

PS-26 フジツボ類の付着と防汚剤の溶出速度に関する実船調査結果

海洋開発系 * 小野正夫, 構造基盤技術系 菅澤忍、櫻井昭男
 環境・動力系 亀山道弘、宮田修、柴田俊明、上田浩一
 水中工学センター 今里元信

1. はじめに

船体へのフジツボ類の付着や航海中の生存に関する評価手法を開発するため、実船のフジツボ類の付着状況の観察と防汚塗装からの防汚剤（銅）の海水温に対する溶出速度の計測を行った。付着したフジツボ類の高水温に対する耐性に基づくフジツボ類の生存可能性と防汚塗膜からの溶出速度に対するフジツボ類（キブリス幼生）の付着に関する考察結果を報告する。

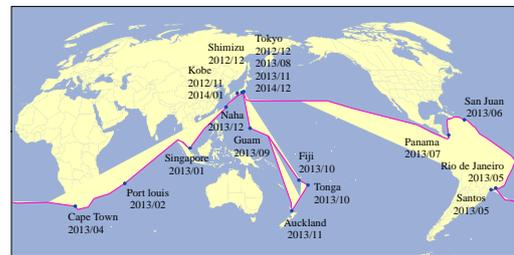


図-1 対象船舶の航海概要（年月は入港時）

2. 実船調査

2.1 航海の概要

調査対象船の航海の概要図を図-1に示す。調査対象船は2012年11月に日本のドックを出渠し、喜望峰回りで世界一周して日本に寄港した後、ニュージーランドへ往復し、2014年1月に日本のドックに入渠した。航海時間約14ヶ月、航走率79%、航走時の平均速度は8.9ノットで、船底（赤色）では亜酸化銅、また、喫水線部（青色）では亜鉛ピリチオンを主な防汚剤とする防汚塗装を2012年11月のドック時に実施した。

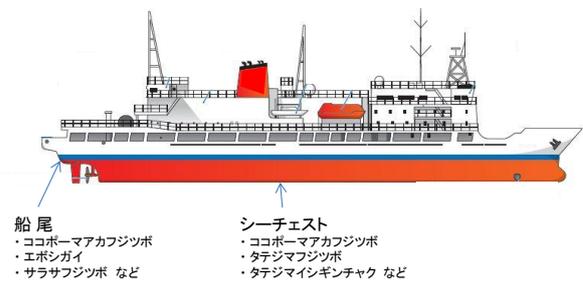


図-2 フジツボ類などの付着状況

2.2 フジツボ類の船体付着

調査対象船のフジツボ類の付着状況の調査結果を図-2に示す。調査は船がドックに入渠・ドライアップした直後に実施した。船底の大部分にフジツボ類の付着は見られなかったが、外板塗装表面の凹凸部、シーチェストや喫水線（青色）等で *Megabalanus coccopoma*（ココボーマアカフジツボ）や *Balanus amphitrite*（タテジマフジツボ）の付着が確認された。また、*Austrominius sp.*（種は未同定）は喫水線付近に付着したココボーマアカフジツボ上に付着しており、大きさは概ね5mm程度であった。（図-3参照）



図-3 付着していた *Austrominius sp.*

写真提供：倉谷うらら

3. 付着したフジツボ類の高温耐性

3.1 海水温度

調査対象船の航海記録に基づく正午位置での緯度と海水温度（毎日）を図-4に、また、海水温度の頻度分布を図-5に示す。暴露した海水温度は最低11.0℃、最高33.1℃であり、平均水温は24.7℃であった。

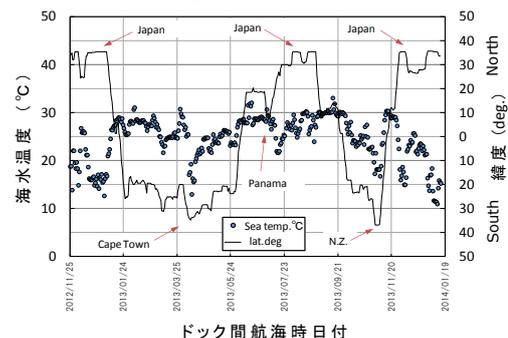


図-4 船舶の正午位置（緯度）と海水温

3.2 *Austrominius modestus* の付着

著者らが実施したココボーマアカフジツボの清水中（塩分0PSU、20℃）での生存率に関する試験（未発表）では、27時間経過後の生存率は約3%程度であった。調査対象船はパナマ運河通過に約32時間を要したため、船体付着していたココボーマアカフジツボの多く

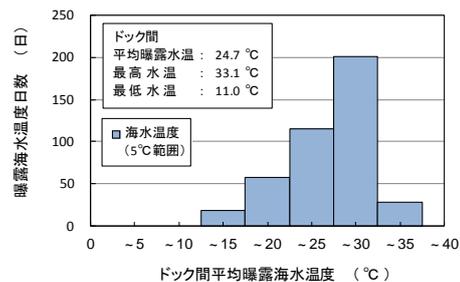


図-5 海水温度の頻度分布（2012年11月～2013年1月）

は、パナマ運河通過後に付着したと考えられる。船舶の航路、及び、*Austrominius modestus* の分布から、船体付着していた *Austrominius sp.* (種は未同定) は、オークランド港に停泊中 (停泊時間: 約 121 時間) に付着した *Austrominius modestus* と推測した。

