

海洋構造物における付着生物 (第2報) 山形県由良沖の燈浮標の生物

伊藤信夫*1、梶原 武*2

1981年7月、山形県由良沖で鋼製の燈浮標の付着生物を採取し(12ヵ月間浸漬)、現存量、出現生物及び付着構造を調査した。その結果、部位別の現存量(湿重量g/100cm²)の平均値は、標体・中間浮力体・シンカーの順に201・141・11gであった。標体では吃水線上で最小、下面で最大となるが、水深0.1mから最深部(4.2m)まではすべて150g以上の値を示し、他の部位に比較して大きな値を示した。また、標体の表面積と現存量平均値から、標体全体の付着生物総湿重量を約432kgと推定した。出現生物のうち最優占種はムラサキイガイで約80%の現存量を占める。次いでサンカクフジツボ・アカフジツボなどフジツボ類が多く出現し、管棲多毛類・コケムシ類・端脚類などが少量認められた。基本的な付着構造は基盤直上で小型フジツボ類が1層を成す部分と、その上部を2~3層のムラサキイガイが被覆する部分との2つに区分され、付着層厚が3~7cmの比較的単純な層序様式であった。

ECOLOGICAL STUDIES OF MARINE FOULING ORGANISMS ON ARTIFICIAL STRUCTURE (II) BIOMASS, SPECIES COMPOSITION, AND SETTLEMENT FORMATION OF FOULING ANIMALS ON THE LIGHT BUOY OFF YURA

Nobuo Ito *3 Takeshi Kajihara *4

The biomass, species composition, and settling formation of the fouling animals on the light buoy immersed for one year in the waters off Yura of Yamagata Prefecture, the Japan Sea, were investigated in July, 1981.

The average fouling biomass (wet weight in g per 100 cm²) on the light buoy, underwater floater, and sinker is 201, 141, and 11, respectively.

*1 潜水技術部

*2 東京大学海洋研究所

*3 Manned Undersea Science and Technology Department

*4 Ocean Research Institute, University of Tokyo

For the light buoy, total fouling is about 432 kg, consisting of marine mussels (most dominant), barnacles, tubeworms, bryozoans and amphipods. And the main settling formation with a thickness of 3-7cm is the double fouling layer, comprised of barnacles and mussels.

For the underwater floater, total fouling is about 131 kg, the species composition is almost the same as the light buoy, and the double fouling layer has a thickness of 2-5 cm.

For the sinker, total fouling is about 8 kg, with a single fouling layer of small barnacles and tubeworms with a thickness of approximately 0.5 cm.

1. はじめに

海洋構造物は、海水との接触状態によってブイ型、橋脚型、魚礁型および暗渠型の4型式に大別される(梶原, 1979)。長期にわたり海水中に浸漬されるこれらの構造物には汚損生物が付着するが、実際の構造物の調査事例は少なく、型式別の付着特性を体系だてて把握するには不十分である。

そこで筆者らは、前記の4型式に属する構造物のいくつかを調査し、得られたサンプルや資料をもとに、各型式別に付着生物の特性を把握することを目的に研究を行った。第1報で浮消波堤を対象としたのに続き、今回は既往資料の少ない北部日本海沿岸海域において、燈浮標の付着生物を調査し、現存量、出現生物、付着構造などについて知見を得たので報告する。

調査した燈浮標は、浮消波堤と同様に、浮体構造物すなわちブイ型に属し、海洋科学技術センターの波力発電実験の実施海域で標識として設置使用されていたものである。

本調査は、海洋科学技術センターの経常研究“潜水を用いた浅海生物調査法の研究”の一環として実施した。調査に際し、海洋利用技術部益田善雄研究主幹はじめ同部研究員諸氏の協力を得た。ここに厚く謝意を表す。

2. 方法

燈浮標は、図1に示すように山形県鶴岡市由良地先の約3 km沖合で、水深40mの海域に設置されている。(写真1)

