は、湾内東から西に抗菌剤担持剤塗膜を有しないもの（以下実験板Aとする）、密着用添加剤と抗菌剤担持剤溶剤とを 1:1/2 で混合したもの（以下実験板Bとする）、密着用添加剤と抗菌剤担持剤溶剤とを 1:1 で混合し塗布したもの（以下実験板Cとする）の順で配列した。

## 3.10 実験結果と考察

### 3.10.1 温度変化・海水温度・pH・塩分・比重の変化

図 3.24 から図 3.28 は、観測データを基にして、横軸に経過日時、経過日数を、縦軸に各観測項目をとり、それぞれの変化をグラフ化したものである。図 3.24 実験期間中の大気温度の日変化のグラフである。日周変化を●印、その日の最低気温を■印で表した。同図より、観測中の大気温度は、平均して 26.4℃であった。実験期間中は、ほぼ全日 20℃を上回る日が続いている。実験期間中は安定した気温の状態が続いていることがわかる。

図 3.25 は、観測層における海水温度の変化を示したものである。期間中の観測層平均水温度は 25.58℃であり、また、期間中は 20℃以上の温度を保っていた。温度変化から見て第 1、2 種付着生物の付着に支障の無い状況であったと判断できる<sup>(14)~16)、(30)~32)</sup>。

図 3.26 は、表面海水の pH を一日一回測定、記録したものである。pH 測定器の調整は、pH4、7、10 の標準液を用いて 3 点校正にて使用した。一般的に海水は弱アルカリ性であり、その pH 値は表面で 8.0±0.2 程度であるが、本水域の pH 値は平均して 8.21 と標準的なアルカリ度よりやや高い値となっている。

図 3.27 は、塩分を表示したものである。なお、計測には屈折率塩分計を用いた。実海域の塩分は海洋における一般的な塩分値<sup>(33)(34)</sup>と比較して低い。期間平均は、25.79 であり、これは内海の標準的な塩分<sup>(30)~32)</sup>であると考えられることができる。

図 3.28 は、海水比重の変化を記録・表示したものである。実験開始から終期に至るまでほぼ一定した値となっていることがわかる。期間の平均は 1.018 であった。

以上のように、図 3.24 から図 3.28 の観測データからみて、全体的に実験海域の状況は

今回の実験に特に支障のない状態であったと判断することができる。

### 3.10.2 付着量・付着傾向

回収した実験装置は、湿潤重量、乾燥重量計測後ラッピングし、実験板の取り付け上部を上とし、4区画に等分し、それぞれの区画における付着個体数、体長、底径計測を付着生物種毎に実験板の表裏について行った。なお、解析結果として用いる個体数には実験板に付着後、変態し成体となったもののみとした。

図 3.29 に実験板に付着した全個体数（有殻付着生物群：成体となったときに外殻を形成して棲息する個体。一例としてフジツボ類、管棲多毛類等）を、縦軸に個体総数、横軸に各実験板をとり表示している。比較的多く付着したのは、タテジマ、シロスジに代表されるフジツボ類とカサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイを大半とする管棲多毛類であった。同図から、それぞれの実験板への付着量は明確に差異があり、それらは添加した抗菌剤担持剤の量にほぼ比例していることがわかる。なお、それぞれの海洋付着生物の体長ならびに底径は、フジツボ類が 0~6mm、ゴカイ類が 0~9mm であった。実験結果より、一定の浸漬期間内においては、当該抗菌剤担持剤の利用により、大型の海洋付着生物の付着速度を低下させる結果となることがわかる。

図 3.30 に、フジツボ類の付着量を、縦軸に付着量比率、横軸に実験板をとり、実験板 C の付着個体数を母数として各実験板の付着量比率を示す。実験板 B は 1.06 倍、実験板 A は 1.79 倍の付着量であることがわかる。両実験板へのフジツボ類の付着量は実験板 C のものに比べ、非常に多いといえる。特に、実験板 A との付着量の比率は格段であり、抗菌塗膜の有無が、フジツボ類の付着量の軽減に大きく寄与していることがわかる。

図 3.31 に、ゴカイ類の付着量を縦軸に付着量比率、横軸に実験板をとり、実験板 C の付着個体数を母数として各実験板の付着量比率を表示している。実験板 B は 2.17 倍、実験板 A は 4.86 倍の付着量であった。実験板 B、実験板 A へのゴカイ類の付着量は、実験板 C のものに比べ非常に多いといえる。特に、実験板 A との付着量の比率は格段であり、抗菌塗膜の有無と抗菌剤の含有比率がゴカイ類の付着量の軽減に大きく寄与していることがわかる。

これら一連の実験結果より、大型の海洋付着生物の種類にほぼ関係なく、抗菌剤担持剤添加塗膜を施した実験板への付着量は、全く抗菌剤担持剤添加塗膜を有しない実験板への付着量よりも少ないことがわかる。

以前に行った実験研究と結果と合わせて考えると<sup>(15)(16)</sup>、一定の細菌の繁殖を制御・抑制することは、大型の海洋付着生物の付着量を減少させることが可能である。また、抗菌剤担持剤の塗膜への含有量を調節することで、より顕著な付着量の減少を実現できる。

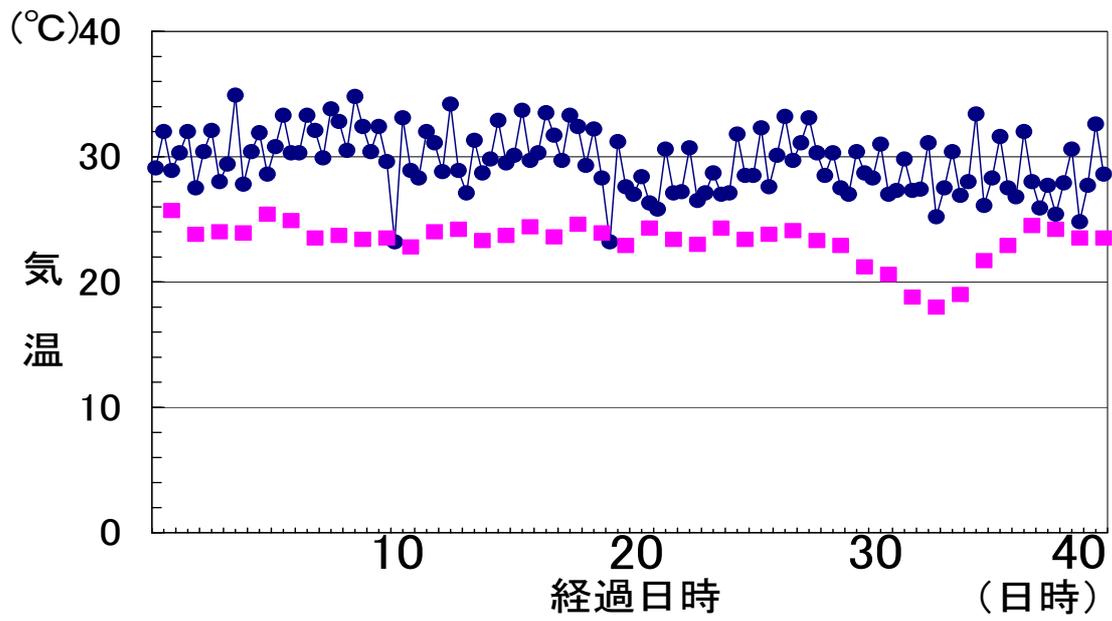


図 3.24 気 温

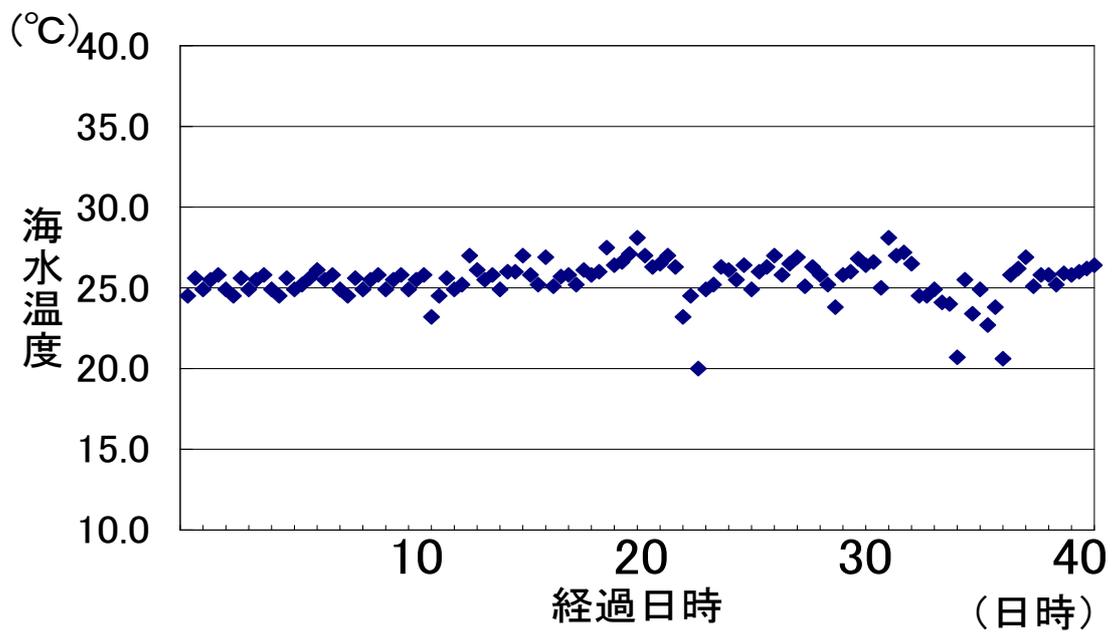


図 3.25 観測層海水温度

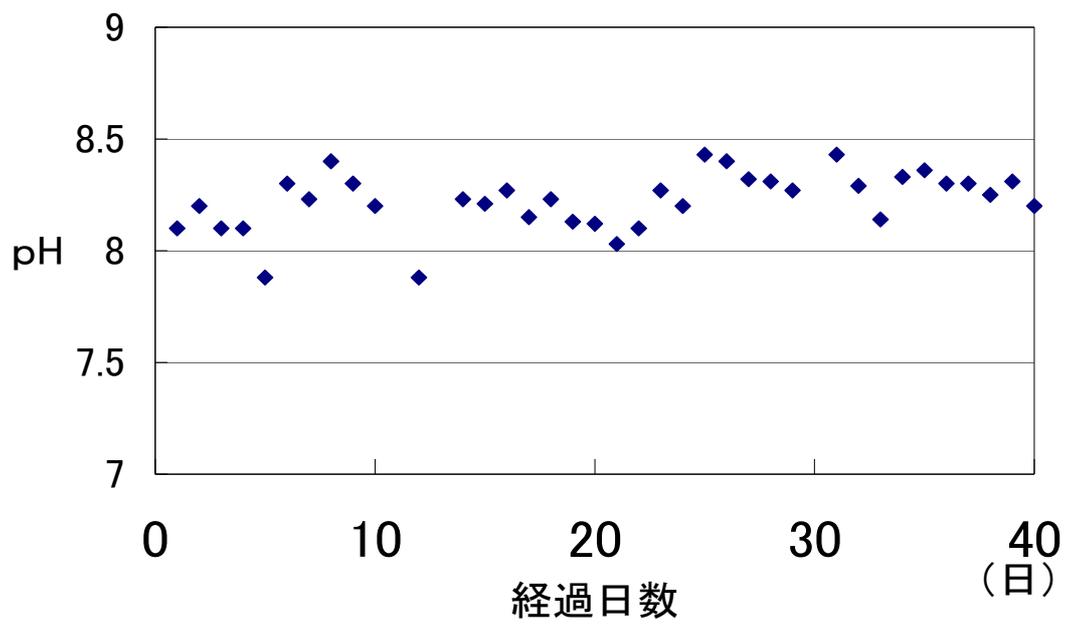


図 3.26 表面海水 pH

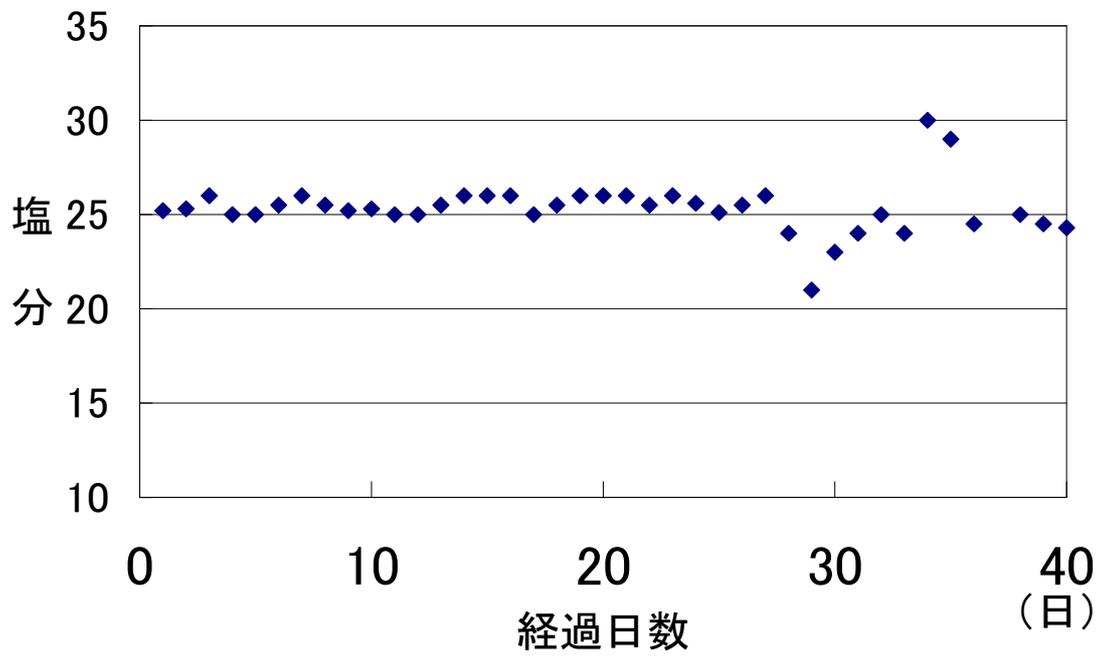


図 3.27 塩分

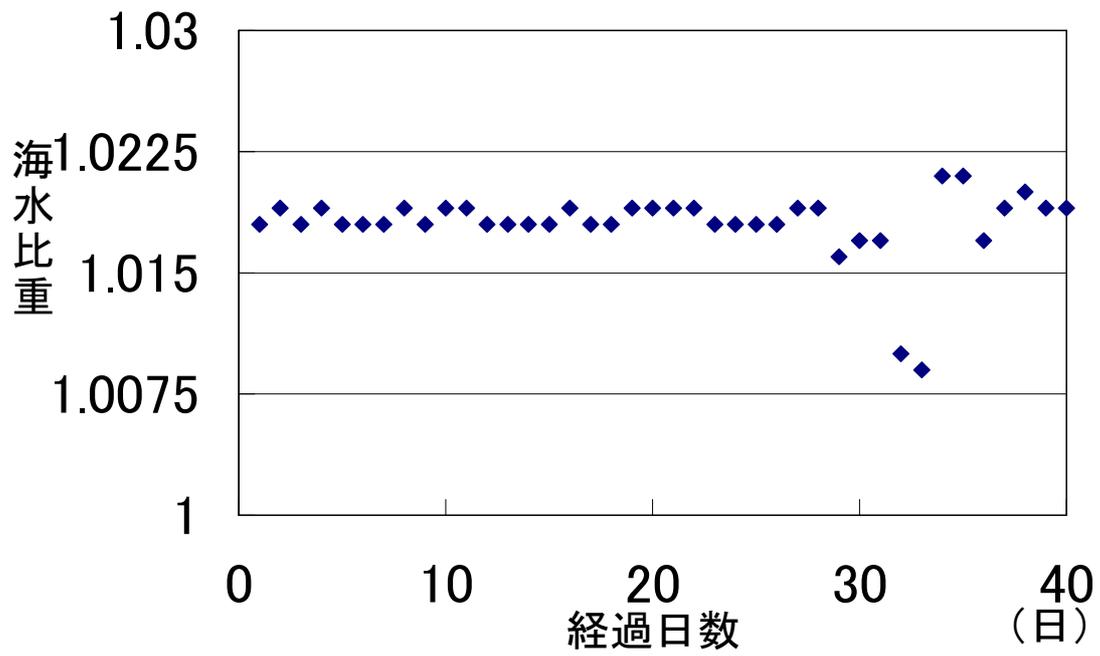


図 3.28 表面海水比重

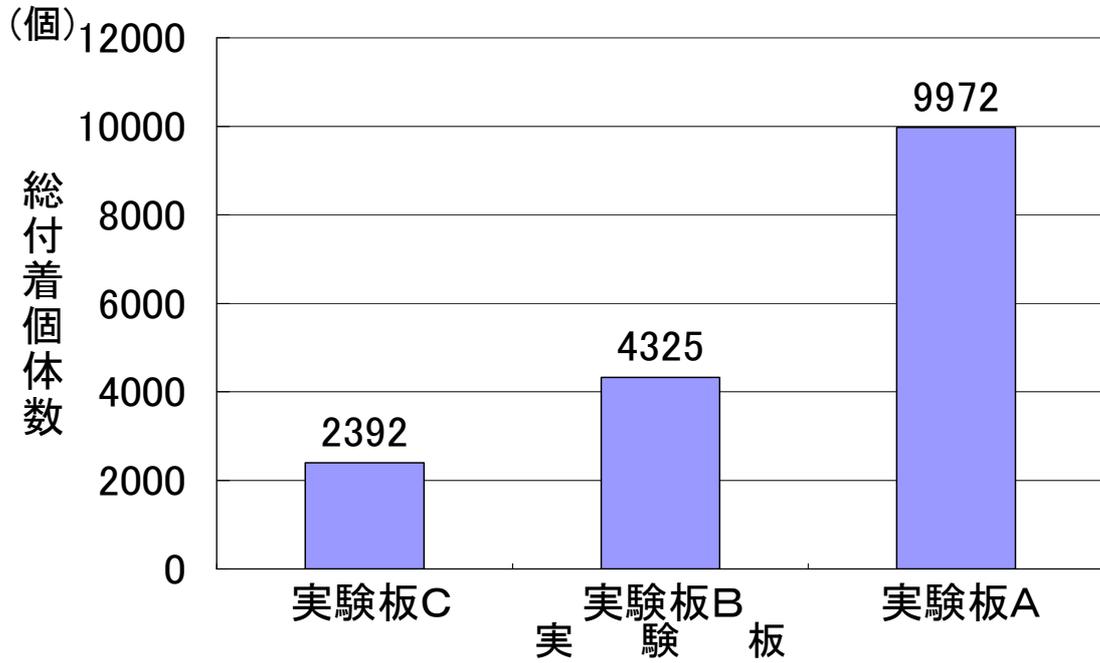


図 3.29 付着個体数 (付着全個体)

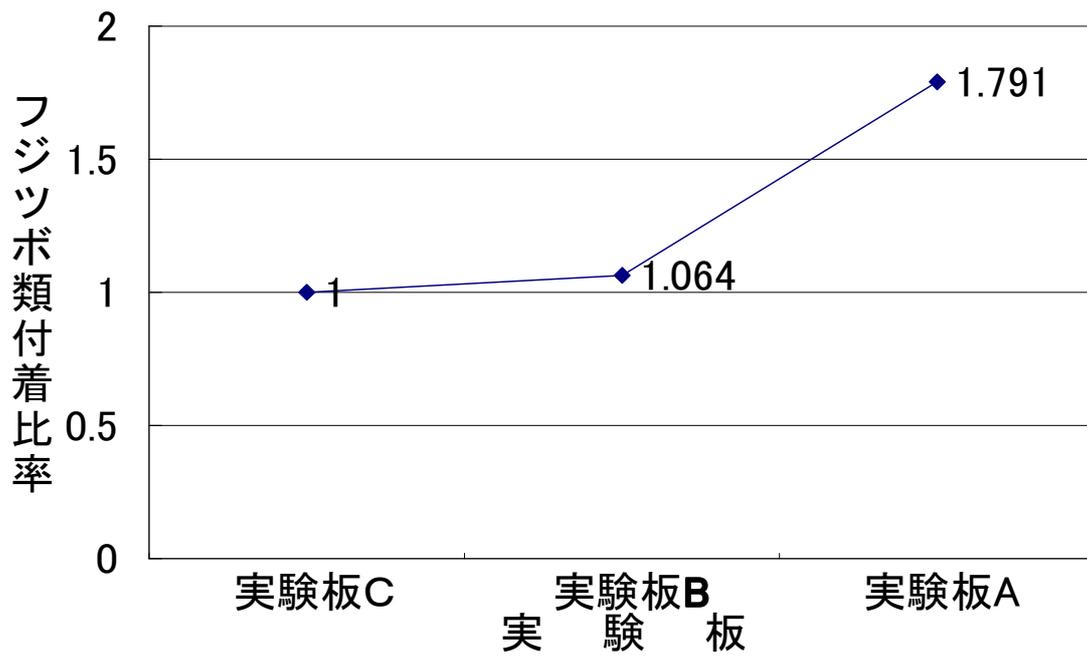


図 3.30 付着量比較 (フジツボ類)

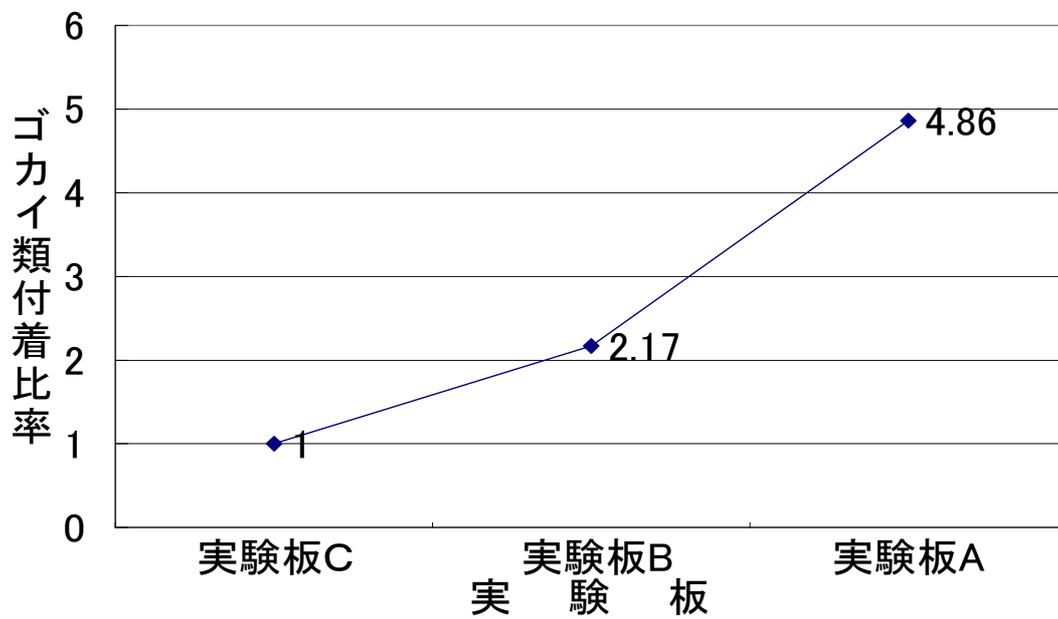


図 3.31 付着量比較 (ゴカイ類)

### 3.10.3 まとめ

今回の実験で、大型の海洋付着生物の種類に関係なく、抗菌剤担持剤添加塗膜を有する実験板への付着量は、抗菌剤添加剤担持塗膜を有しない実験板への付着量よりも少なく、その比率は、抗菌剤担持剤の含有量にほぼ順ずるという結果を得た。このことから、抗菌性金属を母体とする無機抗菌剤を用いて抗菌塗膜を基質に施すことにより発生する静菌作用は、その付加量に応じ一定短期間内であれば、付着量を相当量減少させることが可能であるという知見を得た。