3. 3 高温耐性と越境移動の可能性

Austrominius modestus の通常海水、32.5°Cでの半数致死温度は 30~50 時間程度¹⁾、また、約 25°C以上の海水温で生存率に影響すると考えられる²⁾。なお、船舶がオークランド出港後、赤道を越えて日本に戻るまでの暴露海水温は、30°C以上が 3 日間 (赤道付近、最高 30.4°C)、また、25~30°Cが約 13 日間であった。船舶のこのような暴露海水温に対して *Austrominius modestus* は生存し、船体付着により南半球オークランドから日本へ移入する可能性があることを示す事例と考えられる。

4. 防汚剤の溶出速度とフジツボの付着

4. 1 溶出試験

調査対象船の船底とビルジキールから採取した塗装片を対象に防汚剤 (銅) の溶出速度を計測した。試験片は採取した塗装片を図-6 のようにガラス板上で塗装片の淵をシリコン材で覆って作成した。PFA 製バット内で人工海水 (塩分 33PSU、アクアマリン) 約 500ml に試験片を 60 分間浸漬させた。試験温度は 5 条件 (約 5°C、10°C、20°C、30°C、35°C) とし、PFA 製バットを水槽に浮かべ、水槽内の水をヒーターとクーラーで加熱・冷却し、試験温度に保温した。

銅濃度の分析は、防汚剤を溶出させた試験水に対して 1/100 程度の濃硝酸を添加し、固相抽出法 (SPE) により銅を濃縮抽出し、2M 硝酸で溶出及び超純水により定容した後、原子吸光法 (フレイム法) で全銅を対象に実施した。分析結果より溶出時間や試験片表面積を考慮して防汚塗装面からの銅の溶出速度を求めた。

4. 2 溶出速度

防汚塗装片からの溶出速度の計測結果を図-7 に示す。防汚剤 (銅) の溶出速度は試験温度に比例して大きくなり、船底 (ボトム) で採取した塗装片の溶出速度は、ビルジキールで採取した塗装片よりも 50% 程度大きくなった。

4. 3 ココポーアアカフジツボの付着

ココポーアアカフジツボの船体付着は、パナマ運河通過からオークランドまでと考えられ、その間の海水温度は、17.3~33.1°C (平均 26.7°C) であった。図 6 の防汚剤の溶出速度の計測結果に基づく、船底 (赤色) での銅の溶出速度は約 30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 以上と考えられる。フジツボ等の付着防止には 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 程度以上の銅の溶出速度が必要と考えられている³⁾。凹凸等のない船底 (赤色) にココポーアアカフジツボの付着はなかったが、シーチェスト等の凹凸部では、付



図-6 溶出試験片 (船底)

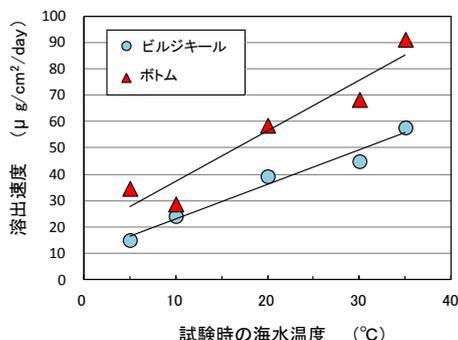


図-7 防汚剤 (銅) の溶出速度

着防止に必要な溶出速度の約 3 倍以上の防汚塗装でもココポーアアカフジツボの付着が確認された。

5. まとめ

実船の生物付着状況の調査及び防汚塗装試験片の溶出速度試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) ニュージーランド周辺にいる *Austrominius modestus* は、船体付着により赤道を越えて日本へ移入する可能性がある。
- (2) 実船の防汚塗装での銅の溶出速度は、海水温度に比例して大きくなる。フジツボ類の付着防止に有効とされる銅の溶出速度よりもかなり大きい防汚塗装でも、凹凸部等ではフジツボ類が付着する可能性がある。

謝辞

実船調査では海洋研究開発機構殿や日本海洋事業 (株) 殿から便宜を図って頂き、山口寿之殿、神谷享子殿 ((株) セシルリサーチ) にご助言等頂いた。ここに、記して関係者の方々に深く感謝の意を表す。なお、本研究は JSPS 科研費 基盤研究 (B) No. 25289326 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) B. A. Foster, Tolerance of high temperatures by barnacles, *Marine Biology* 4, 1969, pp. 326-332
- 2) Clifton Dassuncao, Temperature and Salinity Tolerances predict range expansion for two invasive marine invertebrates, *MITSG09-32*, 2009
- 3) 今井丈夫、機能性コーティング、初版 1 刷、昭和 61 年 9 月 29 日、pp. 64-65