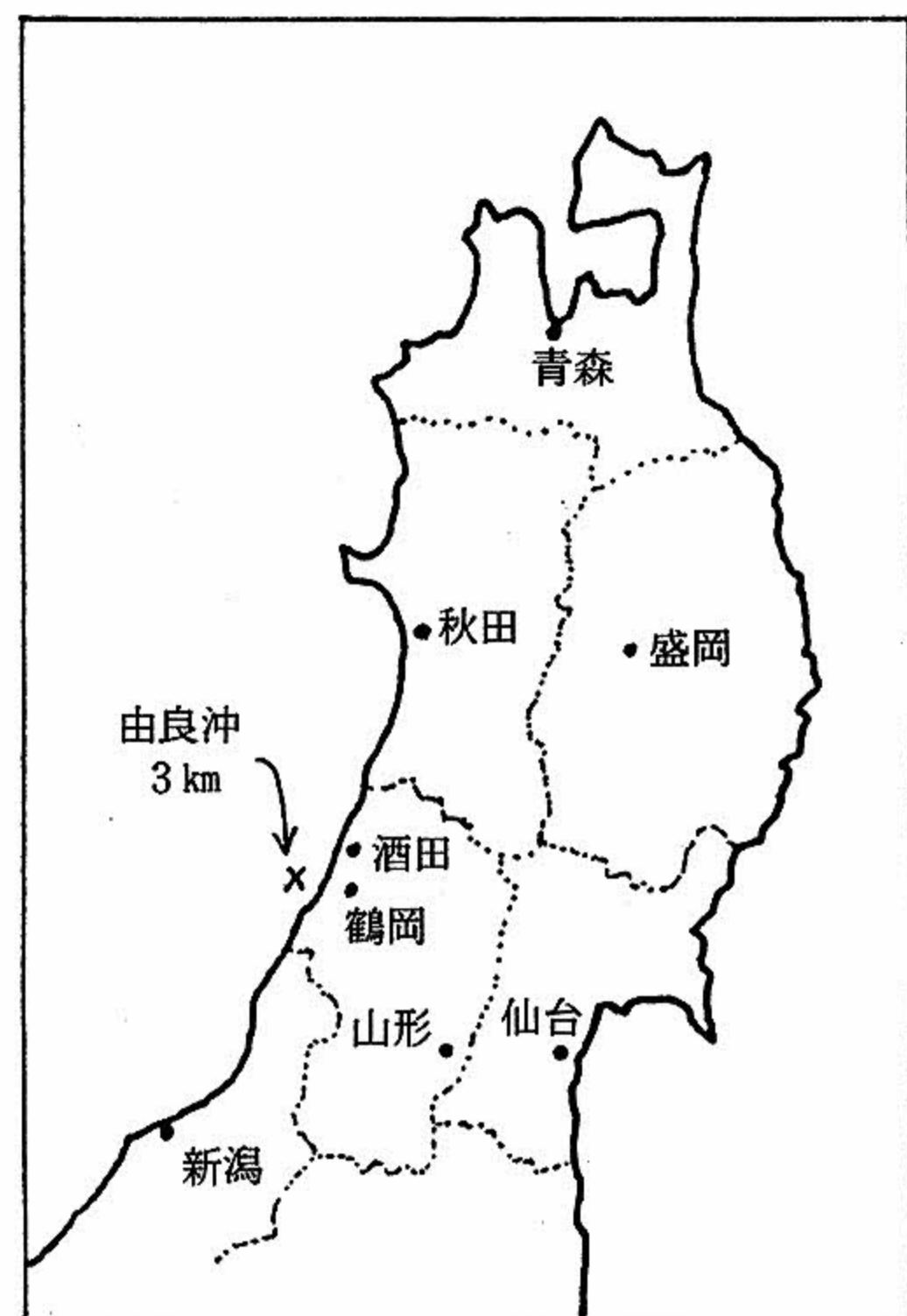


図1 調査海域

Location map of the light buoy

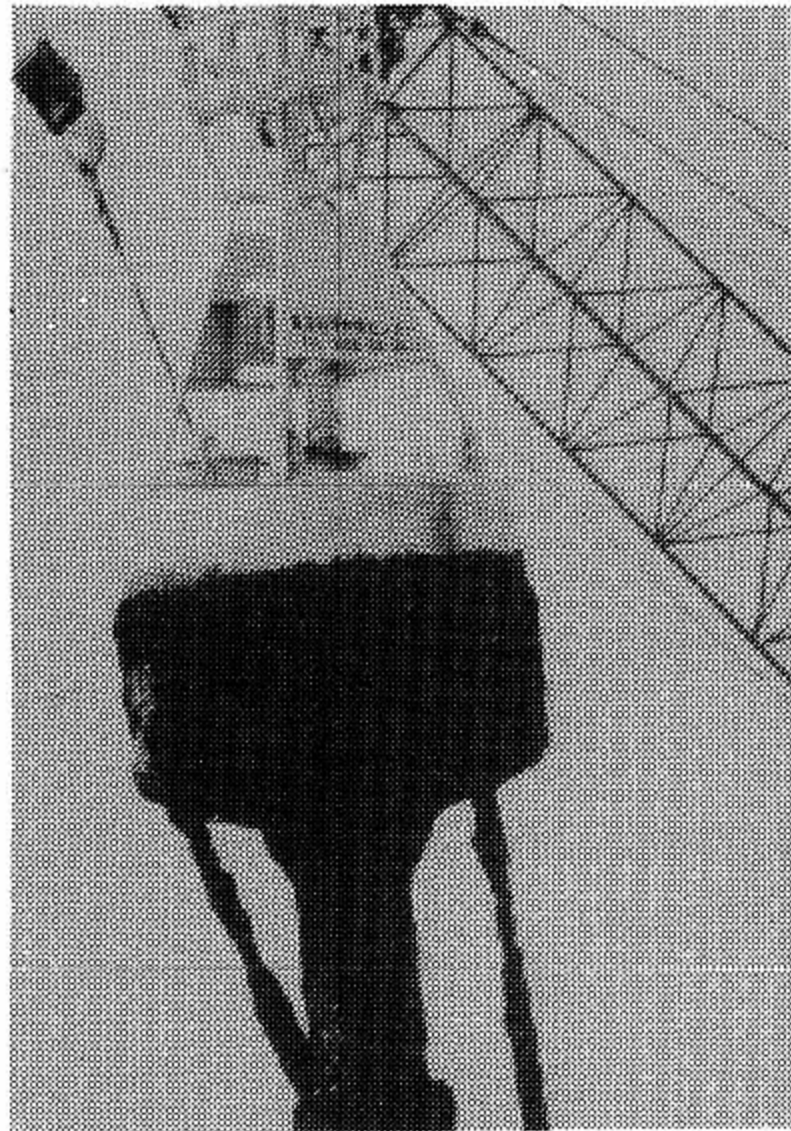


写真1 灯浮標

Light buoy

灯浮標は、図2に示すように標体、中間浮力体、シンカーおよびそれらを係留するチェーンの4構成部分より成っている。それらのうち、コンクリート製のシンカーを除き、いずれも鋼製で、標体型式名称は“T-1型灯浮標”(緑星社製)である。

1980年7月に新品の状態を設置し、12ヶ月後の1981年7月まで浸漬した構造物で、調査は整備のため作業船上に揚収した直後に実施した。浸漬期間中は、生物の付着基盤となる外側面について除去などの保守作業はなかった。