本結果より、抗菌剤の溶出速度等を考慮し無機抗菌剤の混入量を調節することにより、さらに顕著に付着量の減少を導くことが可能であると考え。今回は銀イオンの担持量を10重量%としたが、当該担持剤ではその約7倍近くまで担持量を増加させることが可能と思われる。

### 3.11 おわりに

本章では抗菌剤が海洋付着生物の付着にいかに関与するかを明らかにした。大型の海洋付着生物が付着するためには、スライムの付着が必要であるとする節があり、事実様々な実験においてもそのことは少なからず確認されている。すなわち、フジツボ等の大型の海洋付着生物は基質が投入されてから直ちに付着を開始するのではなくその前段階が完了する時期を選択しているかのように判断できる。そこで、スライムを発生させる一定の菌種を制御した場合に、海洋付着生物の付着状況がどのように変化するかを3.2節で確認した。結果的に関連は大いにあると判断した。スライムを発生させる特定の菌種にスポットをあてM、それらの繁殖を抑制することにより大型の海洋付着生物の付着を抑制することが可能ではないかと考え、当該薬剤を担持させペイントに混入させることにより海洋付着生物の付着の抑制に寄与することを考え、より効果の高い抗菌剤担持剤を利用し更に実験を行った結果を3.3節にまとめたが、結果は有効であった。

3.4節では、海洋への環境も考慮し動物への無毒実験を行い、担持剤も改良し更に精錬した無機抗菌剤塗料添加剤を用いて海洋付着生物の付着実験を行ったが、高い確率で付着生物の付着を抑える効果があることが分かった。結果として、無機抗菌担持剤をペイントに混入することにより、海洋付着生物の付着は少なからず抑制することが可能であり、将来へにはより完成度の高い担持剤とすることで、これまでの防汚剤が抱えていた問題、すなわち低いとはいえ毒性が存在すること、それが海洋環境を汚染させることなどの問題も解決できるのではないかという知見を得た。

この成果は、単に海洋付着生物による海洋構造物の付着の防止のみならず、第5章でのべる船舶運行の費用分析にも一石を投ずるものである。

参考文献（無機抗菌剤による防汚の可能性の検討 3.1 節、3.2 節）

- (1) 小川量也, 無公害防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止Ⅰ. シリコン塗膜の防汚効果一, 日本航海学会論文集第 95 号, pp 211~222, 1996.
- (2) 小川量也, 害防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止Ⅱ. シリコン塗膜の防汚性能と物性との関係一, 日本航海学会論文集第 95 号, pp 213~221, 1997.
- (3) 舩岡 茂, 防汚塗料の現状—シリル系加水分解型防汚塗料の効果—, 日本航海学会誌第 154 号, pp 13~19, 2002
- (4) 桐生春雄・三代澤明良監修, 特殊コーティングの開発と展望 (Development and Prospect of Functional Coating), pp 267~276, 2002.
- (5) Keifer, P. A.; Rinehart Jr., K.L.; Hooper, I.R. J. Org. Chem. 1986, 51. pp 4450-4454.
- (6) Kon-ya, K. ; Shimidzu, N.; Adachi, K.; Miki, W. Fisheries Sci. 1994, 60, pp773-775.
- (7) 村上由紀, 長沼毅, 「表面」 Vol. 36, No. 10, pp566~572. 1998.
- (8) Israelachvili, J. and R. Pashley, The hydrophobic interaction is long range, decaying exponentially with distance. Nature, 300, 341~342., 1982.
- (9) Israelachvili, J. and R. Pashley (1984): Measurement of the hydrophobic interaction between two hydrophobic surfaces in aqueous electrolyte solutions. J. Colloid Interface Sci. 98, 500~514., 1984.
- (10) Crisp, D. J. (1984): Overview of research on marine invertebrate larvae, 1940~1980. In Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study (J. D. Costlow and R. C. Tipper eds.) Narval Institute Press, 103~126., 1984.
- (11) Petersen, J. H. (1984): Larval settlement behavior in competing Species: *Mytilus Californians* Conrad and *M. edulis* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 82, 147~159., 1984.
- (12) Dempsey, M. J. Mar. Biol., 61, 305~315, 1981.
- (13) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-Ⅰ.-付着個体数から見た基質の色相・明度との相関-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 139 号, 1993. 3.
- (14) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-Ⅱ.-自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 140 号, 1993. 6.
- (15) 花房元顕, 基質の材質と海洋付着生物の付着傾向-折と湾奥における調査実験結果-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 142 号, 1993. 12.
- (16) 宮嶋他, 海中生物付着判定基準, 東京商船大学研究報告第 13 号, 1962.
- (17) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況, 東京商船大学研究報告第 9 号, 1958.
- (18) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第 2 報), 東京商船大学研究報告第 10 号, 1959.
- (19) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第 3 報), 東京商船大学研究報告第 18 号, 1967.

- (20) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第4報), 東京商船大学研究報告第23号, 1972.
- (21) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第5報), 東京商船大学研究報告第26号, 1975.
- (22) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第6報), 東京商船大学研究報告第29号, 1979.
- (23) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第7報). 東京商船大学研究報告第34号, 1983.
- (24) 宮嶋他, 折戸湾における生物付着状況 (第8報), 東京商船大学研究報告第34号, 1983.
- (25) 宮嶋他. 折戸湾における生物付着状況 (第9報), 東京商船大学研究報告第41号, 1990.
- (26) 宮嶋他. 折戸湾における生物付着状況 (第10報), 東京商船大学研究報告第48号, 1997.
- (27) 銀等無機抗菌剤の自主規格および抗菌試験法抗菌加工製品の抗菌力試験法 (1995年版), 抗菌製品技術協議会, 1995. (JIS Z2801, 2000)
- (28) 海洋学Iテキスト (海洋学部講義資料), 西村 実編集, 東海大学海洋学部, 昭和54年
- (29) 海の生態学, 時岡・原田・西村共著, 築地書館, 1973年5月
- 参考文献 (無機抗菌剤添加塗膜への海洋付着生物の付着 3.3節)
- (1) 小川量也, 無公害防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止—I. シリコン塗膜の防汚効果—I, 日本航海学会論文集第95号, pp. 211~222, 1996.
- (2) 小川量也, 防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止—II. シリコン塗膜の防汚性能と物性との関係—I, 日本航海学会論文集第95号, pp. 213~221, 1997.
- (3) 舩岡 茂, 防汚塗料の現状—シリル系加水分解型防汚塗料の効果—I, 日本航海学会誌第154号, pp. 13~19, 2002.
- (4) 桐生春雄・三代澤明良監修, 特殊コーティングの開発と展望 (Development and Prospect of Functional Coating), pp. 267~276, 2002.
- (5) Keifer, P. A.; Rinehart Jr., K.L.; Hooper, I.R.J. *Org. Chem.* 1986, 51, pp. 4450-4454.
- (6) Kon-ya, K. ; Shimidzu, N.; Adachi, K.; Miki, W. *Fisheries Sci.* 1994, 60, pp. 773-775.
- (7) 村上由紀, 長沼毅, 「表面」 Vol. 36, No. 10, pp. 566~572. 1998.
- (8) Israelachvili, J. and R. Pashley, The hydrophobic interaction is long range, decaying exponentially with distance. *Nature*, 300, pp. 342., 1982.
- (9) Israelachvili, J. and R. Pashley (1984): Measurement of the hydrophobic interaction between two hydrophobic surfaces in aqueous electrolyte solutions.

Jcolloid Interface Sci. 98, pp. 500~514., 1984.

(10) Crisp, D. J. (1984): Overview of research on marine invertebrate larvae, 1940~1980. In Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study (J. D. Costlow and R. C. Tipper eds.) Narval Institute Press, pp. 103~126., 1984.

(11) Petersen, J. H. (1984): Larval settlement behavior in competing Species: *Mytilus Californians* Conrad and *M. edulis* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 82, pp. 147~159., 1984.

(12) Dempsy, M. J. Mar. Biol., 61, pp. 305~315, 1981.

(13) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I.-付着個体数から見た基質の色相・明度との相関-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 139 号, pp. 90~101, 1993. 3.

(14) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-II.-自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 140 号, pp. 35~45, 1993. 6.

(15) 花房元顕, 基質の材質と海洋付着生物の付着傾向-折と湾奥における調査実験結果-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 142 号, pp. 45~53, 1993. 12.

(16) 銀等無機抗菌剤の自主規格および抗菌試験法抗菌加工製品の抗菌力試験法 (1995 年版), 抗菌製品技術協議会, 1995. (JIS Z2801, 2000)

(17) 花房元顕, 無機抗菌剤処理基質への海洋付着生物の付着について, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 162 号, pp. 38~46, 2005. 06.

(18) 海洋学 I テキスト (海洋学部講義資料), 西村 実編集, 東海大学海洋学部, 昭和 54 年.

(19) 海の生態学, 時岡・原田・西村共著, 築地書館, 1973 年 5 月  
参考文献 (無機抗菌剤を添加した塗膜を形成した場合の海洋付着生物の付着 3.4 節-3.9 節)

(1) 小川量也, 無公害防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止-I. シリコン塗膜の防汚効果-, 日本航海学会論文集第 95 号, pp. 211~222, 1996.

(2) 小川量也, 無公害防汚塗料を使用した FRP 船体の汚損防止-II. シリコン塗膜の防汚性能と物性との関係-, 日本航海学会論文集第 95 号, pp. 213~221, 1997.

(3) 舩岡 茂, 防汚塗料の現状-シリル系加水分解型防汚塗料の効果-, 日本航海学会誌第 154 号, pp. 13~19, 2002.

(4) 舩岡 茂, 生態機能を持ったコーティング, 桐生春雄・三代澤明良監修, 特殊コーティングの開発と展望 (Development and Prospect of Functional Coating), 第 9 章, pp. 267~276, 2002.

(5) Keifer, P.A., K.L. Rinehart Jr., and I.R. Hooper. "Renillafoulins, antifouling diterpenes from the sea pansy *Renilla reniformis* (Octocorallia)" *Journal of Organic Chemistry* 51(23) 4450-4454, 1986.

(6) Konya K, Shimidzu N, Adachi K and Miki W "2,5,6-Tribromo-1-Methylgramine, An Antifouling Substance From The Marine Bryozoan *Zoobrotryon-Pellucidum*" *Fish Sci* 60

(773-775, 1994.

(7) 村上由紀, 長沼毅, 海洋構造物表面における付着生物現象とその新規防除法, 表面 Vol. 36, No. 10, pp. 566~572, 1998.

(8) 野方靖行, フジツボの着底・変態機構を応用した防汚技術, 日本付着生物学会誌 (Sessile Organisms) 第 24 巻第 2 号, pp133~140, 2007.

(9) Israelachvili, J. and R. Pashley, The hydrophobic interaction is long range, decaying expone with distance. Nature, 300, pp.342., 1982.

(10) Israelachvili, J. and R. Pashley, Measurement of the hydrophobic interaction between two hydrophobic surfaces in aqueous electrolyte solutions. Jcolloid Interface Sci. 98, pp. 500~514., 1984.

(11) Crisp, D. J., Overview of research on marine invertebrate larvae, 1940~1980. In Marine Biodeterioration: An Interdisciplinary Study (J. D. Costlow and R. C. Tipper eds.) Narval Institute Press, pp. 103~126., 1984.

(12) Petersen, J. H., Larval settlement behavior in competing Species, Mytilus Californians Conrad and M. edulis L. J. Exp. Mar. Biol. Eool. 82, pp. 147~159., 1984.

(13) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-

Ⅲ.- 自然光線, 色相・明度をパラメタとした付着量序列発生

の追証実験-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 141 号,

pp. 109~111, 1993.

(14) 花房元顕, 基質の材質と海洋付着生物付着生物の付着傾向-折戸湾奥における調査実験結果-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 142 号, pp. 47~53, 1993.

(15) 花房元顕, 無機抗菌剤処理基質への海洋付着生物の付着について, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 162 号, pp. 38~46, 2005.

(16) 花房元顕, 抗菌剤添加塗膜板への海洋付着生物付着生物の付着状況について-効果確認のための予備実験-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 167 号, pp. 90~101, 2007.

(17) 清水克也, 山本伸一, 「抗菌剤含有水系塗料」, 日本特許庁公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開 2001-323218」, 2001. 11. 22.

(18) 独立行政法人産業技術総合研究所, 株式会社シナネンゼオミック, 富田製薬株式会社, 「抗菌剤およびその製造方法」日本特許庁開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開 2003-206210」, 2003. 07. 22.

(19) 原 靖, 高橋史治, 河端光時, 「防汚剤」, 日本特許庁開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開 2001-106961」, 2001. 04. 17.

(20) 石橋美紀, 山本 勉, 関 昌夫, 「防汚性樹脂組成物および塗料および水中生物付着防止性汚濁防止膜」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 10-324808」, 1998. 12. 07. 08.

(21) 中島昭男, 柄目正喜, 岡山博之, 「抗菌剤」, 日本特許庁公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 9-157119」, 1997. 06. 17.

- (22) 佐久間周治, 渥美公則, 藤田恵二郎, 「水中生物付着防止剤」, 日本特許庁公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 4-217902」, 1992. 08. 07.
- (23) 山田善市 他 3 名, 新東工業株式会社, 「銀系無機抗菌剤微粒子の水系懸濁液、およびその製造方法」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 6-263612」, 1994. 09. 20.
- (24) 山田善市 他 3 名, 新東工業株式会社, 「銀系無機抗菌剤の微粒子懸濁液、およびその製造方法」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 6-247817」, 1994. 09. 06.
- (25) 山田善市 他 3 名, 新東工業株式会社, 「銀系無機抗菌剤微粒子の製造方法」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 6-263613」, 1994. 09. 20.
- (26) 山田善市 他 3 名新東工業株式会社, 「抗菌性塗料組成物、およびその製造方法」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 8-34937」, 1996. 02. 06.
- (27) 竹内 聡 他 3 名: 新東工業株式会社, 「セラミックス系抗菌剤コーティング液、および、その塗着方法」, 日本特許庁 公開特許公報 (A), 特許出願公開番号「特開平 8-59406」, 1996. 03. 05
- (28) 銀等無機抗菌剤の自主規格および抗菌試験法抗菌加工製品の抗菌力試験法 (1995 年版), 抗菌製品技術協議会, (JIS Z2801, 2000), 1995.
- (29) Dempsy, M. J. Marine bacterial fouling: A scanning electron microscope study, *Marine Biology*, 61, pp. 305~315, 1981.
- (30) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I.-付着個体数から見た基質の色相・明度との相関-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 139 号, pp. 90~101, 1993.
- (31) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-II.-自然光線と色相・明度をパ  
メ  
タとした付着量序列の関係, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 140 号, pp. 35~45, 1993.
- (32) 花房元顕, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-III.-自然光線と色相・明度をパ  
ラ  
メタとした付着量序列発生の追従実験-, 日本航海学会誌 ” NAVIGATION” , 第 141 号, pp. 109  
~119, 1993. 9.
- (33) 西村 実編集, 海洋学 I テキスト (海洋学部講義資料), 東海大学海洋学部, 1979.

## 第4章 清水港における海洋付着生物の生態分布について

### 4.1 はじめに

大型船舶への海洋付着生物の付着を考えた場合、その付着形態や数量を特定する方法は2つあると考える。一つは実際に航走している実船への付着状況を観察すること、もう一つは、実験板を水中に垂下し、実船と同じ喫水の付着状況を把握する方法である。どちらの方法をとったとしても重要なのは、当該付着量や部位、傾向、種類といったものが統計学的な見地に立って必要十分であることである。

つまり、ある一定の港湾の部所において継続的に観測を行う必要がある。この面から見ると実船による観測は大掛かりであり、更に移動をとまなうため、生物の生態観測としては定量、正確さに欠ける部分がある。また、第2章の結果を踏まえ、これまでの様々な海洋付着生物のほとんどは船舶が流体（海水）に対して運動していない（動揺や推進）場合に起こると仮定して問題はなく、また摂餌・発育もしかりである。ここでは、主として大型の船舶に付着する海洋付着生物の生態を量的に解明するために行った2つの分布調査、つまり清水港湾口部と同湾巴川の両地域における調査について述べる。

### 4.2 清水港における海洋付着生物の付着状況

コンテナ船をはじめとする海洋付着生物付着による運行の影響を、把握するためには、当該船舶が往来する港湾におけるその生態が統計学的に正確に把握されている必要がある。ここでは、静岡県清水港での海洋付着生物生態研究について概要を述べ、それらの結果を、前述したコンテナ船の費用分析に利用していく<sup>(11)~(32)</sup>。

#### 4.2.1 実験方法

実験は1996年から2005年までに継続的に行なったが、ここではそのうち7月から9月中旬程度までの約90日間、間期間中に大潮が2回程度発生する期間の観測状況について述べる。この時期は、清水港湾奥(折戸湾)では、海水温度が恒常的に20℃を保持し、降水量も少なく河川の上流からの水量増加の機会も少なく、結果的に海水と真水との流替量も変化が少ない。したがって、pH、塩分等の水質上の物理的指標の変化もより安定的で、海洋付着生物の生態を観測する条件を備えた期間である。

また、この時期は種の空間占有競争が起こり難い状況にあり<sup>(1)(2)-(10)(16)-(26)</sup>、生態の分布を調査するには妥当な期間であるといえる。

#### 4.2.2 実験機材および観測場所

実験板を設置した観測点を図4.1に番号で示す。設置場所の選定は、東海大学臨海実験場を基点に等距離に清水港湾口部の接岸域とした。

実験装置を図4.2に示す。実験装置は25×25cmの鋼板等各種素材板を縦に5枚+ $\alpha$ 、木枠にて固定したものを作成した。実験板は上からⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、水深により+ $\alpha$ とした。木枠下部には錘を付した。なお、装置は陸上から固定するが、木枠上部にはブイを取り付け、実験装置が潮の干満に合わせて上下し、常に実験板が水面から一定の深さを保持する固定浮動式とした。

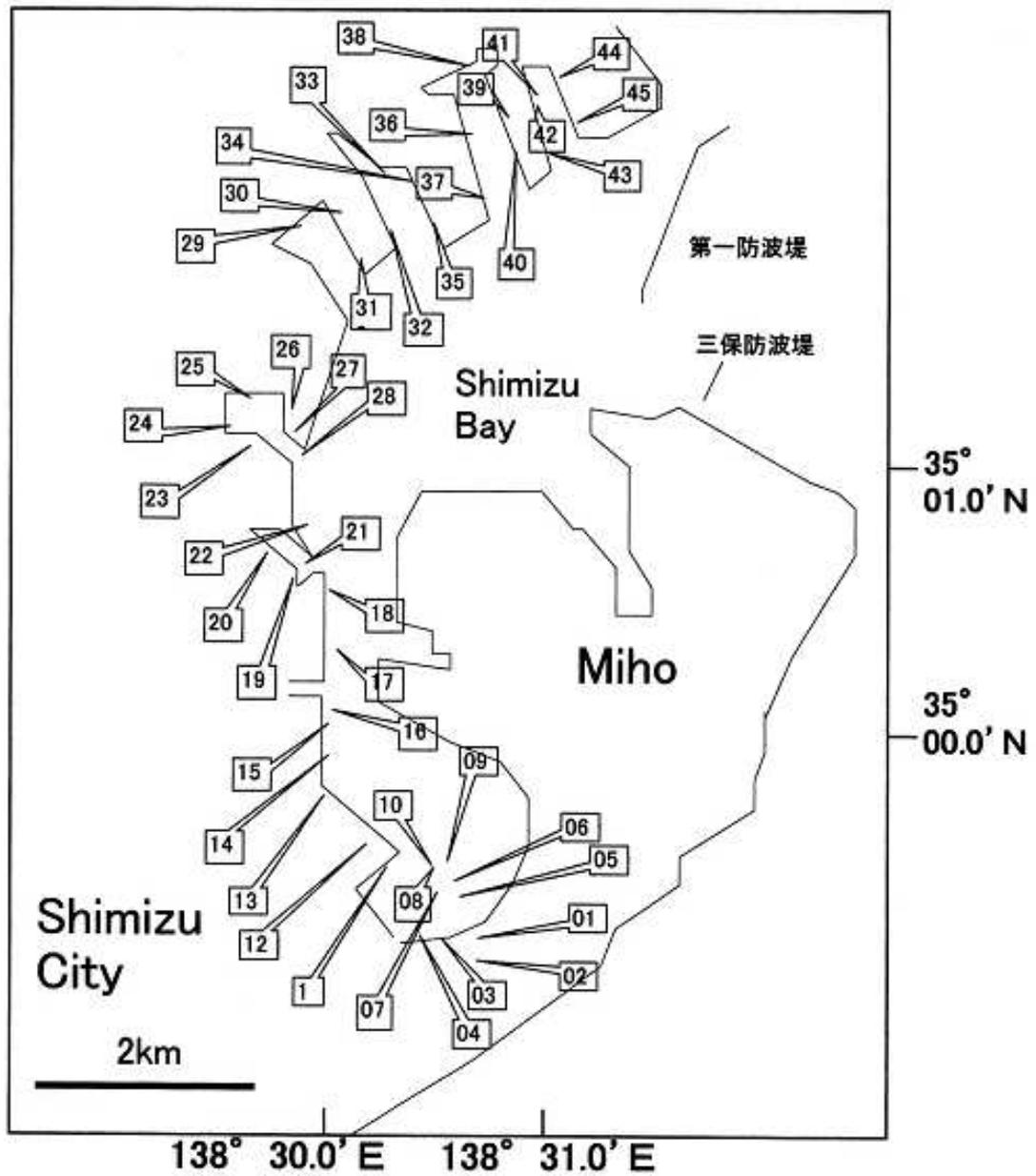


図4. 1 実験海域（静岡県清水港・湾口部/湾中部/湾奥部）

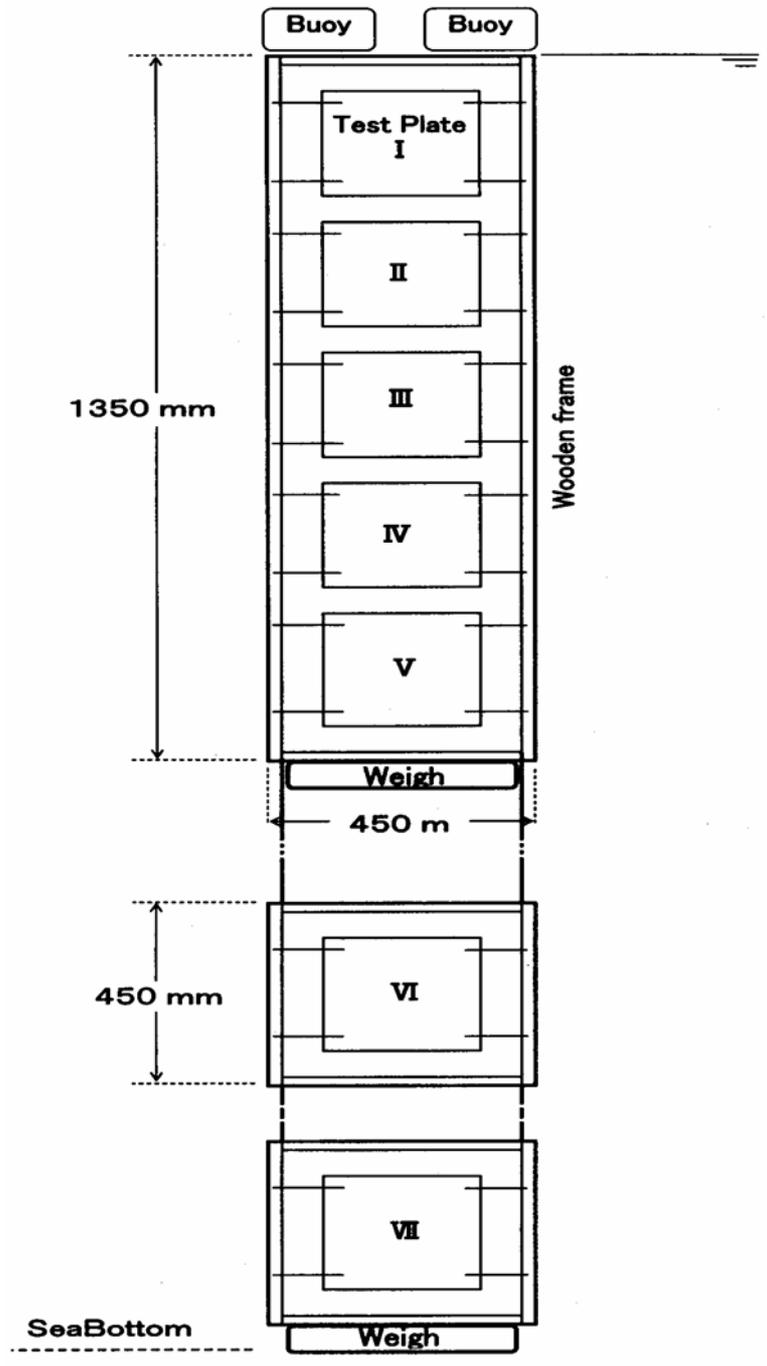


图 4. 2 实 验 装 置

### 4.3 実験結果

#### 4.3.1 観測項目と処理

実験中は、水温（表層および水深 2m 層の最高温度、最低温度）を EMPEX デジタル最高最低温度計 TD-8141、および同社の磁石付アナログ最低最高温度計で観測し、pH は SATO の SK-610PH-II、また、比重、塩分に関してはアタゴの屈折塩分・比重計測計 PAL-06 S および HORIBA の塩分等計測計 KN33497 系を使用して観測した。

観測層はいずれも表層でバケツによる採水を行い計測した。気温、湿度は EMPEX デジタル最低最高温度計ならびに同社のアナログ気温・湿度計測計を使用し毎日定時観測した。天候は目視観測した。

実験終了後、各装置を回収し、各観測点の実験板ごとに、海洋付着生物の種、個体数、底径、体長などを計測し整理した。

#### 4.3.2 付着状況について

各観測点の表層水温、水深 2m 層の水温の平均値を図 4.3 に示す。表層においては、比較的溫度差が激しく、観測点 16~29 の湾中部では他の観測点に比べて若干ではあるが、平均水温が高いことがわかる。いずれも 20°C を上回る値を示しており、海洋付着生物の付着変態には支障のない水温帯を保持した期間であったことがわかる。水深 2m における水温は、表層より安定しており、最高水温と最低水温の差は少ない。いずれも 20°C を超えた温度を保持していることがわかる。

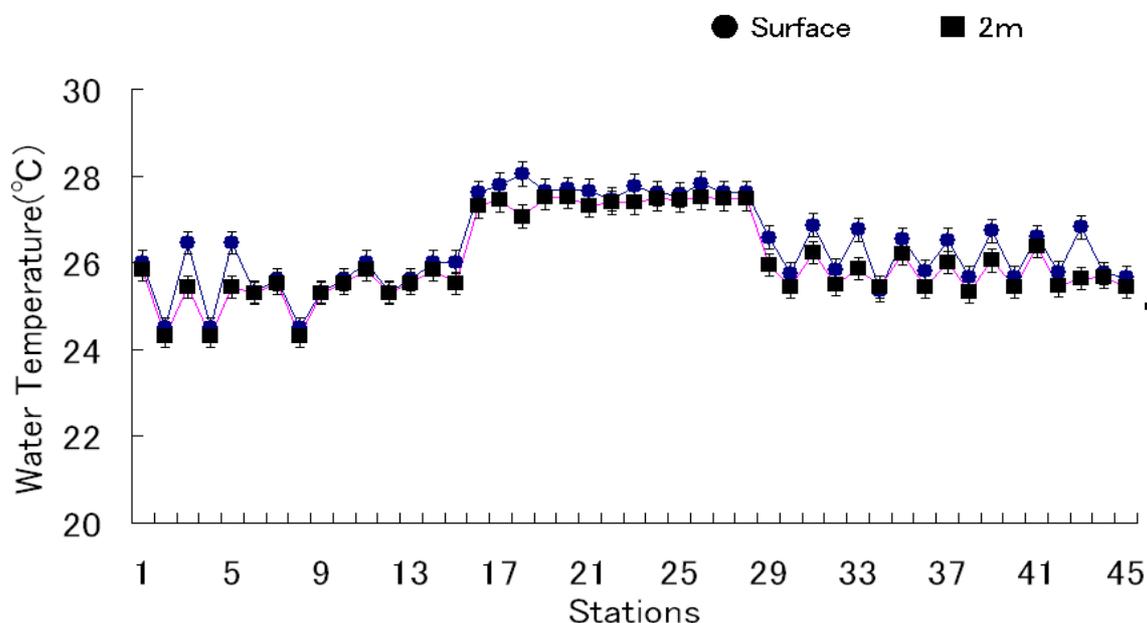


図 4.3 海水温度（表面・2m）

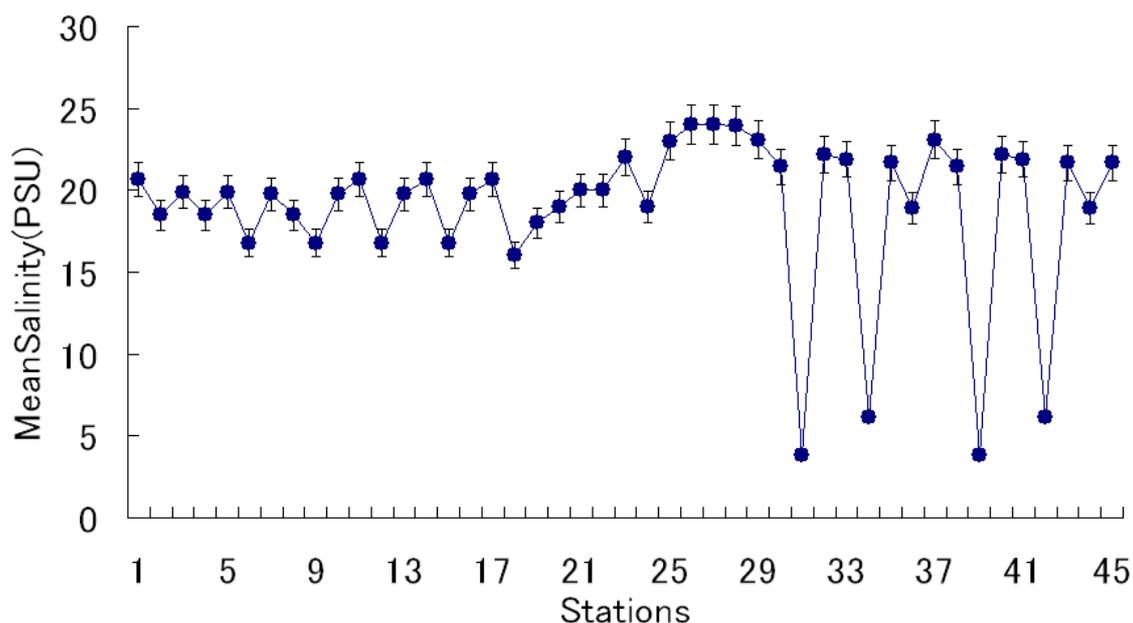


図 4.4 塩 分

各観測点の観測期間中の塩分の平均値を図 4.4 に示す。塩分は海洋付着生物にとって生存の重要なファクターとなる。大洋では 33、内海で 30 から 28 であることを考えると、清水港内ではかなり低い値を示している。観測点 31,34,39,42 では塩分の値が他の観測点と比較して極端に低い値を示している。観測点 31 は袖師第二埠頭の先端部分で、愛染川の流入する場所にあたる。観測点 34 は袖師第一埠頭の付け根に当たり、庵原川の流入する場所である。観測点 39 は興津第二埠頭の中央部にあたり、波多打川の流入する場所である。観測点 42 は興津第二埠頭の東側の中央部分にあたるが、河川の流入は無い。観測点 31,34,39 では各河川の流入が何らかのかたちで影響しているものと推察できる。

表 4.1 に実験板に付着した海洋付着生物の観測点別出現状況を示す。出現が認められたのは、アカフジツボ (*Megabalanus rosa*)、タテジマフジツボ (*Amphibalanus amphitrite*)、シロスジフジツボ (*Fistulobalanus albicostatus*)、アメリカフジツボ (*Amphibalanus eburneus*)、ドロフジツボ (*Fistulobalanus kondakovi*)、の 5 種である。

シロスジフジツボに関しては観測点 1、3、4、6、7、9、11~17、21、27、28、32、43、44 の各点で出現を確認した。どちらかといえば湾口部に多く出現している傾向がある。

タテジマフジツボについては観測点 1~45 の全観測点で出現を確認した。ドロフジツボは観測点 3、4、8、10、12、16~28、41~44 の湾奥部から湾の中部、アカフジツボは観測点 12、16、17、21、24、27、28、30~45 のうち観測点 38 を除く湾中部から湾口部、アメリカフジツボは観測点 12、30~45 のうち 36、37 を除く湾口部の各点で出現を確認した。なお、付着は認められるものの種の同定が不可能な個体に関しては、spits として整理した。それらは観測点 1、2、4~9、11~15、30~45 点で確認した。

ゴカイ類に関してはカサネカンザシゴカイ (*Hydroides elegans*) とウズマキゴカイ (*Dexiospira foraminosa*) シライトカンザシゴカイ (*Filograna implexa*) 全ての出現を確認した。

カサネカンザシゴカイに関しては観測点 1、3、4、6~29、32、35~45 のうち 40 を除く各点で観測を確認した。カサネカンザシゴカイは港内全域に分布しているものと思われるが出現が確認できたのは前述の観測点のみであった。

ウズマキゴカイに関しては観測点、1、3、4、7、8、9、12、18~29、33~45 のうち 44 を除く各点で出現を確認した。カサネカンザシゴカイは港内全域に分布しているものと思われる。

シライトカンザシゴカイは観測点 12、30~45 のうち 41 を除く各点で出現を確認した。シライトカンザシゴカイは湾口部に集中して分布している。

コケムシ類に関してはアミメコケムシ (*Membranipora savartii*) のみ出現を確認した。出現は観測点 2、3、4、8、12、28~45 の各点で、湾奥部と湾口部にのみ出現を確認した。

ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) は観測点 12、16~27 で出現を確認した。ムラサキイガイは、湾中部のみで出現を確認した。

種類は不能であるが付着を確認した個体を Unknown として整理した。観測点 2、3、4、5、8 の 6 点で出現を確認した。種数が最も多く確認されたのは観測点 12、44、4(同様に 32、38、39、42、43)、3(同様に 8、21、27、33、34、35、37、40、41)の順であった。

#### 4.3.3 生物相 (類似度) について

実験板に付着した付着生物群集は A から E の 5 つの亜群集に分類された。亜群集 A,B は観測点 2、5、6、11 の上層、13 の上層 16、22、25、29、30、33、36、45 の上層タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイの多く付着することが特徴、亜群集 C は観測点 3 の上層 11 の下層 13 の中層以下 14 の上層と中層、18 の中層、20 の上層 23 の上層、24 の上層と中層 26 から 29 の下層 31、32 の上層と中層 35 の下層 37 の下層 39 の上層と 40 の中及び下層 42 の上層と 43 の下層、45 の下層でドロフジツボが比較的多く付着な亜群集 D は 4 の下層、8 の上層 15 の中層、17 の全層 18、19 の上層、20 の下層、23 の上層と下層。26 の上層、27 の上層と下層、28 の中層 31 の下層、40、41 の下層 44 の上層と下層にてイバラカンザシゴカイ、ウズマキゴカイ、シライトゴカイの多く付着する群集であるといえる。亜群集 E は観測点 8、12、21、24、28、31、32、36、40、41、43、44 に分布し、主にアミメコケムシ、ムラサキイガイの付着が目立った。

### 4.4 考 察

#### 4.4.1 過去の出現種との比較

以前に清水港で行われたフジツボ類の分布調査<sup>(12)(16)-(22)</sup>では、タテジマフジツボ群集とイワフジツボ群集が報告されており、タテジマフジツボ群集は、内湾から湾奥にかけてのみ形成されているとの報告がされている。フジツボでは清水港で過去に 11 種、イワフジツボ (*Chthamalus challenger*)、アカフジツボ (*Megabalanus rosa*)、オオアカフジツボ (*Megabalanus volcano*)、シロスジフジツボ、タテジマフジツボ、サンカクフジツボ (*Balanus*



*trigonus*)、アメリカフジツボ (*Amphibalanus eburneus*)、クロフジツボ (*Tetraclita japonika*)、ヨーロッパフジツボ (*Amphibalanus improvisus*)、ドロフジツボ (*Fistulobalanus kondakovi*)、ケハダカイメンフジツボ (*Acasta defleini*) が出現することが報告されている<sup>(12)</sup>。今回はイワフジツボ、クロフジツボ、ケハダカイメンフジツボ、ヨーロッパフジツボ、オオアカフジツボ、サンカクフジツボは出現を確認できなかった。このうちヨーロッパフジツボ、ドロフジツボ、ケハダカイメンフジツボの三種のフジツボに関しては、1975年の調査時にも出現が確認されていない<sup>(12)</sup>。

1969年以降の調査では、ヨーロッパフジツボは外航コンテナ船、専用船の岸壁のある袖師埠頭、興津埠頭で確認されている。ケハダカイメンフジツボは清水港の港口部分にある防波堤にて確認、ドロフジツボは湾奥部にて確認されている<sup>(12)</sup>。1975年の調査時に確認され、今回出現が確認できなかったイワフジツボ、クロフジツボ、オオアカフジツボ、サンカクフジツボであるが、イワフジツボに関しては港口部の三保灯台付近の斜面に付着、クロフジツボ、オオアカフジツボに関しては港口の第一防波堤とそれよりも沖の駿河湾で、サンカクフジツボに関しては港口の第一防波堤およびそれより沖にある三保防波堤及び港口付近の興津第二埠頭の突端にて確認されている。これらの観測点に関しては、今回調査対象としていないため出現を確認できなかったものと思われる。

また折戸湾では、タテジマフジツボ、アメリカフジツボ、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイ、ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*)、マガキ (*Crassostrea gigas*)、フサコケムシ、ホンダワラコケムシ (*Zoobotryon pellucidum*)、ナギサコケムシ (*Bugula californica*)、シロボヤ (*Didemnum moseleyi*)、ドロボヤ (*Pyura vittata*)、ユウレイボヤ (*Ciona intestinalis*)、イタボヤ (*Botrylloides violaces*) などの付着が確認されている<sup>(16)~(26)</sup>。ゴカイ類に関しては、過去に確認された3種<sup>(12)</sup>、カサネカンザシゴカイ (*Hydroides elegans*)、ウズマキゴカイ (*Dexiospira foraminosa*)、シライトゴカイ (*Filograna implexa*) のうち、全種出現を確認した。コケムシ類に関しては従来、清水港で出現が確認されている<sup>(2)~(10)</sup> <sup>(16)~(26)</sup> フサコケムシ (*Bugula neritina*)、ホンダワラコケムシ (*Zoobotryon pellucidum*)、アミメコケムシ (*Membranipora savartii*) のうち、アミメコケムシ (*Membranipora savartii*) のみ出現を確認した。

## 4.5 付着生物の分布の特徴

### 4.5.1 付着傾向について

出現した全海洋付着生物種の付着個体数を観測点、実験板ごとに確認した。タテジマフジツボは清水港内の全域にわたって多数分布していた。この時期、清水港を席卷する付着優勢種はタテジマフジツボであることが分かる。どちらかといえば、湾奥部よりも湾口部に多く付着する傾向がある。また、観測点 18、17 付近で若干付着量が減少する傾向がある。この辺りは巴川の流れの影響を受けている領域でありそのための傾向であると推察できる。

#### 4.5.1.2 フジツボ類

シロスジフジツボは湾奥部に多く付着している。特に観測点 17 から 11 の間で多くなっている。当該観測点は巴川の付近であり、その影響を受けていると思われるが、川の付近で付着量が増加する傾向があることが見てとれる。2002 年に巴川感潮域の海洋付着生物の分布の調査を行ったが<sup>(31)</sup>その結果、シロスジフジツボの分布が上流 5 km 程度まで確認されたことから推察するに、シロスジフジツボは低塩の条件でも好適に分布可能な種であると思われる。湾中部では観測点によって若干の分布がみられ、湾口部では分布はほとんど見られなかった。

アメリカフジツボは 1969 年以降の分布調査で出現が確認された移入種<sup>(12)</sup>である。1977 の調査でも、湾口部の防波堤、湾口部の埠頭、三保半島の西岸部など、主に湾口部に分布していることが報告されている<sup>(12)</sup>が、今回も湾口部の埠頭に集中して分布していることが確認できた。湾中部や湾奥部にも若干ではあるが分布しているが、湾口部ほどではない。

分布が確認できた興津、袖師埠頭は比較的大型の外航船舶が来航する埠頭であり、アメリカフジツボやヨーロッパフジツボ等の種はこれら外航船舶によってもたらされたものであると考えられるが、30 年以上経過した時点においても湾口部での分布のみ顕著であり湾中部、湾奥部においてはほとんど分布しておらず、移入種の湾内侵攻は進んでいない。

ドロフジツボは湾中部に集中して分布がみられた。1975 年の調査では、湾中部の観測点は 3 点であり、当該ポイントでは付着が観測されていない<sup>(12)</sup> また、当時の観測点は今回の観測点 21 から 19 付近にあたっている。これらの観測点では、今回の調査でも分布はみられないことから、スポット的に、この付近ではドロフジツボの分布は確認できないものと推察する。

最も多く分布しているのは観測点 29 から 21 付近であり全体の 8 割程度を占めている。次に観測点 18、観測点 19 と港湾構造物の突端で顕著な分布が確認できた。従来、ドロフジツボは強内湾性（湾奥的）であるとされている<sup>(15)</sup>。確かに湾奥部においても分布は確認できるが、湾中部ほどではない。分布に関しては時期や港湾の特性も考慮しなければならず、一様に述べられるものではない。

#### 4.5.1.3 ゴカイ類

カンザシゴカイに関しては、湾中部から湾奥部にかけて分布していることがわかった。最多分布点は観測点 4 付近、ついで観測点 16 から 17 の巴川付近である。観測点 11 から 9、また観測点 8 でも他の観測点よりも多く分布している。とがわかった。カンザシゴカイの分布は清水港ではどちらかといえば独立的であり、分布する場所とそうでない場所とが連続的ではなく個々に独立しているように思われる。ゴカイ類の付着は、この季節を経過するとフジツボ類よりも増加する傾向にはあるが<sup>(2)-(10)</sup>付着優勢種が均衡しているこの時期においては、この様な傾向を示すことがみてとれる。

ウズマキゴカイの分布は湾中部に集中している。観測点 23 から 18 までと 10 から 8 までの各観測点で分布が確認できた。最も多く分布しているのは観測点 20 とその付近で、湾内の小内港に集中していることがわかる。

観測点 17 から 11 付近までは分布する様子がうかがえず、巴川川口にも分布はみられない。2002 年の巴川における海洋付着生物の観測においてもウズマキゴカイの河川感潮域における分布は殆ど確認できず<sup>(31)</sup>川を少し遡上した付近から分布が確認された。ウズマキゴカイの分布もカサネカンザシゴカイの分布によく似た傾向があり、連続的でなく分布は独立しており港内の各点にスポットの様に確認することができる。

シライトゴカイは湾奥部に突出的な分布をみせた。湾口部にも各観測点に連続的な分布を確認することができた。湾奥部では観測点 8 に集中しており、それ以外の場所にはほぼ皆無であり、分布の特徴的なところは、カサネカンザシゴカイやウズマキゴカイの分布がほぼみられないところに集中していることである。また、湾中部にはほとんど分布をみないことも特徴の一つである。

#### 4.5.1.4 コケムシ類

アミメコケムシは湾奥部から湾中部に連続的に分布している。観測点 31、37、40 で最も多く分布していた。湾奥部にも分布はみられるが若干である。コケムシ類の付着は湾奥ではあまり認められず、本論における出現個体数も他の付着生物種にくらべて少ない。

#### 4.5.1.5 イガイ類

ムラサキイガイの分布は湾中部に集中している。もっとも多いのは観測点 25 から 21 の各点各層で、観測点 27、12 に若干の分布をみてとることができる。湾奥部および湾口部には付着は認められない。ムラサキイガイは 1927 年代に日本に侵入した外来種<sup>(25)</sup>とされている。

清水港における当該付着生物の付着の状況や分布に関してはほとんど報告がない。移入種であるため、外航船舶の往来の激しい湾口部の埠頭に多く出現するものと考えていたが、本実験では湾中部にのみ付着を確認した<sup>(1)~(32)</sup>。

### 4.6 塩分との関連

平均塩分と付着個体数の関係を表す散布図を図 4.5 に示す。同図より、タテジマフジツボ、アカフジツボ、ドロフジツボ、アミメコケムシ、シライトカンザシゴカイ、ムラサキイガイでは平均塩分が 3 から 6 程度の低い塩分であっても個体数が確認できる。特にタテジマフジツボに関しては付着個体数が他種と比較して非常に多いことが分かる。

殆どの付着生物が 15 以上 25 までの塩分に分布するが、シロスジフジツボは 20 あたりに集中している。タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイに関しては 19 から 22 あたりに集中している。アメリカフジツボに関しては、20 付近と 24 付近にそのピークがある。ウズマキゴカイに関しては 16 から 19 と比較的低いところに好適な平均塩分があると考えられる。アカフジツボに関しては 23 あたりが好適な平均塩分であると考えられる。ムラサキイガイは 16 から 24 付近までに好適な平均塩分がありそのピークは 20 付近である。アミメコケムシに関しては 22 あたりにシライトカンザシゴカイに関しては 19 あたりに好適な平均塩分があると考えられる。種を問わず塩分との関連は非常に高いと思われる<sup>(1)~(25)</sup>。

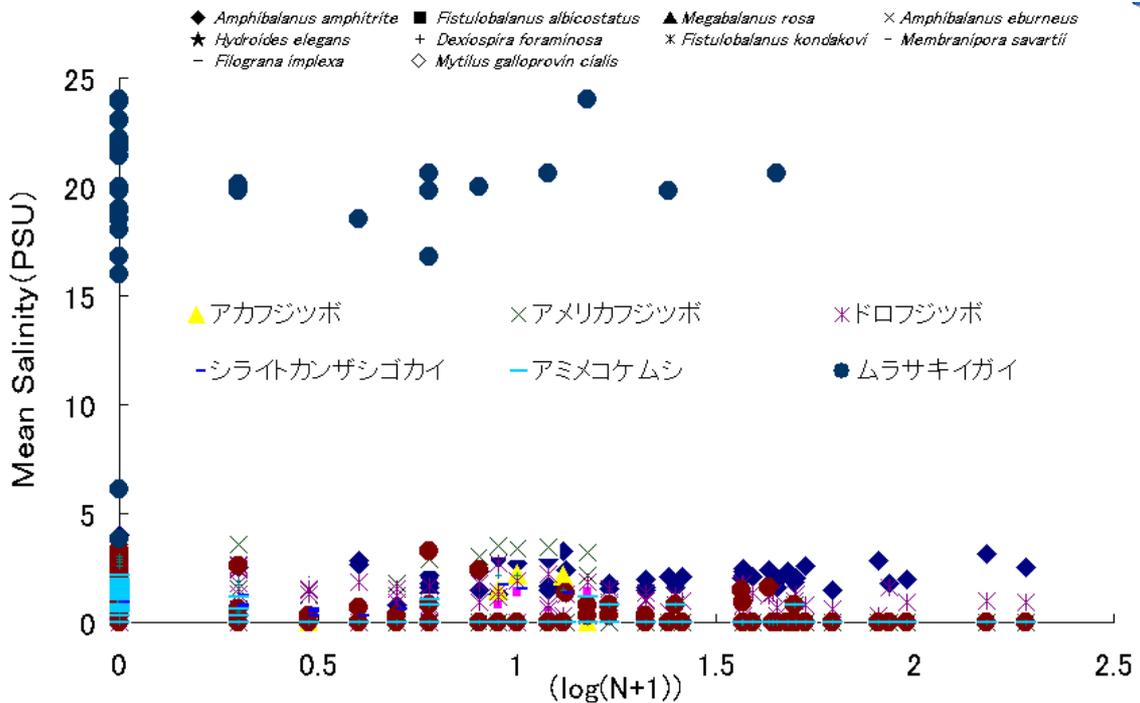


図 4.5 塩分と付着個体数の関係

#### 4.7 巴川河川感潮域における生態

##### 4.7.1 巴川について

清水港は駿河湾の北西部に位置し、商業貿易港、漁港として非常に重要な役割を担っている多目的港湾である。湾口では外航船舶の往来も頻繁で、また港内奥部までも大型船舶の入航は多い。そのため港口部では海洋外来付着生物の侵入も顕著であり港奥部においても確認されていて<sup>(7)</sup>その分布も多様化していると考えられる。この港奥部付近を特に「折戸湾」と呼称している。その清水港の港中部に西方から流入する巴川は、他の河川と同様、清水港の水層を2局構造化<sup>(24)(25)</sup>させる汚染原因の一つでもあり、清水港への全流入負荷量の6~8割を占めていることが推定されている<sup>(6)</sup>。