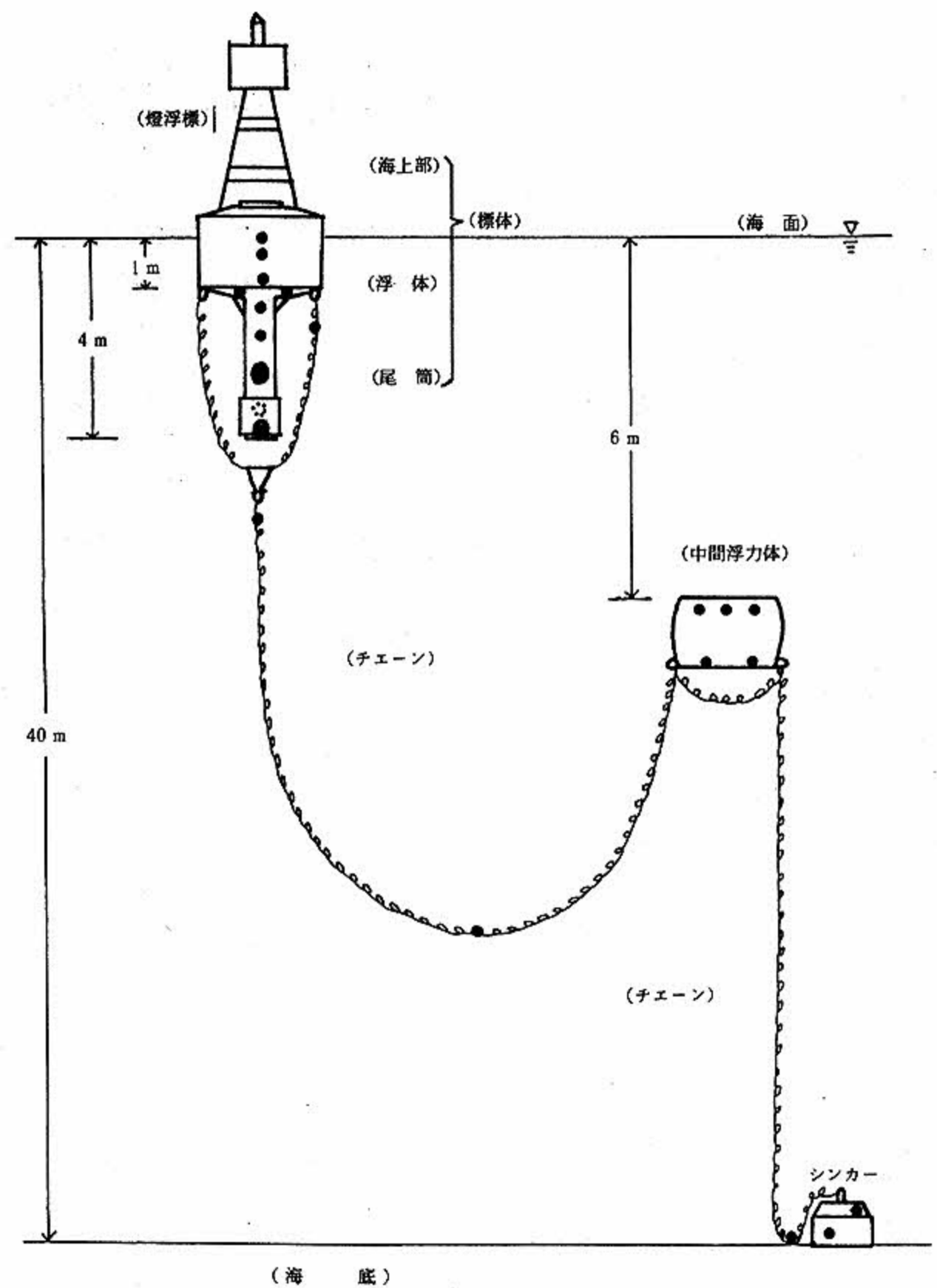
灯浮標の設置状況および採取部位について図2に示す。付着生物の採取は、図2中の●印の場所、合計23測点で10×10cm枠取り法によった。各測点の水深は表1中に示した。

採取したサンプルは、10%海水ホルマリンで固定し、実験室で湿重量・層厚などを測定するとともに、出現生物の検索、優占種の判定、類別優占度合などの分析を実施した。また、各測点における枠取り採取とは別に、典型的な付着生物の立体構造を各基盤面から損壊しないよう剝離採取し、観察しながら分離して、その構成生物種と層序様式を調査した。

3. 結果および考察

3.1 現存量

各測点における部位別の現存量を表1に示した。測点別の現存量(湿重量g/100cm²)の平均値



山形県由良沖 1981. 7. ・印: 採取点

図2 灯浮標設置状況および採取部位

Closed section of the light buoy and its sampling points

は、標体、中間浮力体、シンカーの順に、それぞれ201g, 141g, 11gであった。またチェーンでは定面積の採取ができなかったため、使用されたスタットリンクチェーン(38mmφ, 228mm長, 137mm幅)の1目当りの現存量として求めたが、1150g~10gの範囲を示した。

次に、各構成部分ごとに現存量を見ると、まず標体では最小値15g(吃水線上), 最大値343g(浮体下側)という値が認められるが、吃水下0.5m~尾筒最下部外側までいずれも150g以上の値を示し、他の構成部分に比較して大きい。また尾筒内側の測点は、最大の付着部分を採取したものであり、この測点を含む3~4ヵ所に局所的な付着生物の集団が認められた。尾筒内側の他の大部分では10~20g程度の付着量が観察されている。標体のうち、吃水以下の表面積は約21.5m²なので、標体平均現存量201gとにより、標体の付着生物総湿重量は約432kgと推測される。

中間浮力体では、図2に示したように上部と下

表1 測点別の水深、現存量、層厚およびムラサキイガイの比率
(山形県由良沖 1981. 7.)

Water depth, biomass, thickness and mussel % of total fouling at each sampling points.