巴川において、環境指標生物でもある海洋付着生物の生態分布状況とその変化の原因を追究し、継続的に観察していく事は、清水港の水質変化を観察する事につながると考えることができる。しかし、河川感潮域における海洋付着生物の生態に関する知見はほとんどない<sup>(1)(22)</sup>。

海洋環境、地球環境が今更のように取沙汰される近年、これらの調査は有意義であるといえる。本研究では、著者が2002年の夏季に行った、河口から約5 km上流までの巴川感潮域に浸漬した実験板の付着生物の付着実験の結果について考察する。

巴川は静岡市を西から東に横断している。その上流域では途中で長尾川、塩田川等の支

流と合流し、北緯 35° 00'、東経 138° 26' のあたりでひとつの川、巴川となり、清水港をその終着点としている。清水港から巴川に対する海水の遡上は、楔形に河口からほぼ数 km とされており、いわゆる弱混合型の河川である<sup>(9) (24) (25)</sup>といわれている。

#### 4.8 付着実験

実験は 2002 年 8 月 27 日から 9 月 18 日までの 22 日間（期間中 9 月 6 日から 8 日が大潮）とした。なお、期間中に日中連続した雨天はなく、降雨のために巴川の流量が変化した形跡はない。

実験装置を図 4.6 に示す。実験装置は 25×25 cm の網等諸材質板を縦に 5 枚、木枠にて固定して作成した。実験板は上から I、II、III、IV、V とした。木枠上部にはブイを取り付け、木枠下部には錘を付した。装置は陸上から固定したが、実験装置は潮の干満、河川の流量に合わせて上下し、常に実験板が水面から一定の深さを保持する固定浮動式とした。

実験板を設置した観測点を図 4.7 に示す。設置場所は、巴川河口から約 500 m 毎を目処として設定した。St.12 はほぼ河口付近であり、St.1 は河口から約 5 km 付近となる。各観測点の水深は、流量や湾内からの海水の遡上量により変化するため、まちまちではあるが、St.12 ではほぼ 4 m 程度で、以後上流にむかって浅くなり、St.1 では 1.5 m 程度となる。実験終了後、各装置を回収し、実験板ごとに、海洋付着生物の種、個体数、底径、体長などを計測した。個体数 (N) は対数変換 ( $\log(N+1)$ ) して解析を行なった。フジツボ類 2 種、ゴカイ類 2 種、合計 4 種の種組成の類似度を、12 箇所の観測点の実験板 I から V の合計 60 枚について、個体数のユークリッド距離による群平均法でクラスタ解析を行なった。クラスタ解析には JMP Ver.8 を使用した。

##### 4.8.1 環境要因

期間中観測点においてバケツにより表層水を採水し、水温（表層および水深 2 m 層の最高温度、最低温度）、pH、比重、塩分（屈折塩分・比重計測計を併用）を測定した。また、表層（水深 50cm 以内でバケツ採水）と底層（最大水深でバンドン採水器で採水）の溶存酸素量を Winkler 法で測定した。溶存酸素量の測定点（橋）は図 4.7 にアルファベットの小文字で示した。

#### 4.9 結果

##### 4.9.1 環境

各観測点の表層水温と水深 2 m 層の水温の平均値を図 4.8 に示す。表層においてはいずれも 20°C を上回る値を示している。水深 2 m における水温は、表層より安定しており、いずれも 20°C 以上の温度を保持している。一般に、上流に向かうほど、表層が 2 m 層より低く逆に下流ほど二層の差はなくなるが、いずれの場所でも両者の差は 0.5°C 未満である。この時期の、折戸湾では、海水温度が恒常的に 20°C 以上で、降水量も少なく河川の水量増加の機会も少なく、結果的に海水と真水との流量も変化が少ない。したがって、水温、塩分等の水質環境もより安定的で、海洋付着生物の付着量を観測する条件を備えた期間であったといえる<sup>(2)-(20)</sup>。

各観測点の観測期間中の塩分の平均値を図 4.9 に示す。塩分の平均値は St. 12 では 9

PSU で、上流域にいくに従ってその値は二次曲線的に下降し、St. 1 ではほぼ 0 PSU となっている。

溶存酸素量の平均値を図 4.10 に示す。羽衣橋は St. 1 付近、巴橋は St. 12 付近となる。表層の溶存酸素量は河口から上流に至るまで大きく変わらないが、底層の溶存酸素量は河口にいく程小さくなっており、特に底層では 3~4 mg/L と低くなっている。

#### 4.9.2 出現種について

表 4.1 に、実験板に付着した海洋付着生物の観測点別出現状況を示す。出現が認められたのは、フジツボ類では、シロスジフジツボ (*Fistulobalanus albicostatus*) とタテジマフジツボ (*Amphibalanus amphitrite*) の 2 種であった。シロスジフジツボは河口の St. 12 から最上流となる St. 1 までの 11 点に出現した。タテジマフジツボは、河口の St. 12 から St. 5 までの 6 点に出現した。付着が認められたものの小型の種で同定が不可能な個体は spats として整理したが、それらは St. 1, 3, 4, 7 の 4 点で出現した。また、多毛類に関してはカサネカンザシゴカイ (*Hydroides elegans*) とウズマキゴカイ (*Dexiospira foraminosa*) の 2 種が出現した。カサネカンザシゴカイは、St. 3, 8 以外の 10 点で確認したが、ウズマキゴカイは単に St. 9, 10 においてのみ出現した。コケムシ類ではフサコケムシ (*Bugula neritina*) が St. 9, 11 の 2 点でのみ出現した。種の同定は不可能であったが、判別が可能であったその他の付着生物の個体の出現状況は出現点数 7 点であった。

#### 4.9.3 付着生物の分布

表 4.2 から分かる様に、河口から上流約 5 km の St. 1 まで何れかの種類の付着が確認され、河口から 2 km (St. 9) までは活発な付着がみられた。実験板に付着した種類のうち、シロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイの付着個体数を観測点ごと、実験板ごとに図 4.11 に示している。シロスジフジツボ、タテジマフジツボとも河口に近い St. 11, 12 では主に中層に分布し、表層での付着はないか、または少なかったが、St. 9, 10 ではほぼ全層に分布した。それに対し St. 4~7 では主に中層に分布した。St. 8 および St. 3 より上流では、付着量が少なかった。カンザシゴカイは St. 9, 10 で多く付着したが、表層よりも底層での付着が多い傾向がみられた。St. 4~7 では主に底層に付着したが、これら以外の St. 11, 12, St. 8 および St. 3 より上流では付着量は少なかった。ウズマキゴカイは St. 9, 10 でのみ出現し、底層で付着量が多い傾向があった。

#### 4.9.4 付着生物相の類似度

すべての実験板 (5 枚×12 ケ所=60 枚) のシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイの付着個体数についてクラスター解析を行い、得られたデンドログラムを図 4.12 に示す。全体として非類似度が低い範囲内でまとめられ、シロスジフジツボ群集として統合されるが、さらに詳しく見ると、非類似度が低い範囲内で区分された亜群集といえる。

実験板に付着した付着生物群集は A から F の 6 つの亜群集に分類された。各実験板が属する亜群集の分布を図 4.13 に示す。6 つの亜群集は「A・B」と「C・D・E・F」の 2 つ

のグループに大別され、亜群集 A と B は付着がないか、付着量が少ないことが特徴で、St. 11 と 12 の表層と底層、St. 8 の全層、St. 4~7 の表層および中層、St. 3 より上流のほぼ全層に分布した。亜群集 C は低密度で付着したシロスジフジツボとカサネカンザシゴカイからなり、主に St. 1 と St. 5~7 の底層に分布した。亜群集 D は中程度の密度のシロスジフジツボ、タテジマフジツボと低密度のカサネカンザシゴカイからなり、St. 5~7、St. 11、12 の中層に分布した。亜群集 E はシロスジフジツボとタテジマフジツボが多く出現、付着する群集で St. 4, 7 の下層 9, 10 の中層と上層 11 の最下層に分布した。亜群集 F はシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイは中程度に出現、付着、ウズマキゴカイが多く付着する群集で St. 9 の最下層および St. 10 の表層以外に分布した。

#### 4. 10 考察

##### 4. 10.1 清水港と折戸湾および巴川の出現種

折戸湾では、本研究と同様の実験板の浸漬調査によりテジマフジツボ、アメリカフジツボ、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイ、ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) マガキ (*Crassostrea gigas*)、フサコケムシ、ホンダワラコケムシ (*Zoobotryon pellucidum*)、ナギサコケムシ (*Bugula californica*)、シロボヤ (*Styela plicata*)、ドロボヤ (*Corella japonica*)、ユウレイボヤ (*Ciona savignyi*)、イタボヤ (*Botrylloides violaceus*) などの付着が確認されている<sup>(10)~(20)</sup>。

##### 4. 10.1.2 フジツボ類

フジツボでは清水港で過去に 11 種、イワフジツボ (*Chthamalus challenger*)、アカフジツボ (*Megabalanus rosa*)、オオアカフジツボ (*Megabalanus volcano*)、シロスジフジツボ、タテジマフジツボ、サンカクフジツボ (*Balanus trigonus*)、アメリカフジツボ (*Amphibalanus eburneus*)、クロフジツボ (*Tetraclita japonica*) ヨーロッパフジツボ (*Amphibalanus improvisus*)、ドロフジツボ (*Fistulobalanus kondakovi*)、ケハダカイメンフジツボ (*Acasta dofleini*) が出現することが報告されている<sup>(7)</sup>。このうちアカフジツボ、オオアカフジツボ、サンカクフジツボ、クロフジツボの分布は、湾口域のみに限られ、本研究でも出現しなかった結果と矛盾しなかった。イワフジツボは港全域で出現したが、潮間帯上部に分布するため、本研究で用いた、常に水面下にある実験板には出現しなかったと考える。

比較的低塩分を好むとされているアメリカフジツボ、ヨーロッパフジツボ、ドロフジツボは今回出現しなかった。アメリカフジツボに関しては河川であることも考えて塩分が低かったせいか、ドロフジツボに関しては清水港では湾奥部にその生息が多く見られ付着優勢種たりえなかったのか、またアメリカフジツボに関してはやはり塩分や流れが関係しているものとする。

##### 4. 10.1.3 ゴカイ類

ゴカイ類に関しては、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイ、シライトカンザシゴカイ (*Filograna implexa*) のうち、2 種のみが出現観測された。

今回調査の対象とした場所は、巴川河川感潮域という塩分が比較的低く環境変動が大きい場所であるため、出現しうる種数が限られ、多様性が低くなったと考える。

港内では、タテジマフジツボ群集とイワフジツボ群集が報告されており、タテジマフジツボ群集は、内湾から湾奥にかけてのみ形成されているとの報告がされている。

以前の調査<sup>(7)(10)-(20)</sup>と今回の調査とあわせると、巴川におけるタテジマフジツボ、シロスジフジツボの河口域における分布は、湾内の群集の延長線上にあるものと推察できる。小坂<sup>(7)</sup>は清水港のフジツボ群集を湾口域のイワフジツボ群集と湾奥部のタテジマフジツボ群集に分けて考えているが、表層の水平分布をみる限り、両者は清水港内ほぼ全域に分布している最多種であると考えられる。

本研究での巴川河口域におけるタテジマフジツボとシロスジフジツボの分布は河口部から上流部まで広域にわたってみられ（表 4.2）その頑強さ清水港全域に根強く分布している影響を如実に反映している。両研究結果から、当該フジツボの清水港全域における分布の盛況さがわかる。

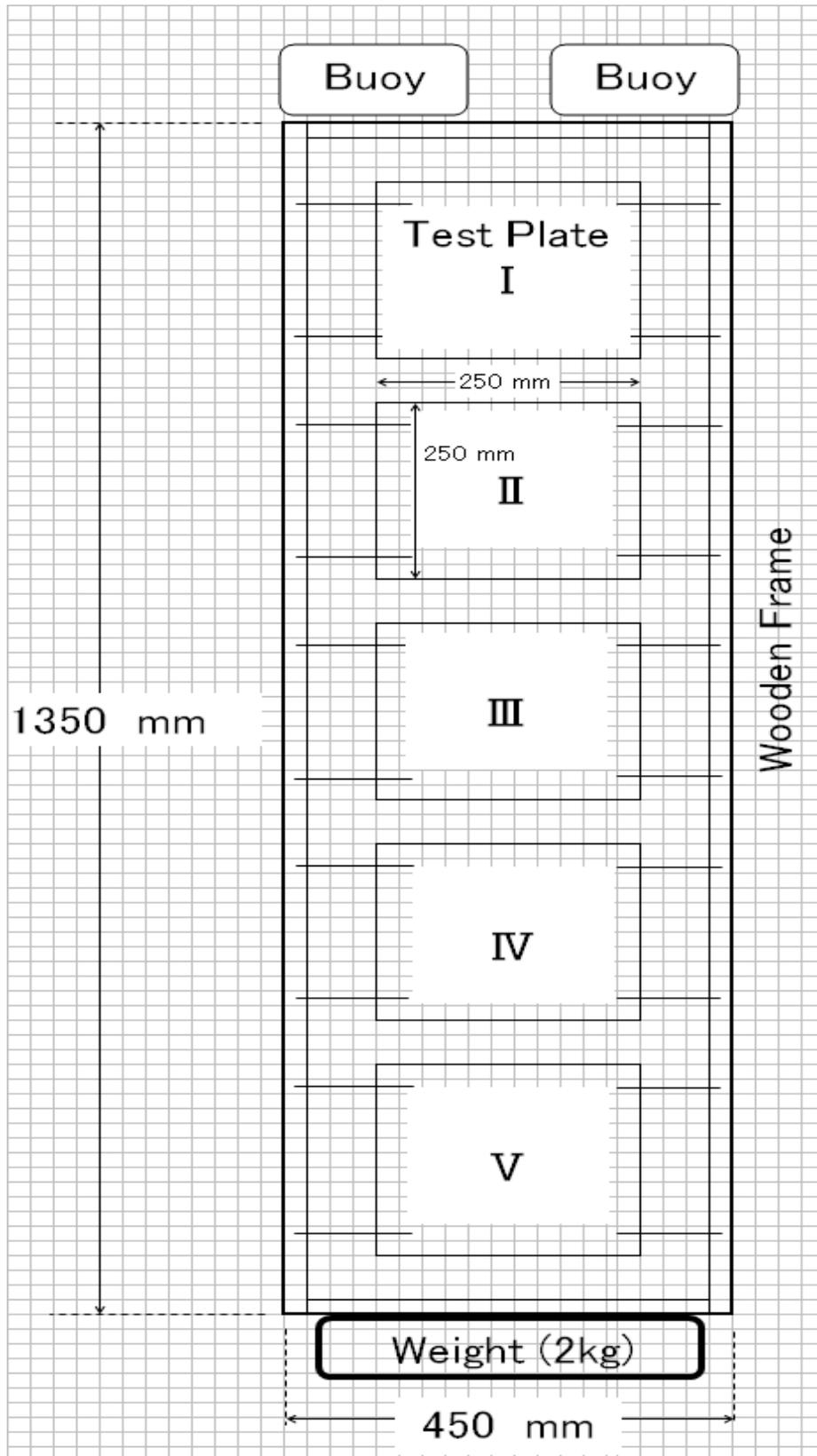


図 4.6 実験機材

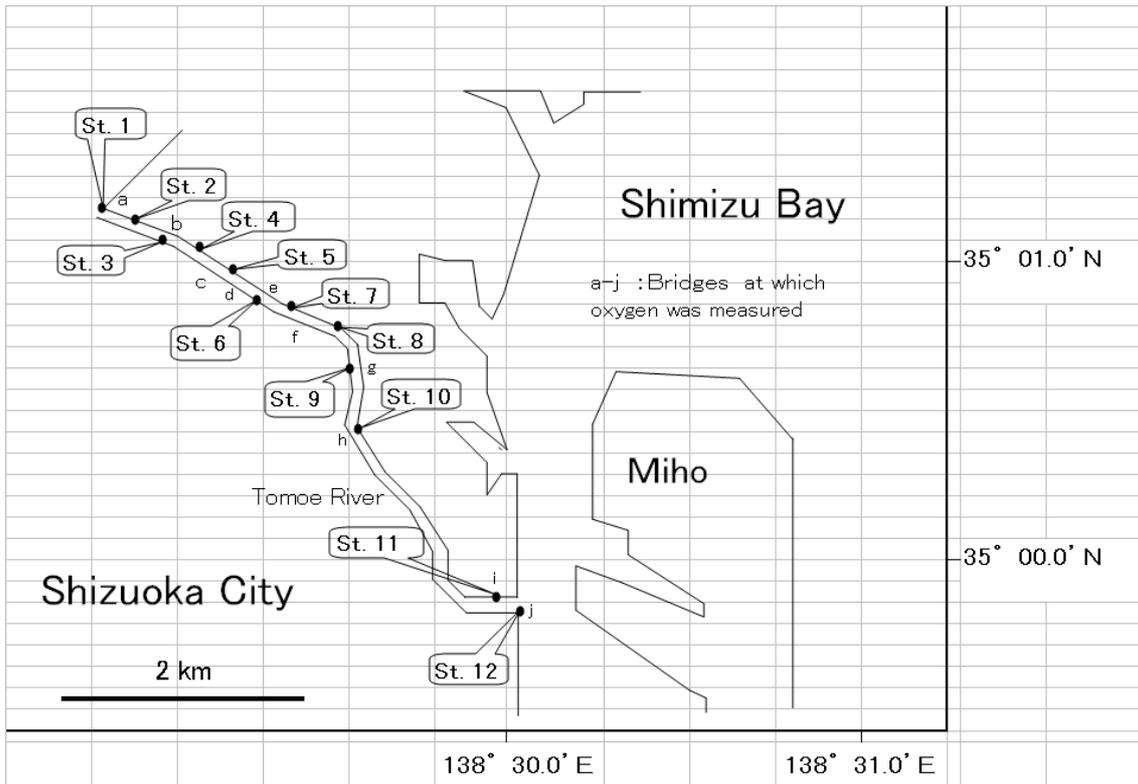


図 4.7 観測地位置 (観測場所・採水場所)

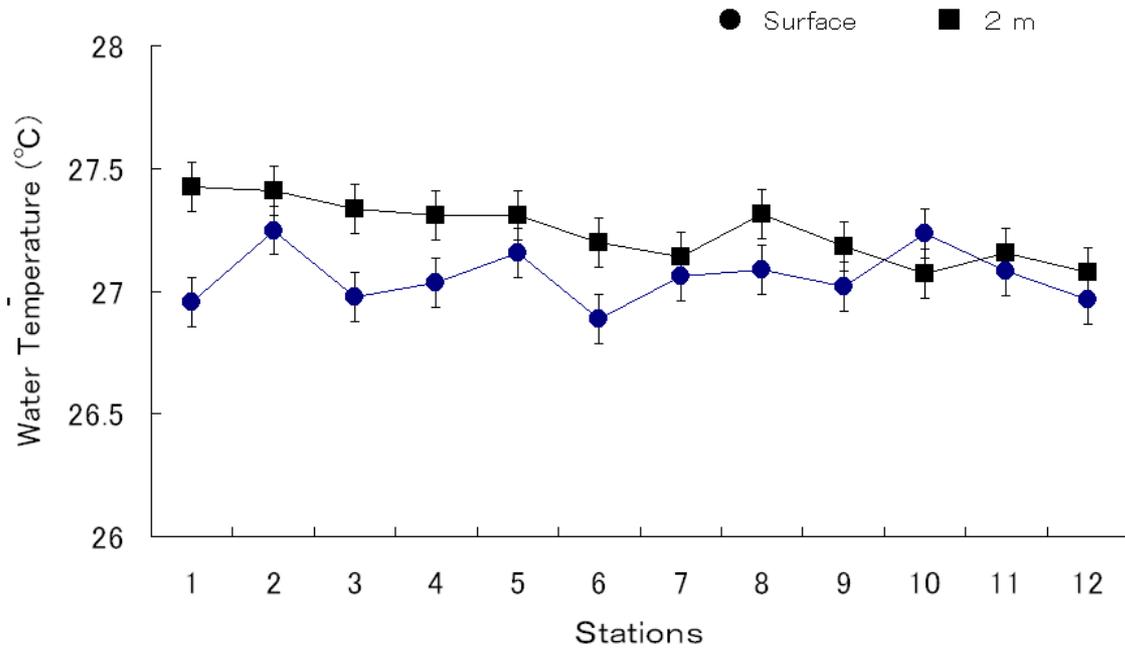


図. 4.8 海水温度 (表面及び2 m)

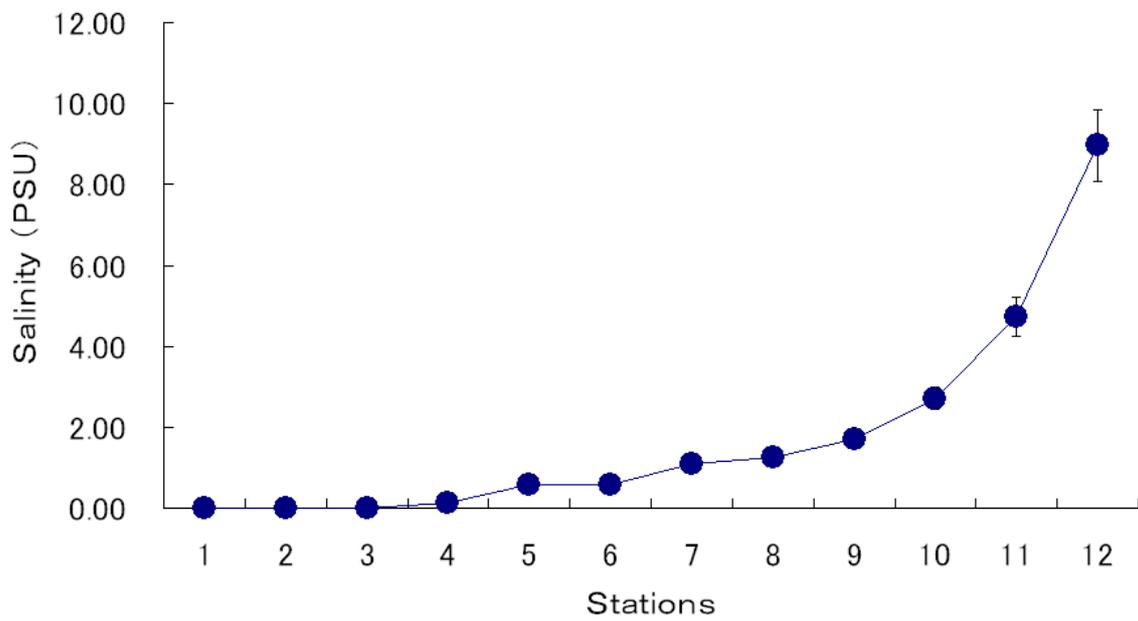


図 4.9 塩 分

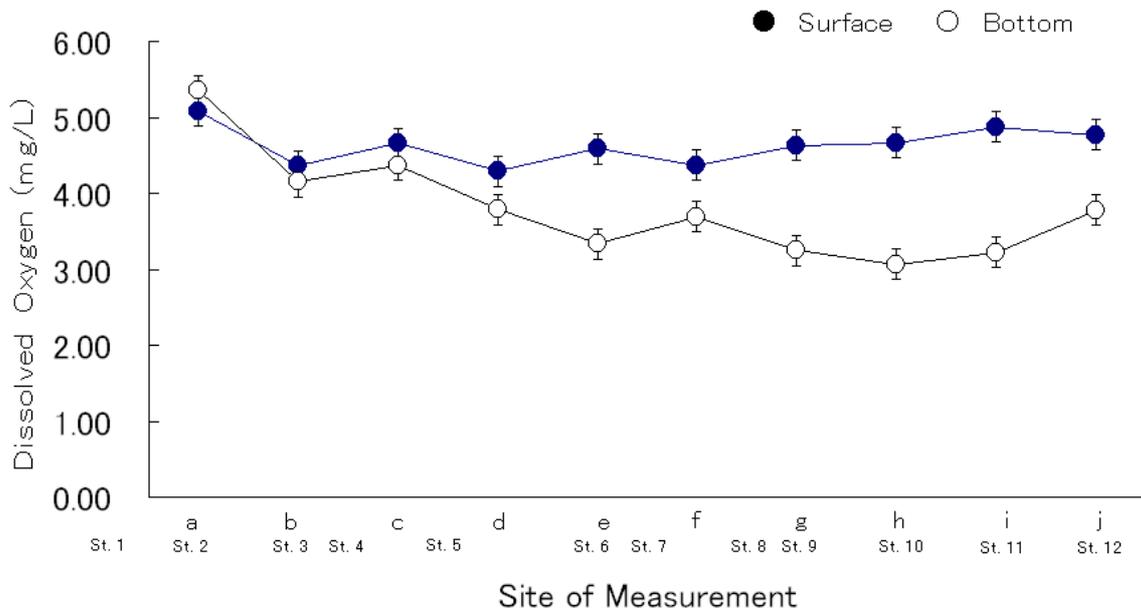


図 4.10 溶存酸素量 (観測地点：記号と Station との位置関係)