測点	部 位	水 深 (m)	現存量 (g)	層 厚 (cm)	ムラサキイガイ %
1	吃 水	0	15	1	5
2	浮体側面	0.5	170	4	80
3	"	1.0	225	5	90
4	浮体下側	1.2	155	7	20
5	"	1.2	343	7	80
6	尾筒最上部	1.5	172	6	60
7	尾筒側面	2.0	265	5	90
8	"	3.0	262	5	90
9	"	3.0	172	5	80
10	"	4.0	161	6	90
11	"	4.0	238	4	90
12	尾筒内側	4.0	230	3	80
13	中間浮力体上部	6.0	80	3	10
14	"	6.0	242	5	80
15	"	6.0	210	4	60
16	中間浮力体下部	7.0	102	3	80
17	"	7.0	72	2	50
18	シンカー	40	8	0.5	0
19	"	40	14	0.5	0
20	チェーン	1.5	1130	12	90
21	"	5.0	1150	12	90
22	"	15	210	5	90
23	"	40	10	0.2	0

(現存量: g / 100 cm² ただしチェーンでは g / 1 目)

部に分けて比較すると、その平均値はそれぞれ177gと87gとなり、上部が下部に比べ90g大きな値を示す。標体に比較すると中間浮力体全体としては平均値で60g小さい値となっている。標体と同様に付着生物総湿重量を算出すると約131kgであった。

また、シンカーの現存量は前2者に比べて非常に小さく、10g前後の値となる。このシンカーは海底面（水深40m）に設置されているため、海面に浮いている標体や浅い海中（水深6～7m）に浮いている中間浮力体とは、付着生物の棲息環境が大きく異なるものと思われる。付着生物総湿重量は約8kgであった。

さらに、これらの構成部分を連結・係留しているチェーンでは、1目当りの値なので前3者と比較できないが、水深の浅い部分（1.5m）で大きな値を示し、深くなるにつれて値は減少し、海底面上の測点ではシンカーの現存量と同じく小さな値となっている。

今回の調査のように、それぞれの構成部分が異なる形状、サイズ、設置条件下にあるため、連続的に現存量の垂直分布について論ずるには不十分であるが、筆者らの橋脚型構造物における他の調査例でも、水深が深くなるにつれて、現存量が垂直分布の帯域ごとに段階的に減る傾向は認められており、この燈浮標の調査での値も、その傾向と一致している。ただし、同じ垂直分布帯域に属すると考えられる標体および中間浮力体では、測点により局所的なバラツキが認められる。このように各測点で値が異なる原因としては、第1に付着基盤の形状、第2に優占種相互の競合、第3に基盤の動揺と海水流動との関係、さらには塗料によるものなどが考えられる。これらの問題は、継続的な調査によって追求する必要があるが、今回の資料のみでは原因を特定できなかった。今後、類似資料を蓄積し、比較検討する必要があると思われる。

3.2 出現生物

3.2.1 主要出現生物種

各測点サンプル中出现した生物のうち、主要な種および各構成部分ごとの優占割合について表2に示す。この表によればフジツボ類、二枚貝類、管棲多毛類、コケムシ類などの固着性動物群（第1次付着生物）の他に、端脚類、多毛類、巻貝類

など匍匐性の動物群（第2次付着生物）、および海藻類など合計23種が認められ、梶原（1964）の燈浮標調査資料に多く出現したホヤ類は認められなかった。

出現頻度の高い生物種としては、二枚貝類のムラサキガイ；フジツボ類のサンカクフジツボ・アカフジツボ；管棲多毛類のカサネカンザシゴカイ；端脚類のカマキリヨコエビ；海藻類のボタンアオサなどであった。

3.2.2 優占種

このように、種々の生物群によって付着生物の集団が構成されているが、出現頻度が高く、さらに現存量に占める比率の値が大きな種を優占種として見ると、まず第1にムラサキガイがあげられる。そこで、この種の現存量に占める比率を表1に併せて示した。この種は、シンカーなど比較的深い水深の基盤面を除き、標体、中間浮力体および浅部チェーンのほとんどの測点において他種を圧倒し、現存量のほぼ80%を占めている。サイズは殻長2～3cmと小さいが個体数は多く、今回の調査においては局所的な例外を除きこれらの構成部分における唯一の優占種と考えられる。

また、これに次いで個体数および現存量の大きな値を示すのはサンカクフジツボであるが、どの基盤にも数多く付着するものの、現存量はムラサキガイと比較すると大きな差があり、優占種とは認めがたい。しかし局所的には、優占種のムラサキガイが少なく代って他種が優占する場合も認められる。例えば標体の吃水部における海藻、標体の浮体下面および中間浮力体上部において局所的に優占するアカフジツボなどの場合である。

また、シンカーや深部チェーンにおいては、現存量は小さいものの、比率としては管棲多毛類、小型フジツボの2類が優占している。これらの部位では、ムラサキガイ集団の付着が海藻によって妨げられたり、付着後に脱落したりして欠落する他に棲息条件に合わない何らかの条件（水質、底泥の影響など）が考えられる。

3.2.3 生態的遷移過程

次に、このような出現生物を梶原（1964）が区分した“生活型、外部形態および生育型による付着生物の類型”と照合して、生態学的な類型区分との関連を調べた。

表2 主要出現種と部位別優占種 (1981. 7 由良)

Main species and its dominant grades of fouling assemblages off yura

和名	学名	ブイ本体			中間体	重錘	チェーン
		吃水	外側	筒内			
アカフジツボ	<i>Balanus Megabalanus rosaeus</i>		◎	○	◎	○	◎
サンカクフジツボ	<i>B. trigonus</i>		◎	◎	◎		
シロスジフジツボ	<i>B. amplitrute</i>	○					
アメリカフジツボ	<i>B. eburneus</i>					◎	
ムラサキイガイ	<i>Mytilus edulis galloprovincialis</i>		◎	◎	◎		◎
タマエガイ	<i>Musculus (Ryenella) cupreus</i>				◎		
ナミマガシワ	<i>Anomia lischkai</i>		○				
カサネカンザシゴカイ	<i>Hydroides fusicola</i>		○			◎	○
ハナサキフサゴカイ	<i>Terebella ehrendergi</i>						
コキクザラコケシムシ	<i>Benenicea sarmiensis</i>					○	
シロアミメコケムシ	<i>Conopeum reticulum</i>					○	
コケムシ科の一種	<i>Bryozoa sp. 1</i>		○				○
コケムシ科の一種	<i>Bryozoa sp. 2</i>		○				○
カマキリヨコエビ	<i>Jassa falcata</i>	◎					
ワレカラモドキ	<i>Prorella gracilis</i>		○				
フツウゴカイ	<i>Nereis pelagica</i>		◎				
ゴカイ	<i>Neanthes dwerisicolon</i>		○		○		
ゴカイ科	<i>Nereis sp.</i>		○				
スジホシムシ	<i>Sipunculus nudus</i>		◎				
コナガニシ	<i>Fusinus perplexus ferrugineus</i>					◎	
カコメガイ	<i>Bedevina birleffi</i>					○	
ボタンアオサ	<i>Ulva conglbata</i>	◎					
ヒビミドロ	<i>Ulothrix flacca</i>	◎					

(◎: 非常に多い, ○: 普通に認められる)

それによれば、今回の調査で出現した生物は梶原の示した11類型のうちの2類型、すなわち Mslv 型のムラサキガイ、アカフジツボ、Mssf 型のサンカクフジツボが多い。また少量ながら出現する類型としては、Mssv 型（カサネカンザシゴカイ）、Mts 型（端脚類）、Cg 型（海藻）および Ccsp 型（板状コケムシ類）であった。

したがって、残り5類型（Mtl 型、Mlf 型、Ccsm 型、Cct(孤)型、Cct(群)型）は出現しない。梶原の区分は、生態的に遷移の進んだ状態の付着生物群集を対象として区分している。出現類型数が6類型と少ない点および、欠落する類型が主として生態的遷移の進んだ状態で立体構造の最上層に多く出現することが知られていることなどから、今回の調査では生物相は比較的単純で遷移過程が未成熟な状態であると考えられる。

3.2.4 保守管理面での対象生物

燈浮標の保守管理について有害となる要因としては、付着重量の増大による標体の浮力低下、生物付着による流体抵抗の増大による係留力（把駐力）の低下、塗料効果の劣化、さらには本燈浮標が波力発電方式を採用している事実に関連して、尾筒内側の生物付着による管径の減少に伴う発電効率の低下の問題などがあげられる。これらの視点から今回の出現生物の生態的特徴を調べると、これまで述べた出現生物のうち、燈浮標の保守管理面から考えて有害な生物としては、ムラサキガイ、アカフジツボ、サンカクフジツボの3種があげられる。その理由として、ムラサキガイとアカフジツボは単独型で石灰質の殻を有し、大型の種で立体的な構造を形成する種、すなわち先に述べた梶原の11類型のうち、Mslv 型に属しているからであり、サンカクフジツボはこれら Mslv 型生物の付着基盤として、これら2種の生物と同一もしくは下層に付着し、小型ながら強固な固着力を有し、多量に出現するからである。