#### 4.11 付着生物の分布の特徴

上流から河口に向かって観測点ごとに付着生物の分布を図. 6, 8 よりみると、大きく St. 1~3、St. 4~7、St. 8、St. 9, 10、および St. 11, 12 の5つのグループに分けることができる。上流側の St. 1~3 の付着生物群集は、主に全層で付着がなかった亜群集 A か、少なかつた亜群集 C から構成されたが、これは図 4.9 に示すように、これらの場所の塩分が低かつたためと考える。

St. 4~7 では、表層では主に亜群集 A と B、底層では亜群集 C、D、E から構成された。底層でシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイの付着があつたのは塩水楔に沿つた分布と考える。St. 8 では中層でシロスジフジツボが少数付着したのみで、他種の付着は確認できなかつた。この原因に関しては不明である。St. 9, 10 では、ほぼ全層でシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイ、底層ではウズマキゴカイの付着が確認できた。この2点を地形的にみると、河口から上流に向かって巴川が屈曲する2ヶ所にはさまれた部分であり、河口から東南に流れている巴川が南南東に流れを変えるポイントであるため、地形的な要因が当該河川の流れに影響（流向、流速、流量など）し、それが付着生物相に影響を与えたものと推察できる。St. 11, 12 では、主に中底層でシロスジフジツボとタテジマフジツボが付着した。St. 11, 12 の付着生物の分布の特徴は、表層で付着が全くないか、少ないことである。

##### 4.11.1 他の研究との比較

本研究とほぼ同様の構造の実験板を折戸湾に浸漬して出現した付着生物について調査した研究<sup>(10)~(20)</sup>においても、本研究の実験板 I に相当する水深 0.1 m よりも、本研究の実験板 III~IV に相当する水深 1 m でフジツボ、カンザシゴカイの付着量が多かつたことが報告されている。この原因は不明であるが、この2点は河口と河口からわずかに約 300 m 上流点であり、物理化学的環境がほぼ折戸湾と同様であつたものと推察できる。

St. 12 の底層では付着はほぼみられないが、これは溶存酸素の低さとの関係が深いのではないかと推察できる。St. 7 より下流の底層では平均溶存酸素濃度が 3~4 mg/L 程度であつたが、これは「水生生物の生息環境として維持することがのぞましい基準」である水産用水基準<sup>(23)</sup>の 4.3 mg/L を下回っている。海域の溶存酸素量が 4.3 mg/L を下回ると出現する底生生物の種類数、個体数、多様性が低下し<sup>(21)</sup>、2~3 mg/L 以下になると底生動物種類数が著しく減少する<sup>(1)</sup>ことが報告されている。本研究の底層での溶存酸素量が比較的低かつた St. 9 より下流でも付着があつたことから、付着生物量に影響が出る濃度以上であつたものと推察できる。しかしながら、St. 12 は河口であるため、河川から供給された淡水由来の有機物が海底に堆積しているものと推察される。清水港の底層生物と底質環境を調査した研究においては<sup>(6)</sup>清水港は、巴川河口では底質はシルト・粘土分が多く、有機物含量、硫化物濃度が多いため、「生物にとってはきわめて厳しい環境」であることを報告している。そのため St. 12 の底層では、測定時以外の時間に貧酸素の影響が現れ、付着量に影響を及ぼした可能性が考えられる。

表 4.2 巴川 12 箇所に設置した実験板に付着した付着生物

Sessile organisms settled on test plates immersed at 12 stations in the lower reaches of the Tomoe River.

Species	Station												Number of stations observed			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Arthropoda																
<i>Fistulobalanus albicostatus</i>	2	0	6	82	105	117	120	22	2942	731	2462	870	11			
<i>Auriphalanus amphitrite</i>	0	0	0	0	5	0	18	0	511	378	1160	3402	6			
barnacle	6	0	5	4	0	0	3	0	0	0	0	0	4			
Annelida																
<i>Hydroides elegans</i>	4	4	0	12	64	29	10	0	1303	439	5	1	10			
<i>Dextospira foraminosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	396	0	0	2			
Bryozoa																
<i>Bugula neritina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	15	0	2			
others	3	0	8	6	7	10	14	0	6	0	0	0	7			

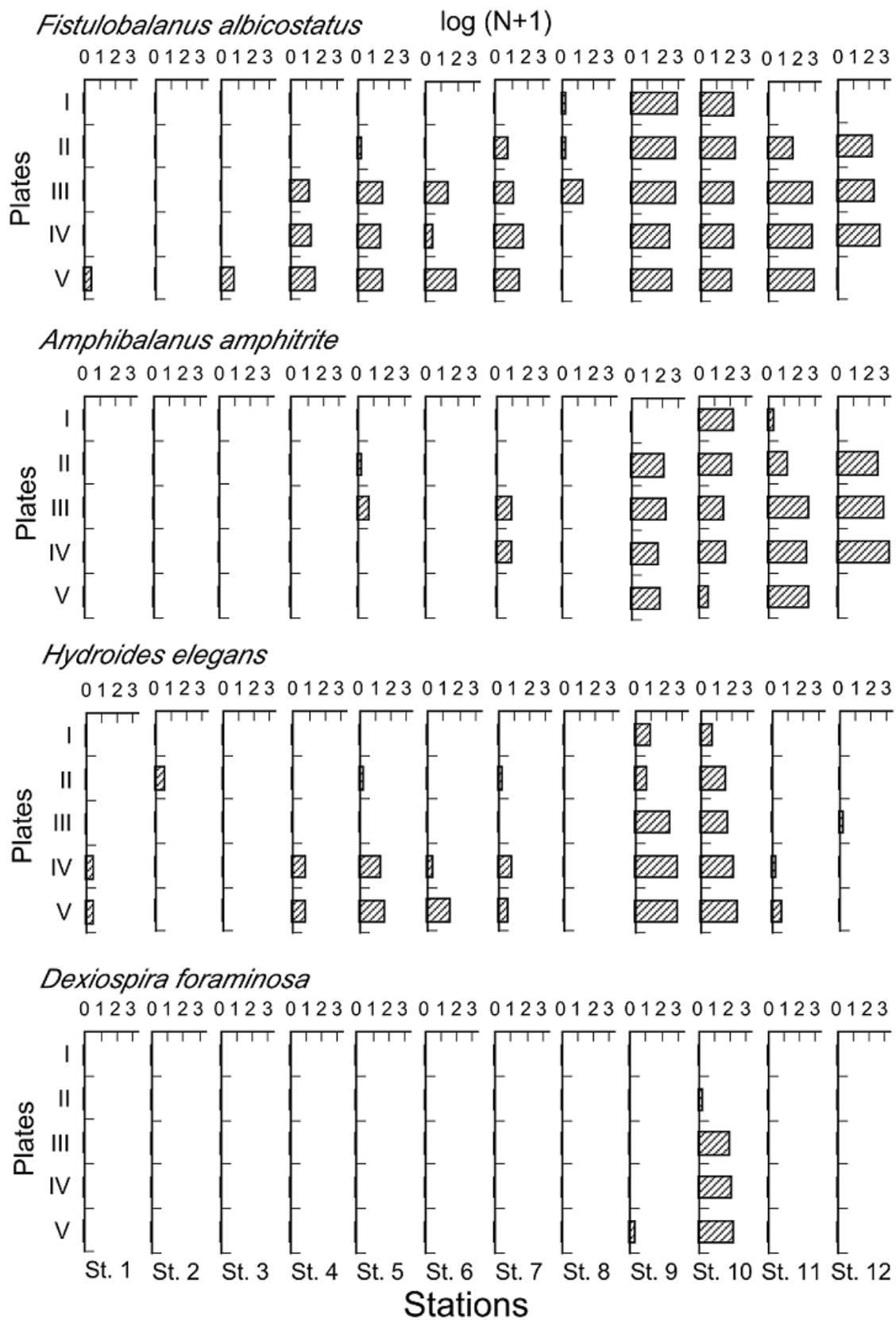


図 4.11 観測点別・Plate別付着量

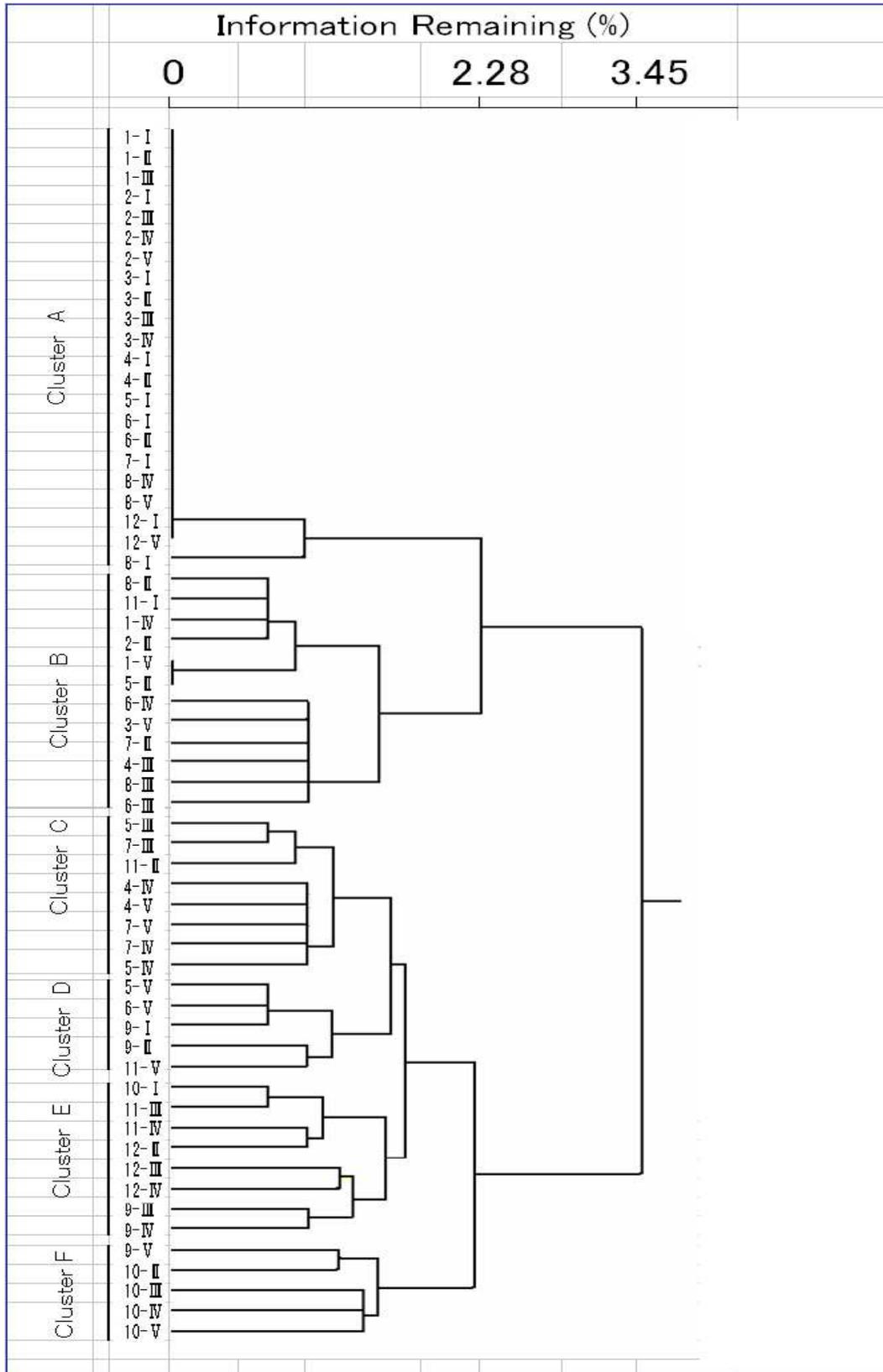


図 4.12 デンドログラム (巴川)

Plates	Stations											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	A	A	A	A	A	A	A	B	C	E	A	A
II	A	C	A	A	D	A	D	B	E	F	B	B
III	A	A	A	B	B	B	B	B	E	F	B	D
IV	C	A	A	E	C	D	E	A	E	F	D	B
V	C	A	B	E	C	C	C	A	F	F	E	A

図 4.13 各実験板が属する亜群集の分布

#### 4.11.2 塩分と種類別付着量の関係

河川感潮域の生物の分布は、その種固有の生理的耐性と他の生物の影響を受け、特に塩分の影響を強く受ける<sup>(22)</sup>。前述したとおり、本研究でも St. 4~St. 7 において塩水楔に一致する分布を確認したことから、巴川感潮域の付着生物相・付着量が塩分によって強い影響を受けたことが示唆された。塩分と種類別付着量の関係を明らかにするために、平均塩分とシロスジフジツボ、タテジマフジツボ、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイの個体数の関係を図 4.14 に示す。シロスジフジツボとタテジマフジツボでは平均塩分が 2 PSU 以下では急激に個体数が減少し、2 PSU 以上に対し、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイでは 2 PSU 程度であると考える。ではほぼ一定の値になるのに対し、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイでは平均塩分 2 PSU 程度に分布のピークがある。フジツボ類では好適な平均塩分が 2 PSU 以上であるのに対し、カサネカンザシゴカイ、ウズマキゴカイでは 2PSU 程度であると考えられる。

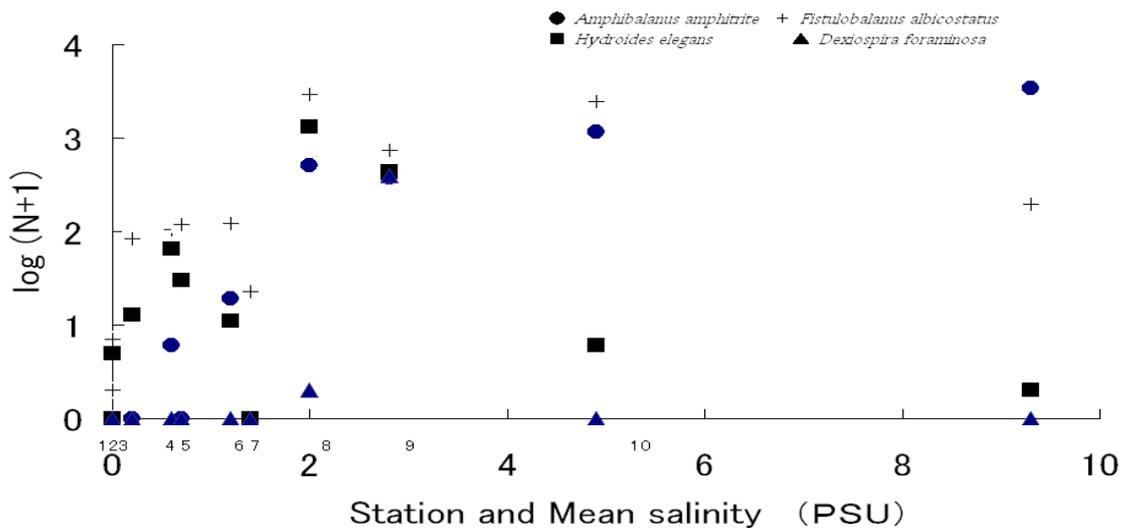


図 4.14 塩分と各付着個体数との関連

#### 4.12 おわりに

本章では、静岡県清水港および清水港に流入する巴川における海洋付着生物の生態分布について明らかにした。清水港港湾部分においては45箇所の観測点、巴川に関しては12箇所の観測点を設け、それぞれの水深にあわせて海洋付着生物の付着状況すなわち生態分布について調査を行った。実験は清水港港湾部においては16年にわたったが、そのうちの各年2ヶ月分についてのみ解析をおこなった。巴川に関しては2002年のデータについて解析を行った。

清水港港湾部では湾口部、湾中部、湾奥部でそれぞれ海洋付着生物の生態分布が異なり、港湾部の全てに分布するもの、一部のみに分布するものと様々であったが、それらを明確にすることができた。また、同様の箇所でも水深によって傾向は異なり、このことは巴川においても同様に確認することができた。

清水港港湾部においては、ほぼ13種程度のフジツボ類、ゴカイ類、コケムシ類などが生息、各所に分布しており、巴川ではフジツボ類2種、ゴカイ類2種の存在が認められた。これらはいずれも夏期によるものであり、他の季節では発生確認できる種やその大きさも異なるものと考えられる。

海洋付着生物の生態分布を港ごとに詳細に調査しておくことは様々な意味で重要であると考えられる。観測箇所と水深による海洋付着生物の生態分布の差異、特に付着生物種ごとの付着量の差異は、船体への生物付着の実態を明確にすることができるものと考えられる。

第5章では、コンテナ船への海洋付着生物の付着による費用の分析を行うが、その際においても本章で行った水深毎の付着量のデータは非常に有効に用いることができると考える。

参考文献（清水港における海洋付着生物の付着状況：4.1節～4.5節）

- (1) 古谷純一（1999）. 東京湾湾奥部において底生生物が受ける貧酸素の影響. 月間海洋, 31 (8), 504-514.
- (2) 花房元顕（1999a）. 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I. -付着個体数からみた基質の色相・明度との相関-. NAVIGATION, 139, 90-101.
- (3) 花房元顕（1999b）. 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-II. -自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-. NAVIGATION, 140, 35-45.
- (4) 花房元顕（1999c）. 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-III. -自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列発生を追証実験-. NAVIGATION, 141, 109-119.
- (5) 花房元顕（1999d）. 基質の材質と海洋付着生物の付着傾向-折戸湾奥における調査実験結果-. NAVIGATION, 142, 47-53.
- (6) 花房元顕（2000）. 基質の表面粗度及び水深と海洋付着生物の付着傾向-藻類を中心とした折戸湾奥における調査研究結果-. NAVIGATION, 144, 77-82.
- (7) 花房元顕（2002）. 海洋付着生物の一般的生態. NAVIGATION, 154, 20-30.
- (8) 花房元顕（2005）. 無機抗菌剤処理基質への海洋付着生物の付着について. NAVIGATION, 162, 38-46.
- (9) 花房元顕・今本健二郎（1994）. 小型舟艇への海洋微生物付着防止に関する研究. 日本航海学会運用研究会資料, 1-5.
- (10) 花房元顕・小田部宏輝・宮本英夫（1997）. 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察. 日本航海学会運用研究会資料, 1-7.
- (11) 木村賢史・岩田理恵・高木容子・山澤俊宏（2006）. 清水港（折戸湾）における底生動物の分布構造とその環境因子との関係.「海-自然と文化」東海大学海洋学部紀要, 4 (3), 29-41.
- (12) 小坂昌也（1977）. 清水港におけるフジツボ類の分布生態について. 海洋科学, 9, (4), 18-4.
- (13) 小坂昌也（1985）. フジツボ類-岸壁面をめぐる争い.「日本の海洋生物侵略と攪乱の生態学」. 沖山宗雄・鈴木克美編. 東海大学出版会. pp61-68.
- (14) 松田義弘（1977）. 清水港における水温成層の測定-予備的解析. 東海大学紀要（海洋学部）（須田皖次名誉教授追悼号）, (10), 1-15.
- (15) 宮地伝三郎・増井哲夫・波部忠重（1975）. 内湾度と生物群聚型に就て. 京都大学生理生態業績集, 3, 1-20.
- (16) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・中島保司・真田真（1958）. 折戸湾における生物付着状況. 東京商船大学研究報告 自然科学, 9, 45-54.
- (17) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・中島保司・真田真（1959）. 折戸湾における生物付着状況（第2報）. 東京商船大学研究報告 自然科学, 10, 85-90.
- (18) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・大西崇博（1967）. 折戸湾における生物付着状況（第3報）. 東京商船大学研究報告 自然科学, 18, 1-14.

- (19) 宮嶋時三・鈴木揚之助・瀬川勇・萩田政吉 (1972). 折戸湾における生物付着状況 (第 4 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 23, 21~51.
- (20) 宮嶋時三・瀬川勇・萩田政吉 (1975). 折戸湾における生物付着状況 (第 5 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 26, 125~144.
- (21) 宮嶋時三・瀬川勇 (1979). 折戸湾における生物付着状況 (第 6 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 29, 49~76.
- (22) 宮嶋時三・瀬川勇 (1983a). 折戸湾における生物付着状況 (第 7 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 34, 183~203.
- (23) 宮嶋時三・鈴木揚之助・瀬川勇・萩田政吉 (1983b). 折戸湾における生物付着状況 (第 8 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 34, 161~182.
- (24) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (1990). 折戸湾における生物付着状況 (第 9 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 41, 43~79.
- (25) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (1998). 折戸湾における生物付着状況 (第 10 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 48, 1~13.
- (26) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (2001). 折戸湾における生物付着状況 (第 11 報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 52, 35~40.
- (27) 日本付着生物学会編 (2001). 黒装束の侵入者外来付着性二枚貝の最新学, 1 2 5 p p .
- (28) 渡辺信雄 (1969a). 火力発電所取水路の物理環境-新清水共同発電所の取水路について-. 沿岸海洋研究ノート, 7 (1), 14~25.
- (29) 渡辺信雄 (1969b). 内湾への海水交流とこれに伴う湾内の塩素量の変化について(予報). 7 (2), 1~6.
- (30) 山口寿之 (1989). 外国から日本に移住したフジツボ類、特に地理的分布および生態の変化. 神奈川県自然史資料, 10, 17~32.
- (31) 花房元顕(2011)清水港に流入する巴川感潮域に設置した実験板に付着した海洋付着生物の分布について. Sessile Organisms, 日本付着生物学会論文集, 28(1);1-7, 2011.
- (32) 西條八束・奥田節夫 (1996). 河川感潮域-その自然と変貌-. 名古屋大学出版会, 248 pp.