その他の出現種では、先に述べたような視点からは有害な生物は認められなかった。

3.3 生物集団の立体構造

付着している生物集団の立体的な付着構造は、浸漬期間中の遷移の経過と結果を示すものとして、海洋構造物の事例ごとに付着特性を把握するために重要な視点である。

第1報では、アカフジツボ主体の立体構造とムラサキガイ主体の立体構造および、両種混合の立体構造の三つの場合に区分して、それぞれの特徴を調査し、付着基盤面に近い位置から、最下層（基盤直上層）、中層、最上層の3層構造が認められると報告した。

そこで、今回の調査サンプルの最も代表的なムラサキガイおよび除去清掃時に大きな労力を要するアカフジツボの2種がそれぞれ優占する立体構造につき、その層序様式がどのような状態にあるかを調べた。写真2,3および写真4,5には、それぞれ集団を損壊しないよう注意して採取したサンプルについて表面側からの写真と、裏側すなわち基盤側から撮影した写真をそれぞれ対比して示した。

3.3.1 ムラサキガイ主体の立体構造

第1の特色は3層構造のうち、ここでは最下層にサンカクフジツボ、中層にムラサキガイと少量のアカフジツボが認められるが、最上層の生物はほとんど出現せず、主として2層構造を成している点である。これは写真2においてムラサキガイ群の殻表面が他生物の付着によって被覆されず、殻表面がつるつるの状態であることから判別できる。

次に、中層を構成するムラサキガイのサイズが小さく、個体数が非常に多い点があげられる。第1報で示したような、比較的大きな個体（殻長5~8cm）が粗に付着している状態ではなく、小さな個体が密に付着し合って中層を形成している。このような付着状況は、筆者らの横須賀港岸壁におけるムラサキガイ調査（1978）時に観察した資料と比較すると、付着後の経過期間が比較的短かく、集団として冬期の荒天による脱落期を経ないことによるものと考えられる。浸漬期間が夏期~夏期の12ヵ月間であることを考えると、春先に付着した当才貝の集団が成長し、このような中層の構造を成していると推測される。

第3に、サンカクフジツボを主体とする最下層の生物群の個体数が多く、密に一層を成して並んで付着している点である。最下層は前報では比較的粗な並びであり、それらの間隙に中層のムラサキガイ（大型）が割り込むように直接的にも付着していたが、今回はこの割り込み現象の度合は