参考文献 (巴川河川感潮域における海洋付着生物の付着状況 : 4.6 節~4.12 節)

- (1) 古谷純一 (1999). 東京湾奥部において底生生物が受ける貧酸素の影響. 月刊海洋, 31 (8), 504-514.
- (2) 花房元顕 (1999a). 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-I.-付着個体数からみた基質の色相・明度との相関-. NAVIGATION, 139, 90-101.
- (3) 花房元顕 (1999b). 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-II.-自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-. NAVIGATION, 140, 35-45.
- (4) 花房元顕 (1999c). 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察-III.-自然光線と色相・

- 明度をパラメタとした付着量序列発生の追証実験-. NAVIGATION, 141, 109-119.
- (5) 花房元顕・小田部宏輝・宮本英夫 (1997). 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察. 日本航海学会運用研究会資料, 1-7.
- (6) 木村賢史・岩田理恵・高木容子・山澤俊宏 (2006). 清水港 (折戸湾) における底生動物の分布構造とその環境因子との関係. 「海-自然と文化」東海大学海洋学部紀要, 4 (3), 29-41.
- (7) 小坂昌也 (1977). 清水港におけるフジツボ類の分布生態について. 海洋科学, 9(4), 18-4.
- (8) 小坂昌也 (1985). フジツボ類-岸壁面をめぐる争い. 「日本の海洋生物-侵略と攪乱の生態学」(沖山宗雄・鈴木克美編), 東海大学出版会, 61-68.
- (9) 松田義弘 (1977). 清水港における水温成層の測定-予備的解析. 東海大学紀要 (海洋学部) (須田皖次名誉教授追悼号), (10), 1-15.
- (10) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・中島保司・真田真 (1958). 折戸湾における生物付着状況. 東京商船大学研究報告 自然科学, 9, 45-54.
- (11) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・中島保司・真田真 (1959). 折戸湾における生物付着状況 (第2報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 10, 85-90.
- (12) 宮嶋時三・瀬川勇・加賀秀夫・大西崇博 (1967). 折戸湾における生物付着状況 (第3報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 18, 1-14.
- (13) 宮嶋時三・鈴木揚之助・瀬川勇・萩田政吉 (1972). 折戸湾における生物付着状況 (第4報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 23, 21-51.
- (14) 宮嶋時三・瀬川勇・萩田政吉 (1975). 折戸湾における生物付着状況 (第5報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 26, 125-144.
- (15) 宮嶋時三・瀬川勇 (1979). 折戸湾における生物付着状況 (第6報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 29, 49-76.
- (16) 宮嶋時三・瀬川勇 (1983a). 折戸湾における生物付着状況 (第7報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 34, 183-203.
- (17) 宮嶋時三・鈴木揚之助・瀬川勇・萩田政吉 (1983b). 折戸湾における生物付着状況 (第8報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 34, 161-182.
- (18) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (1990). 折戸湾における生物付着状況 (第9報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 41, 43-79.
- (19) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (1998). 折戸湾における生物付着状況 (第10報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 48, 1-13.
- (20) 宮嶋時三・鈴木揚之助・元田慎一・瀬川勇・田畑博 (2001). 折戸湾における生物付着状況 (第11報). 東京商船大学研究報告 自然科学, 52, 35-40.
- (21) 日本水環境学会 (編) (1999). 日本の水環境行政, ぎょうせい, 288 pp.
- (22) 西條八束・奥田節夫 (1996). 河川感潮域-その自然と変貌-. 名古屋大学出版会, 248 pp.

- (23) 水産資源保護教会 (2005). 水産用水基準, 2005 年版.
- (24) 渡辺信雄 (1969a). 火力発電所取水路の物理環境-新清水共同発電所の取水路について-. 沿岸海洋研究ノート, 7 (1), 14-25.
- (25) 渡辺信雄 (1969b). 内湾への海水交流とこれに伴う湾内の塩素量の変化について(予報). 7 (2), 1-6.

## 第5章 世界のコンテナ船の運用コスト分析

### 5.1 はじめに

現在まで、コンテナ船の配船計画や運航費用分析の研究が数多くなされている。4年前にデンマーク船社であるマースク・ラインが、積載量 10,000TEU を超えるコンテナ船、いわゆるメガシップをアジア-欧州航路に就航させた。その前後にメガシップのスケールメリットの有効性を検証するために、様々な視点からメガシップと在来船型（ポストパナマックスならびにスーパーポストマナマックス）のコンテナ船との費用比較分析が行われた。

しかし、それらの多くは、当該船舶が就航した状態を保持するものと仮定して、個別の費用項目を積算的に求めているにすぎない。船舶は進水以来、その水線面以下に海洋付着生物が付着する。また、排水容積の変化に伴い浸水面積の大きさが時系列に変化しているため、それらによる船体の変化、すなわち摩擦抵抗の増加により運航効率も変化する。したがって本来は、付着生物による船底汚損に関する費用項目を加味して大型船型のスケールメリットを分析する必要がある。

コンテナ輸送における市場情報によれば、メガシップは今後ますます市場に投入され、また、より大型のメガシップが建造されることがほぼ確実である。現に、18,000TEU のコンテナ船の発注がなされている。このような背景から、先に述べた船底汚損を考慮した、より詳細な分析評価が重要である。そこで、本章では、メガシップや従来船型のコンテナ船に付着する海洋付着生物の付着量を考慮したコンテナ船の費用分析を行い、メガシップの配船に関する経済性について検討する。

### 5.2 コンテナ船の超大型化

1996年、世界最大のコンテナ船として脚光を浴びていたマースク・ラインの6,600TEU積載船が開発されたが、当時、こうした大型コンテナ船を建造する立場の造船業からは、10,000TEUを超える超大型船も技術的には可能という見解が示され、各種の試設計が公表されていた。一方、海運業界側では、このような大型化に懐疑的な意見が多くあった。特に、日本の海運界では5,000~6,000TEUが適当な大きさとする意見が主流であり、10,000TEU以上の大型船はまだまだ受け入れ難いとの見方であった。

それから数年余りを経過した現状では、ロイズリストの集計によると、8,000TEU以上のコンテナ船の新造発注が100隻を突破し、その中には10,000TEUを上回るメガシップも含まれている。

#### 5.2.1 コンテナ船大型化の推進者

6,000TEUそして6,600TEUと、コンテナ船の大型化をリードして来たデンマークのマースク・シーランド（デンマークAPモラー社系列のマースクと米シーランドが合併）は、2000年後半、9,930TEU積載クラスのコンテナ船をグループの造船所オデンセ・ステイールに3隻を発注、さらにオプション7隻のうち3隻を発注した。同船型は、全長336.4m、深さ24.1m、喫水15mの大型船で、主機は、韓国製の電子制御型ディーゼル機関で、出力は68,658kW。6隻ともに2006年には完成した。実際には10,000TEU以上を積載でき、実質的なメガコンテナ船の登場である。

これに続いてカナダのシーSPAN・コンテナラインズが、韓国の三星重工業に9,500TEU型コンテナ船を4隻新造発注し、これにはさらに4隻のオプションがついた。この大型船は、チャイナ・ SHIPPINGに用船され、アジア～欧州航路およびアジア～北米航路に投入された。このシーSPAN社は、2007年1月に8,100TEU型船を5隻、同じ三星重工業に発注し、その後の8,000TEU超コンテナ船の大量発注のもととなっている。

### 5.2.2 日本の建造状態

超大型コンテナ船の導入には慎重な態度で臨んでいた日本の海運会社の中にも、アライアンス内での協調の観点から超大型コンテナ船発注に踏み切る会社も出てきた。台湾の陽明（ヤンミン）海運と基幹航路で提携している川崎汽船が、2008年、両社で8,000TEUコンテナ船を合計8隻建造して、アジア、欧州航路に投入する計画を立てた。川崎汽船は、韓国と日本の造船所に見積依頼をした結果、日本のアイ・エイチ・アイ・マリンユナイテッド（元の石川島播磨重工業造船部門）が提案する幅広浅喫水型のユニークな船型が採用された。

この4隻の8,000TEU級の超大型コンテナ船は、このクラスの新造をほぼ独占していた韓国造船業界と競い合っ、初めて日本造船業が受注した超大型コンテナ船ということで注目を集めた。韓国船に比べると幅が3m広く、喫水が1m浅く、コンテナを1列多い18列積載でき、全長は336m、幅45.8m、喫水13m、航海速度24.5ノットである。1基1軸推進で、エンジンはMANB&W12K98MCまたはスルザー12RTA96Cのいずれかのディーゼル機関。1TEU当りのコスト低減は10～15%と予想している。パートナーの陽明海運の4隻は、韓国の現代重工に発注され、8,200TEU型。船隊三。川崎汽船の発注船より3m狭い従来型42.8mとなる予定であった。

### 5.2.3 他のアライアンスの動向

グランドアライアンスやニュー・ワールド・アライアンス等では、構成船社によって大型化志向はまちまちだが、ハパクロイド、CMA-CGM など基幹航路用に8,000TEU級大型船の発注に踏み切る会社も多かった。8,000TEU級コンテナ船の新造発注隻数が、わずか1年で100隻を超えたことを考えると、各アライアンス内における立場を強固なものにするためにも、各社共に横並びの大型化に踏み切らざるを得ないのではないかと考えられる。2011年では、10,000TEU型超のメガコンテシブが基幹航路の標準型船になっている。

現時点では本論文で研究対象としている 10,000TEU や 15,000TEU は標準的となり、18,000TEU の建造がすでに開始されている。その巨大化構想はとどまるところを知らない。

### 5.2.4 コンテナ船の大型化と採算

コンテナ船の大型化傾向は近年めざましい。海上コンテナ輸送は定期船サービスの効率化を目指したものであり、機械化・省力化が大幅に取り入れられた資本集約型の輸送システムである。投資コストを下げるためには、規模の経済性を追求する必要があり、コンテナ船の大型化はコンテナ輸送の草創期から一貫して進められてきた。1980年代半ばには、当時画期的であった4,000TEU積み船が米船社United States Lineにより市場に投入されたが、船速が荷主のニーズに合わず、採算性が悪化し同船社は倒産に至った。しかし、その後の歴史が示すように、採算性が疑問視されていた当時の超巨大コンテナ船は決して絵空

事ではなく、貨物需要や荷主のニーズに合うサービス形態を考慮すれば、十分に経済的な船型になることが証明されている。

海上コンテナ貨物量は世界的には増加の一途をたどっており、それともなつてコンテナ船の積載量も増え続け、現在、最大はOOCLの船で、10,000TEUを越える積載能力を有する。すでに、他のコンテナ船社のなかにも同レベル以上の船を発注しているところがあり、近い将来20,000TEU船程度は標準的なサイズになると思われる。

ここで考慮されなければならないのは、採算性のある最大船型はどの程度であるか、という問題である。Maritime Policy and Management誌には10,000超TEU船（ここではメガシップと呼ぶ）を議論する論文が発表されていた。その後、日本、韓国の造船会社ならびに欧州の船級協会や大学が独自のメガシップのデザインを提案し、メガシップの実用性に関する賛否両論が海運業界で議論されている。しかし、これらの議論の多くは局所的な側面を取り上げて論を展開しており、その客観性は十分とはいえない。

複合一貫輸送の中心的な役割を果たすコンテナ船の船型は、様々な領域に大きなインパクトを与えるため、その将来動向の予測はきわめて重要である。日本の主要コンテナ港湾は極東でのハブとしての機能を喪失しつつある。このようなことから国土交通省は中樞港湾の選定を行い、対象港湾の利用コスト低減のために重点的な投資を行う予定である。しかしコストを低廉化しても、あくまで近隣海外港と横並びになるだけであり、再び極東ハブの復権が果たせるとは考えにくい。このような点から、日本の地理的・経済的な特徴を考慮する必要はあるものの、メガシップの実用可能性があるのであれば、日本にメガシップ対応の先進的なコンテナターミナルを整備する価値は十分にあると考えられる。

### 5.2.5 メガシップの妥当性

海上コンテナ輸送は世界経済や国際貿易には無くてはならない輸送手段である。海上コンテナ輸送が開始されて50余年、さらに国際航路での開始から同等の歳月が経過した。コンテナ輸送草創期から、一貫してコンテナ船は大型化している。これは、輸送需要の増大が大きな背景となっていることは確かである。しかし、過去の統計を見ると単純に貨物需要が増えた分、船型が大型化したとは言いきれない。実際には大型化による規模の経済性が直接の理由であろう。

ここ10余年間で船の大型化に拍車がかかり、10年前の最大船型が7,000TEUであったものが、2006年には、公称、11,000TEU、実際には14,000TEU程度は積載できると推定される超巨大コンテナ船が就航した<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>。昨年当初では、積載個数10,000TEUの大台の突破（以下、10,000TEU以上の積載船をメガシップと呼ぶ）はもはや主流となっている。いくつかの船社はすでに造船所にメガシップを発注しているという状況である。

メガシップの可能性の議論はここ数年非常に盛んであり、様々な基礎的な経済性研究を含めて種々の議論がおこなわれた<sup>(3)</sup>。その後の議論では、純粋な造船技術の視点ならびに航路経済性の観点からの検討が、学术界や実業界で行われた。そこでは、メガシップの否定的な意見も多く出された。<sup>(4)</sup><sup>(5)</sup>~<sup>(7)</sup>。しかしメガシップがすでに登場している現在、メガシップを前提として、それをどうすれば経済的に運用できるか、船舶、あるいは船舶

航路単体ではなく複合一貫輸送全体で、どうすればよいか、という状況に変わってきたと考えられる。現在メガシップを市場に投入している船社は、船の大型化の牽引者であり、また船社の吸収合併を行いながら巨大化した船社であるため、そのことを考えれば、メガシップは幹線航路の標準船型になる可能性は極めて高い。しかし、メガシップを経済的に運用できる環境が整備できなければ、それが衰退する可能性もある。

### 5.3 メガシップの就航可能性

#### 5.3.1 船社の競合モデルによる就航可能性の検討

すでにメガシップは現実になったが、メガシップの就航可能性を今井氏の研究により簡単にのべる<sup>(8)</sup>。

アジア欧州とアジア北米の2大幹線航路で運航コスト水準が異なる仮想的な2船社を想定し、これら船社がどのような船型を航路に投入するかを分析している。1週間の輸送需要を仮定して、Weeklyのサービスを在来船型（5,000TEU）2隻で行うか（実質的には、週2航海のイメージ）、それともメガシップ（10,000TEU）1隻のサービスを行うかを考えている。ここで、在来船型コンテナ船は対象航路の主要港を全てラウンドで寄港する、いわゆるMulti-Port Callingの航路形態を取り、メガシップはアジアに1港、航路の他の終端に1港のハブを持つHub&Spoke形態を取ると仮定している。タリフは国連の統計<sup>(9)</sup>を参考にして航路毎に往復航で異なるように設定しているが、船社間での違いはない。なお、このタリフは3段階の値を想定しており、解の感度分析を行っている。メガシップのHub&Spokeではスポーク部分はフィーダー船社に輸送を委託する形態とする。なお、両船社はメガシップのHub&Spokeサービスを行う場合、フィーダー船社に輸送コストを支払うが、そのコストを3段階に変化させ、解の感度分析を行った。荷主はOD毎に両船社の輸送時間の長さに反比例して貨物量を委託すると考えている。船社は委託された貨物運賃収入から運航コスト（港湾費用を含む）を差し引いた利益をもとに非ゼロ和ゲームを行って、そのNash均衡解として、Multi-Port Callingの在来船型サービスか、Hub&Spokeのメガシップにするかを決定するというものである<sup>(10)</sup>。

興味ある結果として、アジア欧州では、タリフとHub&Spokeでのフィーダーコストのどのシナリオでも、両船社ともメガシップサービスを行う。一方、アジア北米では、タリフとフィーダーコストが低い場合のみ、メガシップサービスが船社に選択される結果を導き出している。しかし彼の研究では、メガシップの経済性におけるボトルネックになる恐れのある、港湾や欧米のような鉄道による2次輸送は考慮していない。

#### 5.3.2 船底汚損への考慮

コンテナ船に限らず、船舶が大型化すれば、船底への海洋付着生物の付着による燃料消費の問題、つまり運行効率の問題が発生する。船舶が大型化すればするほど、水線下表面積は比例的に増加し、海洋付着生物の付着表面積はそれに比例して増加する。単純な言い方をすれば、コンテナ船の大型化はその分船体抵抗を増加させ推進効率を悪化させ、かえって非効率的な運送手段ということができるかもしれない。これを防止する手段としては、設計時に積載量と比較して浸水表面積を大幅に小さくする努力をしておくことや、コスト

の低い効果の高い無毒の防汚塗料の使用が必要になってくる。

次節では、前章までに述べた海洋付着生物の付着の問題、無機抗菌坦持剤のことを考慮して、大型コンテナ運行の際のコスト費用分析について検討する。

#### 5.4 海洋付着生物の付着防止を考慮したコンテナ船費用分析

##### 5.4.1 海洋付着生物付着観測実験と船体付着の計算<sup>(1)</sup>

船舶やその他の人工海洋構造物に対する海洋付着生物の付着状況を把握するためには、実際の環境における付着状況調査が必要<sup>(2)~(21)</sup>となる。そのためには実際の港での海洋付着生物の付着傾向を調査する実験が必要となる。

第4章の第4.3節から4.5節で述べたように、方法論は2つあるが、ここでは静岡県静岡市清水区の清水港に実験板(25×25cmの鋼材)を設置し、海洋付着生物の生態調査実験を行う方法を選択した。その詳細については前章で述べた。

観測点データは、図5.1に示す、同港内の船舶の停泊するポイントのなかから選択した45の観測点(前節)の内、清水港湾口部に当たる興津第一埠頭、興津第二埠頭(東経131°31′、緯度34°02.5′)<sup>(22)</sup>を中心としたコンテナバース付近の10個の地点である。観測層は、当該観測点に合わせ水面から海底まで、0.25、0.50、1.00、1.25、1.50、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00mの水深、さらに観測点によっては11.00mと12.00mの水深とした。

図5.2に付着量を示す。個体数は付着生物種によって、季節によっても大幅に異なるため、単純なグラフで一様に表示することはできない。前章で解析した付着個体数を基に、該当する箇所の個体数をここでNは付着量として、縦軸はlog(N+1)で横軸は水深(m)で表示した。なお実験は前節の通り1994年4月から2006年2月までとし、同図はそのうちの各年の7月から9月までのデータを示している。本実験期間において付着が観測された生物は、タテジマフジツボ(*Amphibalanus amphitrite*)■、シロスジフジツボ(*Fistulobalanus albicostatus*)◆、アカフジツボ(*Megabalanus rosa*)▲、ならびに、アメリカフジツボ(*Amphibalanus eburneus*)×、ドロフジツボ(*Fistulobalanus kondakovi*)＊、ゴカイ類にあつては、カサネカンザシゴカイ(*Hydroides elegans*)●、ウズマキゴカイ(*Dexiospira foraminosa*)＋、シライトカンザシゴカイ(*Filograna implexa*)－、アミメコケムシ(*Membranipora savartii*)＝、また極少量ではあるが、ムラサキガイ(*Mytilus galloprovincialis*)◇も観測された。なお、種の同定と計測に関しては、判別のつかないもの、ならびに固体として扱えないものは削除した。

各実験板の付着生物種の底径、体長に関しては、それぞれの観測点および実験板の各年平均値を用い、実験板を設置していない水深に関しては、図5.2の値における前後の水深の値を補完的に用いた。

表5.1は、各観測点での実験板における付着生物1個体の観測期間中の初期付着質量をグラム単位で表したものである。各実験板での付着生物種ごとの付着重量を付着個体数と掛け合わせることにより、当該実験板の設置水深における海洋付着生物の重量を求めることができる。

#### 5.4.2 海洋付着生物の重量増加

図 5.3 に各観測点での実験板に付着した海洋付着生物の経過月ごとの重量増加の割合を示す。各海洋付着生物は初期付着から時間の経過とともに重量が増加する。その増加量は、付着場所、時期、船舶の場合は移動経路や移動速度、ならびに付着後の摂餌量などにより処々変化<sup>(23)~(26)</sup>するため、一概に論ずることはできない。また、環境の季節的消長も大きな要因となるため、初期付着が何時始まったかにより変化する。戦前に横須賀でおこなわれた実験研究の成果では<sup>(27)</sup>初期付着時期ごとに、その発達過程が詳細に描かれた例はあるが、それ以降は稀である。

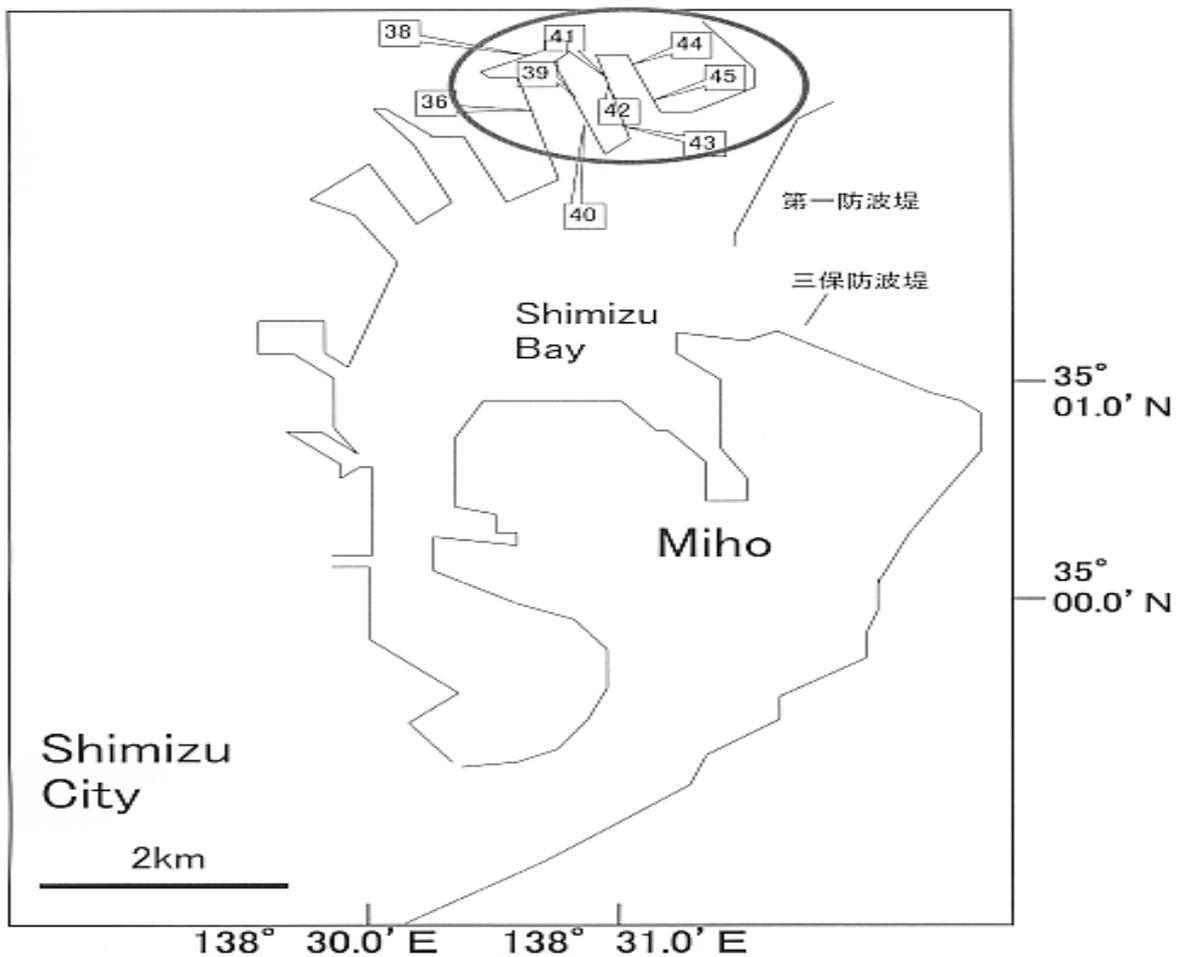


図 5.1 観測点

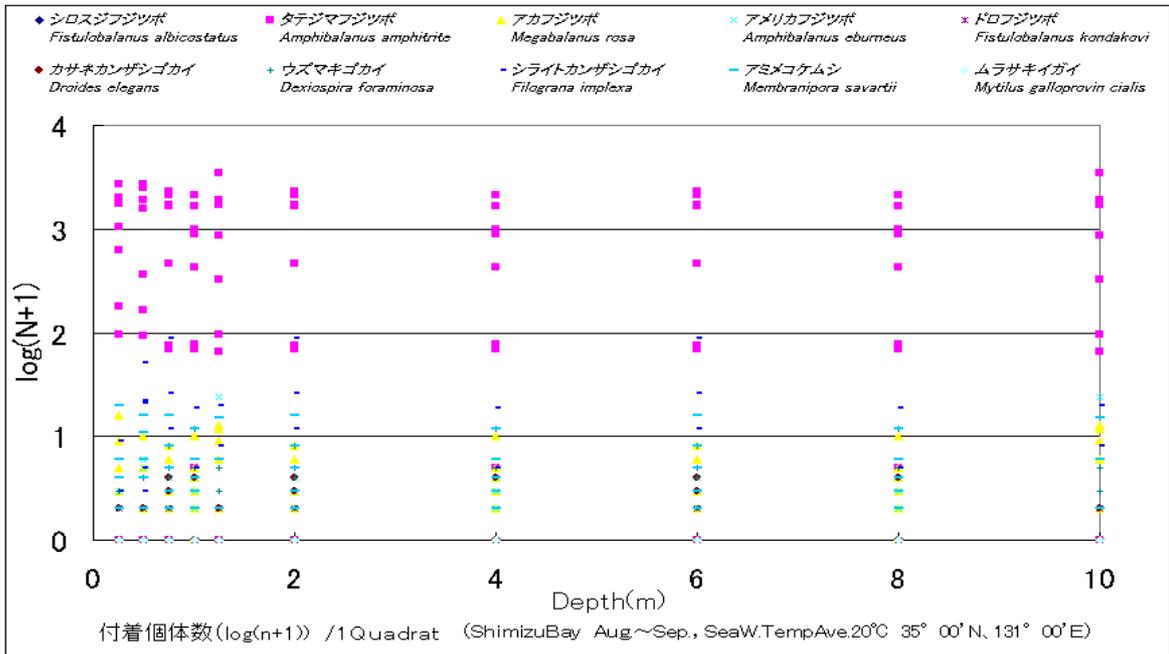


図 5.2 全種類の海洋付着生物の数量と水深

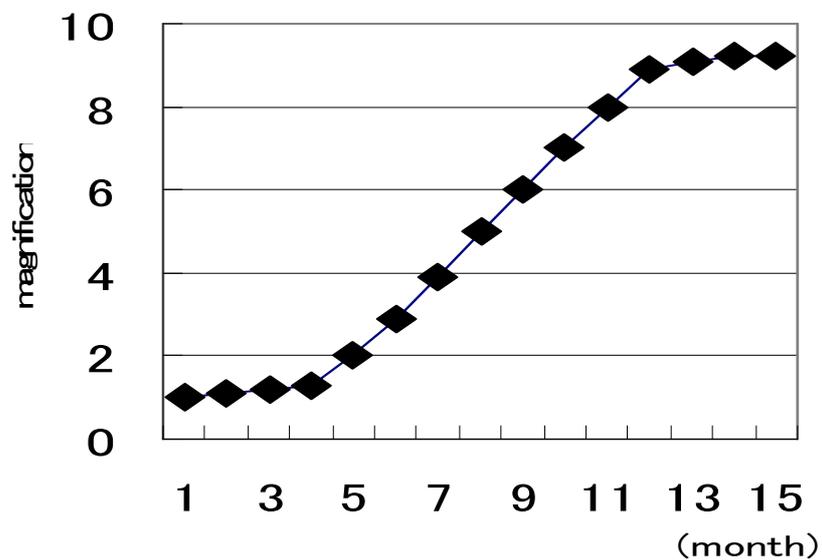


図.5.3 海洋付着生物の重量の増大

表 5.1 個体数日と重量の変化（計測重量値平均）

<i>Fistulobalanus albicostatus</i>	0.1
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	0.1
<i>Megabalanus rosa</i>	0.2
<i>Amphibalanus eburneus</i>	0.2
<i>Fistulobalanus kondakovi</i>	0.1
<i>Droides elegans</i>	0.1
<i>Dexiospira foraminosa</i>	0.1
<i>Filograna implexa</i>	0.1
<i>Membranipora savartii</i>	0.1
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0.5

同図も、観測期間内の特定の場所の長期間観測による結果の平均値である。同図の値に、先の実験板の付着個体数を掛け合わせていくことにより経過月ごとの付着重量の変化を計算することができる。

#### 5.4.3 計算対象船

##### 5.4.3.1 対象コンテナ船

今回の費用分析の対象とする船舶の要目は、全世界のコンテナ船約4千隻を選択した。その中から積載量10,000TEU以上のメガシップと5,000TEU程度の中型船を抽出してその平均値を求め、その値から10,000TEU船（以下、メガシップと呼ぶ）と5,000TEU船（以下、中型船と呼ぶ）の主要目を表5.2のように決定した。

そして、これら対象船の浸水表面積を計算し、先に述べた海洋付着生物生態観測の実験板と同一の広さのエリアが当該浸水面積内に水深ごとにいくつ取れるかを計算することによって、各水深における浸水面積全体の付着量を計算する。これに表5.1の付着重量を掛け合わせ、全体の付着重量を算出する。さらに図5.3に示した海洋付着生物の成長による付着重量増加率を踏まえた付着重量の経過月変化を計算して排水容積を求め、浸水表面積と摩擦抵抗の経過月計算をおこなう。

なお、海洋付着生物の船体付着による船体重量の増加、それに伴う浸水表面積の増加によって船体の抵抗が増加するという考え方だけでは限界がある。スライムなどが付着して、重量は増えているが（つまり浸水面積はほとんど増えていないが）、さらに摩擦抵抗が大幅に増え、抵抗が二倍程度にまでなるといことも考えられ、今回のような考え方で評価を行うことは多少無理がある。海洋付着生物の付着による抵抗そのものを計算し比較すればより詳細かつ大幅にメガシップと中型船の海洋付着生物付着による運航効率の比較が可能となるが、計算が複雑になることや付着固体の位置がランダムであるため正確な形状抵抗を計算しがたく、海洋付着生物付着による浸水表面積の増加の計算を行うことでもそのス

ケールメリットの比較はより安全理に計算が可能であるため、ここでは浸水表面積の増加にのみ着目しての検討に止めている。この分野においては文献 28 に詳述があり、この様な手法を用いた摩擦抵抗の増加量を推算すると、浸水表面積の増加のみを考えた場合よりも更にその差が広がるものと思われるが、これについては今後の検討課題とする。

表 5.3 は、表 5.2 の船型別要目表をもとにそれぞれの船の浸水表面積を、 $C \cdot \sqrt{\nabla} \cdot L$  の式で計算したものである。C は  $B/d$ 、 $C_p$ 、 $10^3 \cdot \nabla / L^3$  (B: 幅、d: 喫水、 $C_p$ : 柱形係数、L: 水線間長、 $\nabla$ : 排水容積) によって決定される係数<sup>(29)</sup><sup>(30)</sup>であり、ここでは 2.52 を使用した。

メガシップの浸水表面積 (排水容積に対する) は、中型船よりも大幅に広いものではなく、ドラフトも 2m 程度の差異があり長さも 100m 程度異なるが、その差は然程大きくないことがわかる。

#### 5.4.3.2 生物の付着による摩擦抵抗の増加

図 5.4 に海洋付着生物の各船型に対する初期付着量を示す。初期付着量の計算は次のように行った。まず現地観測期間の内の 2 ヶ月間に付着した生物の個体数に表 5.1 の個体重量を掛け合わせて期間内の総重量を求める。次に、表 5.3 で求めた船の浸水表面積と表 5.2 に示した Max Draft (m) までの水深ごとの付着対象面積を考慮して、実験板の付着重量とその経過月変化量のデータから船底の初基付着量を計算する。なお、図 5.4 は水深 12m を超えた付近から値が並列となっているが、その理由は、各船のドラフトが 13.3m と 15.2 m であるのに対して、観測点の水深が 11 から 12m であるため、12m 以上の付着量データは便宜的に 12m のものと同じと仮定したためである。

図 5.5 と図 5.6 に各船型の排水容積の経過月変化を示す。図 5.4 に示した初期付着重量ならびに図 5.3 示した経過月重量変化を順次掛け合わせて、各月の海洋付着生物の重量変化を計算し、それをもとに排水容積変化を計算している。

付着生物による排水容積の変化、すなわち浸水表面積の変化は、摩擦抵抗を増加させる要因となる。

表 5.2 船体要目

Ship Type	10,000TEU	5,000TEU
Loa (m)	371.5	285.5
W (m)	48.5	36.0
Max Draft (m)	15.2	13.3
DWT (tons)	129,556	66,025
Ship initial	MGS	LS

表 5.3 浸水表面積

Ships Type	S (Wetted surface area) $C \cdot \sqrt{\nabla} \cdot L$ (m <sup>2</sup> )
MGS	17,480
LS	10,940

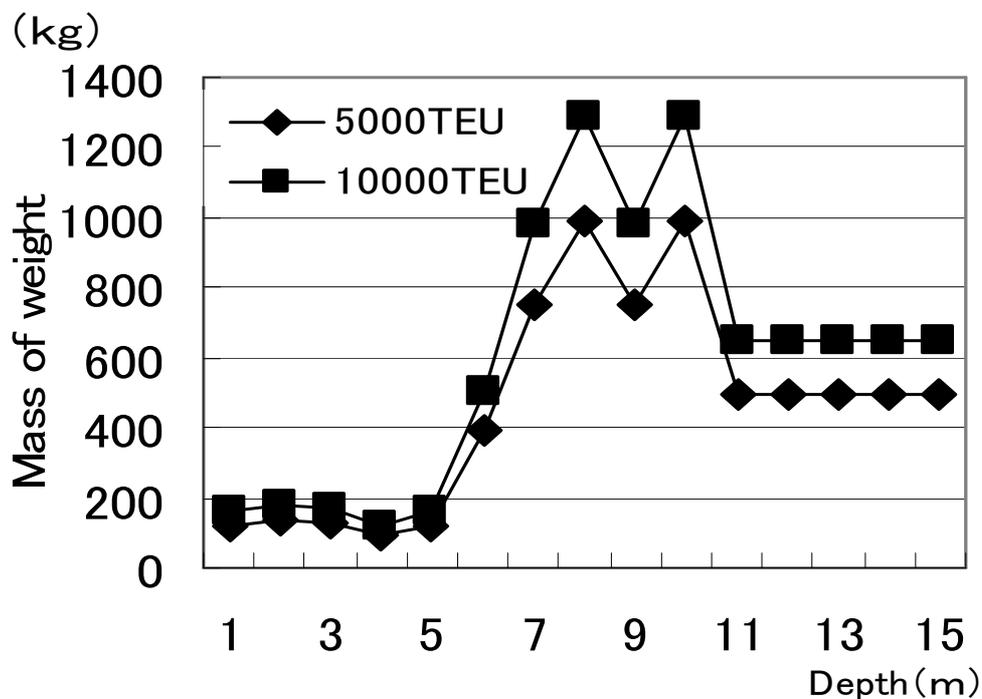


図 5.4 初期付着重量

図 5.7 と図 5.8 に各船の摩擦抵抗の変化を示す。摩擦抵抗 (R<sub>f</sub>) の計算には様々な実験的計算式が提唱されているが、一番オーソドックスと思われる式である式 (1) フルードの式を用いた<sup>(29) (30)</sup>。

$$R_f = \sigma \cdot \lambda \{ 1 + 0.0043 \cdot 15 - t \} \cdot S \cdot v^{1.852} \dots \dots \dots (1)$$

なお、式中、 $\sigma$  : 流体比重、 $\lambda$  : 摩擦抵抗係数 =  $0.1392 + 0.258 / (2.68 + L)$ 、 $t$  : 流体温度 (°C)、 $S$  : 浸水表面積 (m<sup>2</sup>)、 $v$  : 速度 (m/s) である。

計算の条件は、 $\sigma = 1.025$ 、 $\lambda$  の計算において中型船(5,000TEU)は  $L = 285.2\text{m}$  でメガシップ(10,000TEU)は  $L = 371.5\text{m}$ 、 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $S$  : 浸水表面積は  $C \cdot \sqrt{\nabla} \cdot L$  ( $C = 2.25$ ) とし、速力  $v = 22.5$  ノットとして計算した。

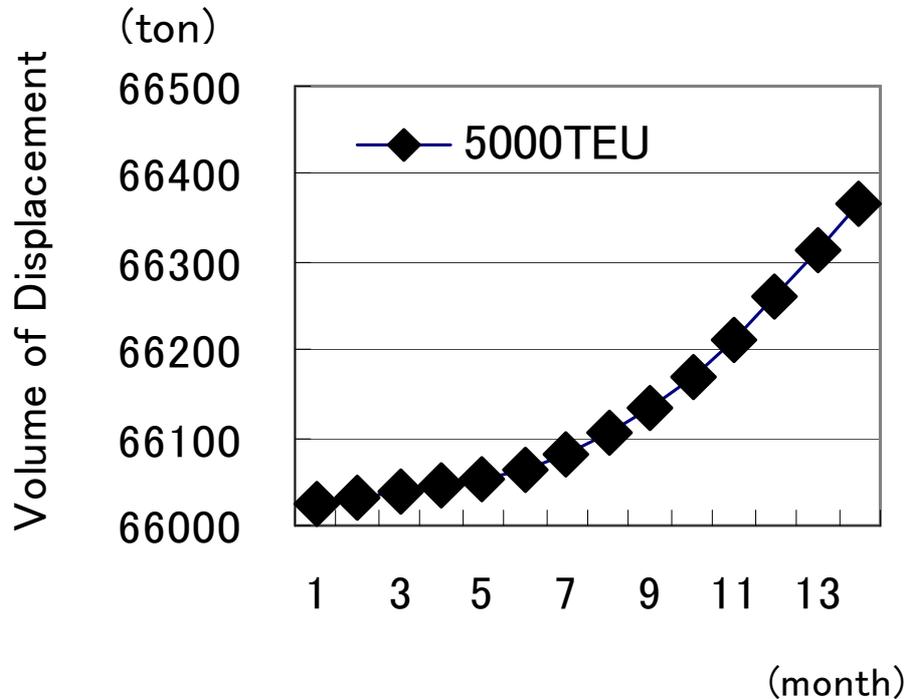


図 5.5 排水容積の変化(5,000TEU)

それぞれの摩擦抵抗は排水容積の変化とともに経過月的になだらかに変化している。海洋付着生物の付着個体数、付着個体重量、その経過月変化、排水容積の経過月変化、ならびに摩擦抵抗の経過月変化の諸計算には、統計解析ソフト J M P V e r . 8 を用いた。

## 5.5 配船計画

### 5.5.1 コンテナ船の配船

費用分析の対象船は、先に述べた2つの船型とした。配船する航路はアジア-北米航路で、図 5.7 の様に、両地域それぞれ1港のみ寄港する、いわゆる2港間航路を想定する。この航路では、往復航それぞれで、1週間に10,000TEUのコンテナ輸送需要があると仮定する。

この航路で、それぞれの船は最低週1回配船する。メガシップの場合、1回の寄港で1週間分の輸送需要を運べるので、週1回の寄港となる。1航海日数を42日(30日航海+12日停泊)とすると、1年365日では、 $365/42=8.7$ 航海を1隻が行うことになる。また週1回寄港なので、 $42/7=6$ となつて、6隻配船する必要がある。

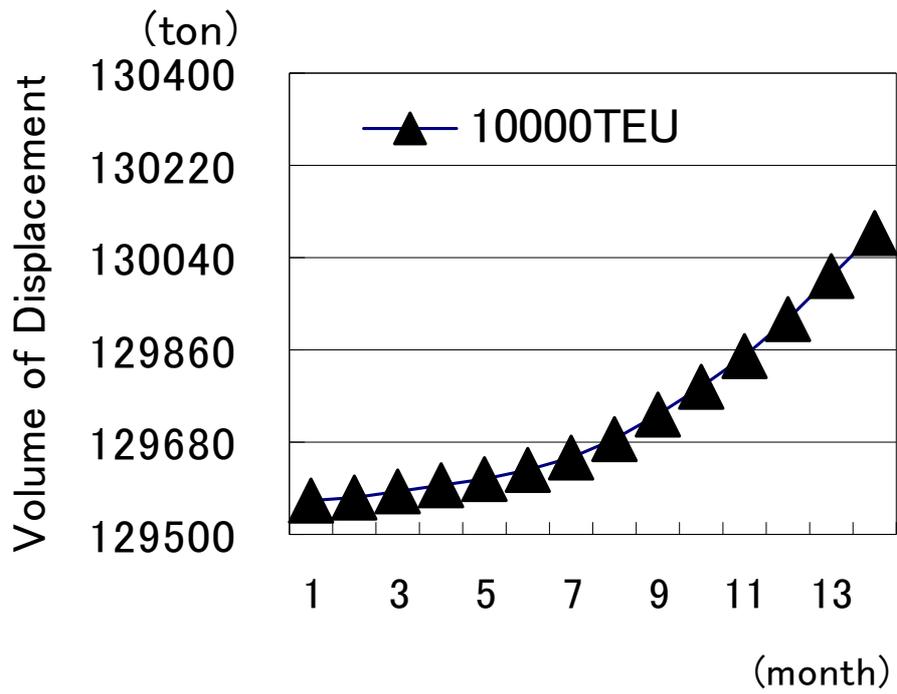


図 5.6 排水容積の変化(10,000TEU)

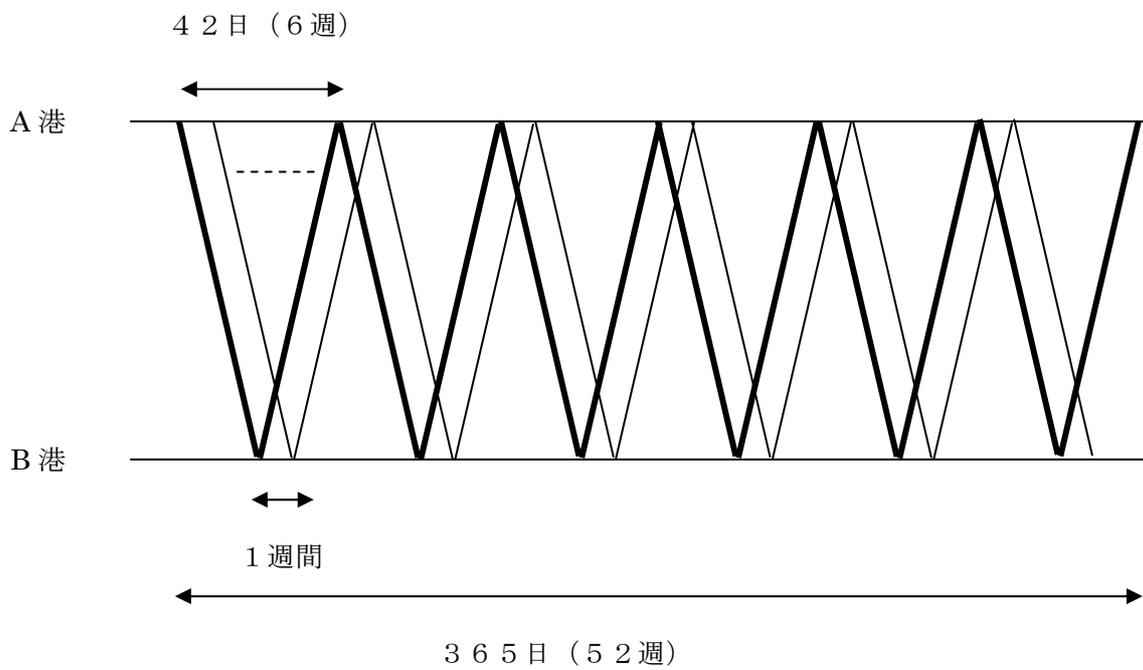


図 5.7 配船計画

一方、中型船は1週間の輸送需要 10,000TEU を運ぶには週2回配船する必要がある。この場合、1隻の荷役量が半分になるので、停泊日数もメガシップの半分になる。必要隻数を整数にするため、速力をメガシップより若干上げて、1航海日数を35日（29日航海+6日停泊）とする。また、この航海日数で週1回寄港するには  $35/7=5$  となるが、週2回寄港なので、その倍の10隻配船する必要がある。

以上のように、メガシップでは6隻、中型船では10隻配船するということで、1年間の船費を計算し、これら2つの船型での船費の比較を行う。

両者は積載量としては2倍、配船船舶としては3:5の比率となるわけであるが、1TEUあたりのコストはその他の船費もさることながら、大型化したために増加する海洋付着生

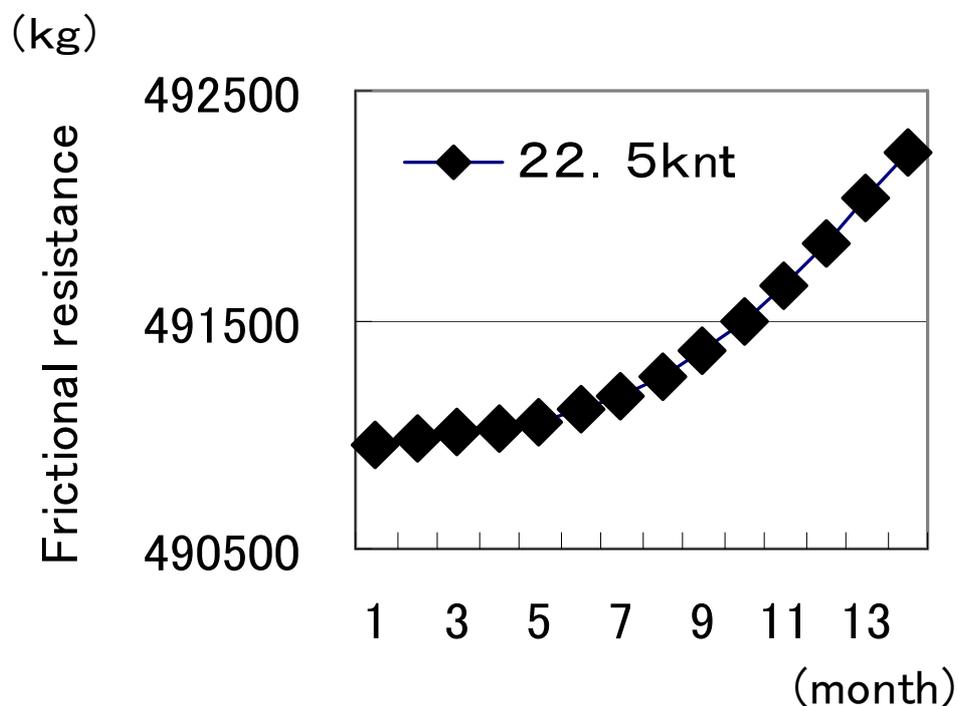


図 5.8 摩擦抵抗 (5,000TEU)

物による摩擦抵抗の増加による FUEL 等の増加も加味しなければならない。

### 5.5.2 各船の総費用

船価は、中型船が US\$60 億、メガシップが US\$94 億とし、これらの減価償却費を船の耐用年数を 20 年、残存価格 10% として下記の式により求める。

$$\text{減価償却費} = (1 - 0.1) \times \text{船価} / 20 \dots\dots\dots (2)$$

表 5.4 は、先述した寄港条件と航海条件で計算した新造時の年間船費（含む船価の減

価償却費)である<sup>(31)</sup>。なお、この費用はメガシップでは6隻分、中型船では10隻分の合計費用である。クルーはシングルクルーとし、メンテナンスに生物付着のアテンドは含まれない。またFuelはUS\$110/tonneを基準として計算してある。また巡航速度は22.5knotを基本としており、中型船では運行中120tpd、港停泊中では4tpdとし、メガシップにおいては運行中180tpd、港停泊中6tpdとして計算している。この表から、新造時の計画では約470万ドル程度メガシップが有益であることがわかる。

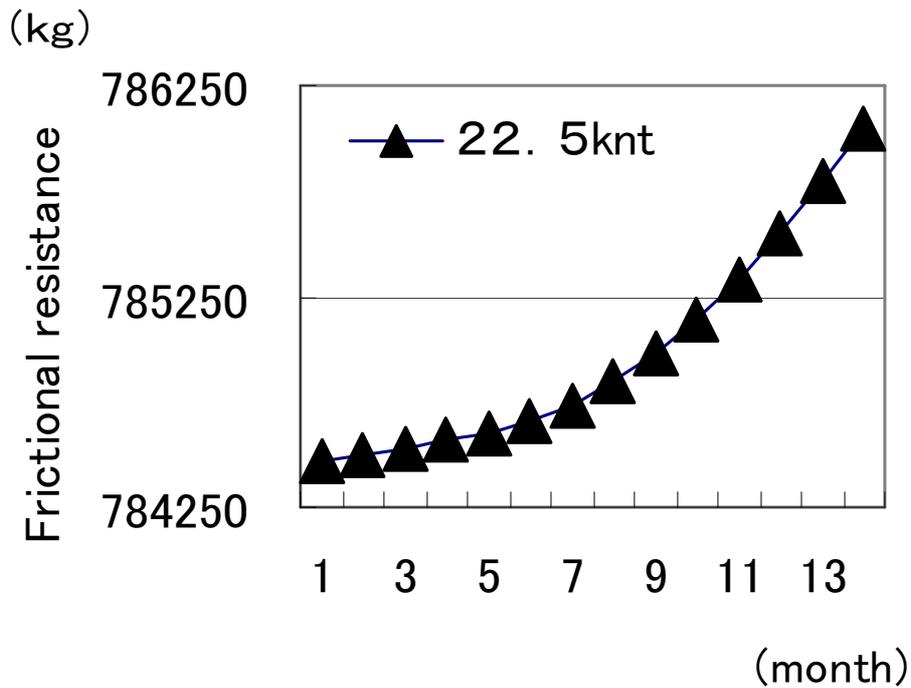


図 5.9 摩擦抵抗 (10,000TEU)

表 5.5 は、船の就航後1年が経過する間に生物が付着し、その状態での摩擦抵抗を加味してFuelの計算を行った場合の船費である。図 5.7 と図 5.8 に示した摩擦抵抗の40%程度がそのままFuelの増大に影響すると仮定して算出している<sup>(30)</sup>。

この結果、1年後の船費においては、約US\$250万程度メガシップが有利であることがわかる。依然として、コスト上メガシップは有利であるが、そのスケールメリットは大幅に減少している。

表 5.6 は、海洋付着生物の付着防止剤で汚損対策を施した場合における就航1年後の船費である。当該塗料は抗菌剤担持型の無公害塗料添加剤であり<sup>(32)</sup>、添加後、80%の防汚効果を得ることを想定している。費用は新造時の浸水面積に比例した価格となっている。なお、LSはMGSよりも1隻の年間航海日数(停泊日数を除く)が多く、また投入隻数も多いことから、LSの添加剤の総量がMGSの7倍程度になると仮定し、同時に相当の浸水表面積に比例する値とした。また、当該添加剤を添加することによりFuelの費用も

その分減少するため、新造時からの汚損による費用増加分の 80%をマイナスして計算している。

付着防止費用を考慮した場合の総費用は、塗料添加剤の価格とそれに伴う Fuel の減少を総合している。この表から、約 1350 万ドル程度メガシップが有利であることがわかる。

このように、メガシップは新造時では、中型船よりも 10%ほど費用が低廉である。ところが、就航後 1 年を経過して船底が汚損した場合、その差はわずか 5%にしかない。

しかし、付着防止対策をした場合、その差は新造時よりも 2 倍に開いて、25%にもなることが明らかになった。

表 5. 4 1 年間の構成コスト (US\$, 000) (新造時)

Cost factor	L S (10)	MGS(6)
Manning	1, 417	850
Repair and maintenance	1, 605	1, 150
Insurance	1, 500	1, 700
Stores and lubes	458	350
Administration	292	175
Fuel	7, 050	5, 923
Port charge	3, 958	3, 000
Depreciation	27, 000	25, 380
Total costs	43, 280	38, 528

表 5. 5 1 年間の構成コスト (US\$, 000) (推進後一年間経過後)

Cost factor	L S (10)	MGS(6)
Manning	1, 417	850
Repair and maintenance	1, 605	1, 150
Insurance	1, 500	1, 700
Stores and lubes	458	350
Administration	292	175
Fuel	11, 050	12, 173
Port charge	3, 958	3, 000
Depreciation	27, 000	25, 380
Total costs	47, 280	44, 778

表 5. 6 1年間の構成コスト(US\$, 000)  
(防汚塗料添加後、一年間経過した場合)

Cost Sector	L S (10)	MGS (6)
Manning	1, 417	850
Repair and maintenance	1, 605	1, 150
Insurance	1, 500	1, 700
Stores and lubes	458	350
Administration	292	175
Fuel	7, 850	7, 173
Port charge	3, 958	3, 000
Depreciation	27, 000	25, 380
Paint Containing	10, 940	1, 748
Total costs	55, 020	41, 526

## 5.6 おわりに

本章では、10,000TEU 積載船(メガシップ) 6隻と 5,000TEU 積載船(中型船) 10隻を配船する場合での1年間の船費を計算し、両船型の費用上のスケールメリットの比較を行った。この計算では、新造時、一連の付着生物研究と防汚担持剤の開発を通じ、1年後の船底汚損時、ならびに1年後の防汚時の3ケースについて検討した。メガシップは中型船よりも新造時では有利であるが、1年後の汚損状態ではその優位性はわずかであることが明らかになった。しかし防汚時では、1年後は新造時よりも優位性がさらに高くなることが分かった。このようなことから、防汚対策はどのような船でも効果はあるが、特にスケールメリットを発揮するメガシップでは極めて重要であることが分かった。そして、メガシップと中型船の両者の選択では、防汚時の効果が非常に影響することが明らかになった。

現在、先に述べたマークスラインは韓国の大宇造船に18,000TEU型コンテナ船10隻を発注したという。したがって大型コンテナ船の船底汚損に関するコスト費用分析の検討は今後益々重要になってくる。

この18000TEUのメガコンテナ船に対しても今回の様なコスト費用分析をおこなってみて、どのあたりがメガコンテナ船の運航最適値であるのかを検討することも必要であろう。

参考文献(世界のコンテナ船の超大型化5.1節～5.3節)

- (1) Eva-Maria BUSCHetal.:TheDrewryAnnualContainer Market Review and Forecast 2005/2006, DrewryShippngConsultantsLtd・, 2005. (EmmaMaersk, Wikipedia, [http://en・Wikipedia・Org/wiki/Emma\\_\\_Maersk](http://en・Wikipedia・Org/wiki/Emma__Maersk))
- (2) BentMikkelsen” EmmaMaersk” –theworld’ s largest, The Scandinavian Shipping Gazette, 2006.
- (3) AkioIMAIand Stratos PAPANIMITRIOU:A Containerized Liner Routlngin EasternAsia, InfrastruCture Plannng Review, No・14, pp. 843–850, 1997.
- (4) 今井昭夫:小山先生の「コンテナ輸送の基本モデル」に対する感想, NAVIGATION, 第144号, pp. 63–69, 2000・
- (5) 鹿島茂・小山先生の論文についての感想, NAVIGATION, 第144号, PP. 69–70, 2000.
- (6) 黒川久幸・需要の把握とサービス水準の設定, NAVIGATION, 第144号, p. 70, 2000.
- (7) 小山健夫・誌上討論への回答, NAVIGATION, 第144号, pp. 71–76, 2000.
- (8) AkioIMAI, Etsuko NISHIMURA, Stratos PAPANIMITRIOU and Miaq] 1a LIU : The Economic Viability ofContainer Mega-Ships, Transportation Research Part-E, VI) 1・42, pp. 21–41, 2006.
- (9) UNCTAD : Review of Maritime Transport, UnitedNations, 2001.
- (10) 今井昭夫・超大型船(メガシップ)の実用可能性, NAVIGATION, 第159号, PP. 3–4, 2004.

参考文献(海洋付着生物の付着防止を考慮したコンテナ船費用分析 5.4 節)

- (1) 花房元顕, 今井昭夫, 海洋付着生物の付着防止効果を考慮したコンテナ船費用分析, 日本航海学会論文集第 124 号, pp. 249-255, 2011.
- (2) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況. 東京商船大学研究報告 自然科学. 9, pp. 45-54, 1958.
- (3) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第2報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 10, pp. 85-90. 1959.
- (4) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第3報) 東京商船大学研究報告自然科学. 18, pp. 1-14, 1967.
- (5) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第4報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 23, pp. 21-51, 1972.
- (6) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第5報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 26, pp. 125-144, 1975.
- (7) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第6報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 29, pp. 49-76, 1979.
- (8) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第7報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 34, pp. 183-203, 1983.
- (9) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況(第8報). 東京商船大学研究報告 自然科学.

学. 34, 161-182, 1983.

(10) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況 (第9報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 41, pp. 43-79, 1990.

(11) 宮嶋時三他, 折戸湾における生物付着状況 (第10報). 東京商船大学研究報告 自然科学. 48, pp. 1-13, 1998.

(12) 花房元顕: 基質の表面粗度及び水深と海洋付着生物の付着傾向-藻類を中心とした折戸湾における調査実験結-, NAVIGATION, 第144号 pp. 77-82, 2000.

(13) 花房元顕・今本健二郎, 小型舟艇への海洋微生物付着防止に関する研究. 日本航海学会運用研究会資料, 1994.

(14) 花房元顕・小田部宏輝・宮本英夫, 海洋付着生物の付着傾向に関する一考察. 日本航海学会運用研究会資料, 1997.

(15) 花房元顕, 海洋付着生物の付着正傾向に関する一考察-I. -付着個体数からみた基質の色相・明度との相関-. NAVIGATION. 第139号, pp. 90-101, 1997.

(16) 花房元顕, 海洋付着生物の付着正傾向に関する一考察-II. -自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列の関係-. NAVIGATION. 第140号, pp. 35-45, 1997.

(17) 花房元顕, 海洋付着生物の付着正傾向に関する一考察-III. -自然光線と色相・明度をパラメタとした付着量序列発生の追証実験-. NAVIGATION. 第141号, pp. 109-119, 1997.

(18) 花房元顕, 基質の材質と海洋付着生物の付着傾向-折戸湾奥における調査実験結果-. NAVIGATION. 第142号, pp. 47-53, 1997.

(19) 花房元顕, 基質の表面粗度及び水深と海洋付着生物の付着傾向-藻類を中心とした折戸湾奥における調査研-. NAVIGATION. 第144号, pp. 77-82, 1998.

(20) 花房元顕, 海洋付着生物の一般的生態. NAVIGATION. 第154号, pp. 20-30, 2000.

(21) 花房元顕, 無機抗菌剤処理基質への海洋付着生物の付着について. NAVIGATION. 第162号, pp. 38-46, 2005.

(22) 松田義弘, 清水港における水温成層の測定--予備的解析 (須田皖次名誉教授追悼号) 東海大学紀要 (海洋学部) (10), pp. 1-15, 1997.

(23) 小坂昌也, 清水港におけるフジツボ類の分布生態について. 海洋科学 9 (4) pp. 18-24, 1977.

(24) 夏原由博, チョウ群集調査データの解析法. 昆虫と自然. 31 (14) pp. 18-24, 38-46, 1996.

(25) M. Morisita, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E. 3, pp. 65-80, 1959.

(26) 森下正明, 京都近郊における蝶の季節分布, 森下・吉良 (編). 今西錦司博士還暦記念論文集. 自然. 中央公論社. pp. 95-132, 1967.

(27) 改訂 Shipbuilding Handbook, Vol. 1, 日本造船学会, コロナ社, pp. 602, 1972.

(28) M. P. Schultz, J. A. Bendick, E. R. Holm, W. M. Hetel: Economic impact of biofouling on a

navalsurface ship, Biofouling, Vol. 27, No. 1. January, pp87-98, 2011.

(29) 改訂 Shipbuilding Handbook, Vol. 1, 日本造船学会, コロナ社, pp. 602, 1972.

(30) 大串雅信, 理論船舶工学 (下巻), 海文堂, pp. 106, 1963.

(31) Drewry Report, Post-Panamax, the Next Generation, Drewry Shipping Consultants Ltd, pp. 107, 109, 2005.

(32) 花房元顕, 海洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムの研究-抗菌剤担持剤添加塗料膜による防汚効果の確認-. 日本船舶海洋工学会論文集第9号, pp. 22-27, 2009.

## 第6章 結 論

本研究では、大きく5つに分けて研究を行なった。

第1章は研究の目的、序説でも述べたとおり、基本的な「海洋付着生物の生態に関する研究」である。

第2章では、まず、その生態的特長について様々な観点から研究した。第一に「基質の色相・明度と海洋付着生物の生態特性」についてである。

「基質」（海洋付着生物の被付着体）と海洋付着生物の幼生との関連に関しては、長い間取沙汰されてきたが、ここではとりわけ、海洋付着生物の幼生と基質の色相（照度・明度・彩度）と幼生の選択性について行なった実験結果について述べた。結果的に基質の色相と海洋付着生物の付着量には大いなる相関が存在し、特に、白－黒の色相・明度に関しては顕著であった。これまでは、「色相」に関しては、「赤」、「緑」、「青」など、本来色相が持っている「明度」、「照度」、「彩度」を考慮に入れた研究はなされておらず、本研究で、それらに相関があることを証明した。同時に、海洋付着生物は種類によっては、基質を選択しているというCrispの感覚的観察を裏付ける結果となった。

また、「自然光線と基質の色相・明度と海洋付着生物の生態との関係序列の関係」について行なった実験結果を考察した。基質の色相・明度との関連を明らかとした後、「色」による付着傾向の変化は自然光線が原因しているという海洋付着生物の基質の選択能力を否定する意見があったため、これを証明するためにおこなった実験結果について述べた。

また、基質の表面粗度と水深をパラメータとした実験的研究の紹介や、基質の材質と付着量に関する実験的研究の紹介もおこなうことにより海洋付着生物の生態と付着傾向に関して明らかにした。

第3章は「無機抗菌剤を用いた海洋構造物防汚システムの開発」について論述した。この章では前章、前々章で述べた海洋付着生物の付着の生態的特性を考慮した上で、海洋付着生物の付着防止の具体的な方策について確認する実験をおこなった。

最初に「無機抗菌剤による防汚の可能性の検討」について述べた。2008年にはTBT塗料の船体残留も許されなくなったため、これに替わる塗料もしくはその他の方法が必要であることも手伝って、無機物質による防汚の可能性について検討した実験結果について述べた。有機物質はその大小はあるものの少なからず毒性があるといっても過言ではない。そのため、ここでは無機物質を用いた防汚形態をとることを目標とした。一般的にみて無機物質による防汚はその効果が薄く、また、持続性も弱いことから、比較的考慮されては来なかった。しかしながら、昨今の海洋汚染防止や地球温暖化防止など、自然環境、海洋環境に考慮した防汚塗料の検討は益々必要不可欠となってきた。ここでは、銀（銀イオン）にスポットを当てて研究を行った。銀（銀イオン）は細菌の発生を防ぎ、増殖を抑える効果があることが陸上実験で証明されていたからである<sup>(1)</sup>。先ず、銀および銀イオ

ンに着目し、それらが細菌（黄色ブドウ球菌、大腸菌）に作用することを確認した。抗菌剤としての役割が、海洋付着生物の付着に必要な先行細菌の増殖防止に効果があるものと考えこれを如何に海中に投入静置するかを思案した。

前述の可能性の検討後、海洋付着生物の付着防止の可能性について検討するため、無機抗菌剤添加塗膜への海洋付着生物の付着に関する予備実験を行い、その結果について議論した。無機抗菌剤（銀イオン）を適当な物質へ担持させる実験を行った。結果的には多孔質のセラミック同等物質に担持させ、それをペイントに混入し、抗菌剤担持剤の量によって付着量がどのように変化するかを確認した。当然ではあるが、担持量の多い方が付着量は減少したが、前述の様に、その効果の持続性に関しては憂いが残る結果となった。

最後に、洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムについて述べた。前述の無機抗菌担持剤を用いた海洋付着生物の付着防止を観察するためにおこなった実験結果について述べた。担持剤に関しては該当章に記述したとおりであるが、抗菌剤が同一であっても担持剤が異なると、その効果と持続性は大幅に伸びることが分かった。本研究では、40日までの静置実験結果までしか示していないが、担持量の変化と塗料そのものも変化させることにより。実務レベルでの運用も可能であると考えられる。第5章で計算するコンテナ船の費用分析では、当該無機抗菌剤添加剤を防汚剤として起用する。

第4章では、静岡県清水港においておこなった、海洋付着生物生態分布実験の観測結果について述べた。これは、第5章で論述するコンテナ船に対して付着すると考えられる海洋付着生物の付着量と付着種類を計算に用いるデータの観測である。観測点は同港に45点設け、各観測点の水深毎の付着量や付着種いわゆる分布生態について論述した。観測は16年の長期にわたることと、今回第5章で使用目的としている初期付着の時期を夏季と設定したため、期間としては7月から9月の2ヶ月間のデータについて各観測点の生態、分布について整理した。このデータは第5章のコンテナ船の費用分析において船底に付着する海洋付着生物の種類別個体数の算出に利用した。同時に同地を同港に向かって流入する巴川に関しても同様な観測をおこない解説した。

第5章では「世界のコンテナ船の運用コストに分析」に関する研究について論述した。

第一に「海上コンテナ輸送の動向」について述べた。また、貨物輸送を大きく変化させた海上輸送システムのコンテナ船について述べ、特に、「コンテナ船の大型化」について述べた。現在、コンテナ輸送は、約40年を経過する海上輸送システムの一つである。その陸上支援や荷役施設、それらのシステムはほぼ完成の域に入っているといても過言ではない。しかしながら、一般的な海上輸送システムであるがゆえに、いまだに大型化していることも事実である。数年前まで6,000TEUのコンテナ船が大型船の上限であったが、現在は12,000TEUがその上限であり、今また、18,000TEUに達するポストスーパーパナボックスが現場に投入されようとしている。このようにコンテナ船の大型化は止まるところを知らない。

第2に「メガシップの就航可能性」について論述した。ここでは、社船の競合モデルによる就航可能性の検討や、船底汚損への考慮について述べた。

第3に「海洋付着生物の付着防止を考慮したコンテナ船の費用分析」について述べた。第2章で明らかにした海洋付着生物の生態とそれを加味した上で、第3章で作製した無機抗菌剤塗料添加剤を考慮し、コンテナ輸送船底への海洋付着生物の付着について述べた。通常、コンテナ船の費用分析は、新造船の状態で諸計算がなされる。しかも、考慮が必要と考えられる諸経費を積算的に加減してそれらを決定している場合が多い。

この章では、静岡県清水港において16年間にわたって観測した海洋付着生物の生物付着の量と傾向を観測する実験（観測箇所45箇所のデータうち、今回必要と考えられる10箇所のデータを用いた）を行い、計算対象となるコンテナ船底への海洋付着生物の付着量を計算した。また、その経過月変化についても計算し、当該コンテナ船の船体抵抗の増加量に関する計算した。当然のことながら、月が経過するにつれて船体抵抗の値は増加していき、そのことは当該コンテナ船の燃料消費量の増加へとつながり、ひいては費用の増加へとつながることを計算した。万が一、防汚を施していないとした場合、コンテナ船のコストは非常に増加し、大型のコンテナ船の中型船のコンテナ船に対するスケールメリットは大幅に減少することが分かった。

また、第2章と第3章で明らかにした海洋付着生物の生態とそれを加味した上で作製した無機抗菌剤塗料添加剤を考慮し、実際のコンテナ船の運航費用のコスト分析について計算した結果について述べた。無機抗菌剤添加剤を2つのコンテナ船に投入した場合、（防汚効果が80%得られる様に投入した）燃料消費量の増加量は2船ともに減少するが、中型のコンテナ船は防汚に大型船の約7倍のコストがかかるため、防汚による大型のコンテナ船のスケールメリットは大いにあがることが分かった。防汚はどの船舶にも有効かつ大切であるが、特に本論で対象としたコンテナ船に関しては非常に有効かつ有意義であることが分かった。

## まとめ

本一連の研究は1) 海洋付着生物の生態的特長を様々な方法であきらかにした。それを踏まえたうえで、どのようにすれば海洋環境を汚染させずに毒性を持たない防汚方法が無いかを2) 無機抗菌剤を用いて実験的に確認した。3) 清水港湾口部とそこに流入する最大の河川巴川における海洋付着生物の生態分布について明らかにした。以上の結果を用いて、日々大型化している海上輸送システムの一部であるコンテナ船について、海洋付着生物の付着防止効果が運行効率にどのように作用するかを明らかにした。

結果として、防汚は他の船舶のみならず大型化するコンテナ船に関してはその運行効率に大きな役割を果たすことがわかった。

本論文は、他の船舶もそうであるが、今後も大型化を続けていくであろうコンテナ船の運行効率の確認や、何処までの大きさであれば、海洋付着生物の防汚の面から見て有効な海上輸送システムであるのかを確認するための手法を提示したといえる。船舶は無限に大

型化を続けるわけではなく、いずれかの地点で、大きさから見た最適地（大きさ）に落ち着くと思われるが、海洋付着生物に対する防汚の観点からそれを判断する一助となるであろう。

## 謝 辞

本論を執筆するにあたり、神戸大学大学院今井昭夫教授には全面的なかつ絶大なご協力をいただきました。また、同大学院 三村治夫教授、福士恵一教授、小林英一教授には同じく多大なるご協力、ご助言をいただきましたことを深く御礼申し上げます。

### 第1章

本章を執筆するにあたり、東海大学海洋学部諸兄には諸事ご協力いただきました。心より感謝いたします。

### 第2章

本章を執筆するにあたり、常に暖かい助言と費用の面で多大なるご協力を頂きました東海大学海洋学部航海工学科教授音成秀雄先生をはじめとし、実験やその他の作業で協力して頂いた航海工学科の学生諸君、ならびに海洋学部体育会端艇部の諸君には心より深く感謝を致します。

### 第3章

本章を執筆するにあたり、実験にご協力いただきました周南市港湾事務局、徳山海上保安本部、山口県漁業協同組合下松支店、有限会社たかいし代表取締役社長高石洋氏には心より深く感謝を致します。担持剤の開発に当って、既存のサンプルや資料を提供していただきました新東工業株式会社 今川直樹氏、株式会社グリーンケミー専務取締役 沢本 哲氏、同顧問 広島栄一氏、ペトロ・トレードインターナショナル株式会社取締役総務部長成田 孝氏、同エナジートレーディングマネージャー向井 潤氏、財団法人石田財団理事長石田泰一氏、株式会社石田事務所技術顧問 笠原直哉氏には、心より深く感謝を致します。また、本研究は、平成17年に採択された「海洋環境を考慮した海洋構造物防汚システムの研究」における造船学術研究推進機構の委託研究費により行ったことを付記いたします。

### 第4章

本章の実験、執筆にあたりましては、東京大学大学院の岡本 研先生には絶大なご協力を頂きました。また、実験機材の準備や設置、実験期間中の各観測指標の観測、実験終了後の個体同定、数量検定、底径、体長測定、計測など、実験観測データの処理と実験全般について協力いただきました東海大学海洋研究所、および航海工学科山成貴之君、神田聡子君、小笠原賢一君には心から感謝いたします。本章を執筆するにあたり、東海大学海洋学部諸兄には諸事ご協力いただきました。心より感謝いたします。

また、常に暖かい助言と費用の面で多大なるご協力を頂きました東海大学海洋学部航海工学科教授音成秀雄先生をはじめとし、実験やその他の作業で協力して頂いた同学科矢部孝治君、柿崎弘雄君、河村信也君、徳田道之君、ならびに海洋学部体育会端艇部の諸君には心より深く感謝を致します。

### 第5章

本章を執筆するにあたり、指導教員である神戸大学大学院教授、今井昭夫先生には、終始御協力、援助を頂きました。特にコンテナ船の大型化に関する指導、コスト費用分析

に關しましては多大なるご指導をいただきました。時として暖かい言葉を掛けて頂きまして有難うございました。終始御協力、援助を頂きました。