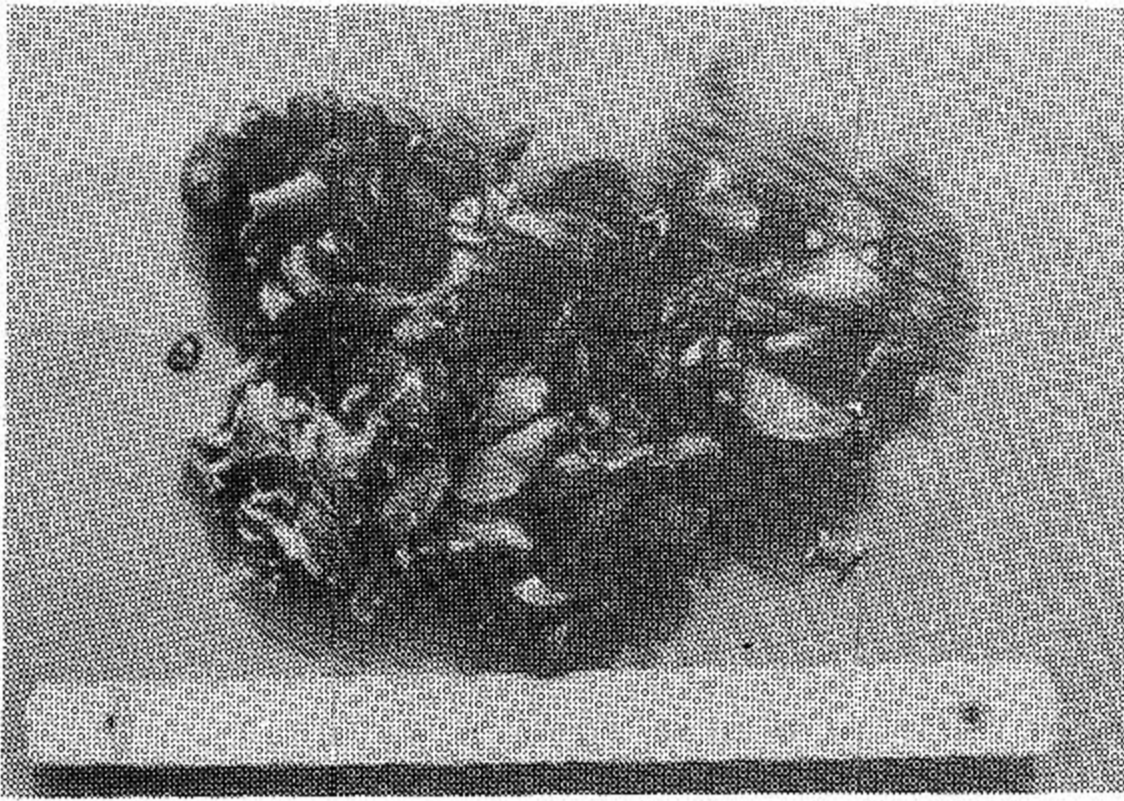


写真2 ムラサキイガイ主体の立体構造
(表面側)

Surface view of *Mytilus edulis galloprovincialis* formation

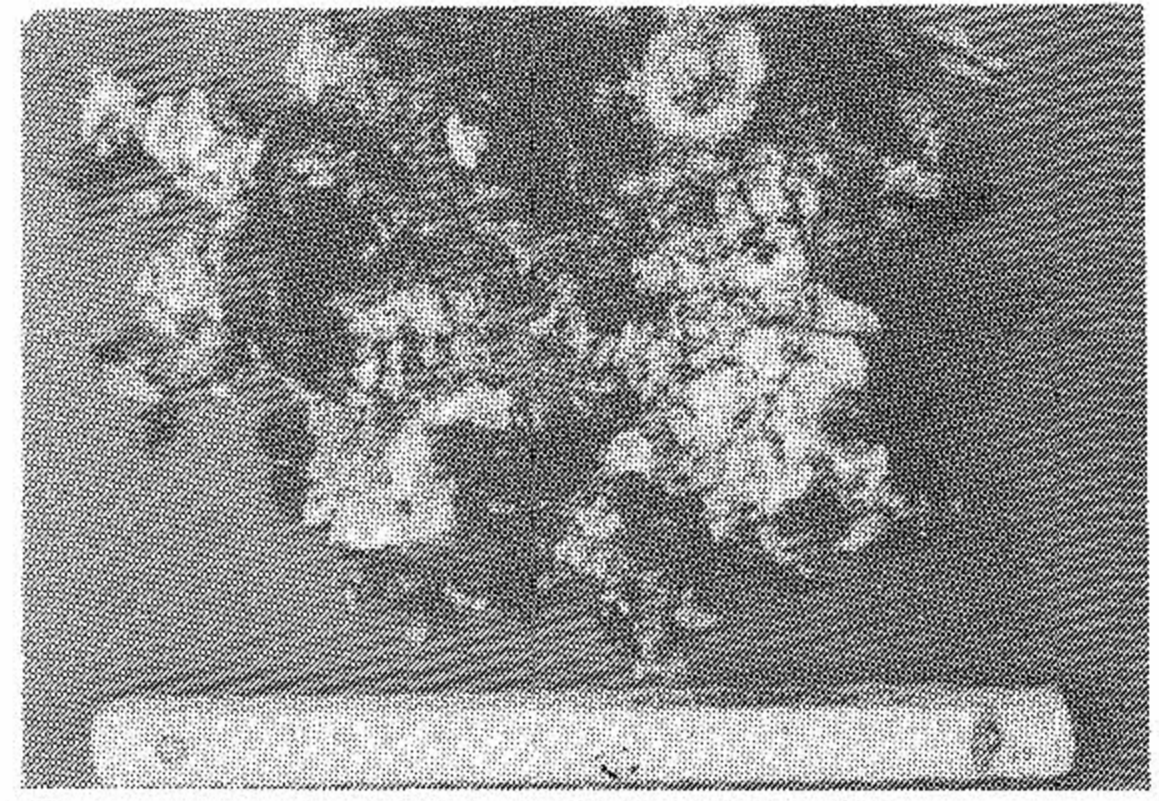


写真3 ムラサキイガイ主体の立体構造
(付着面側)

Attaching base of *M.e. galloprovincialis* formation

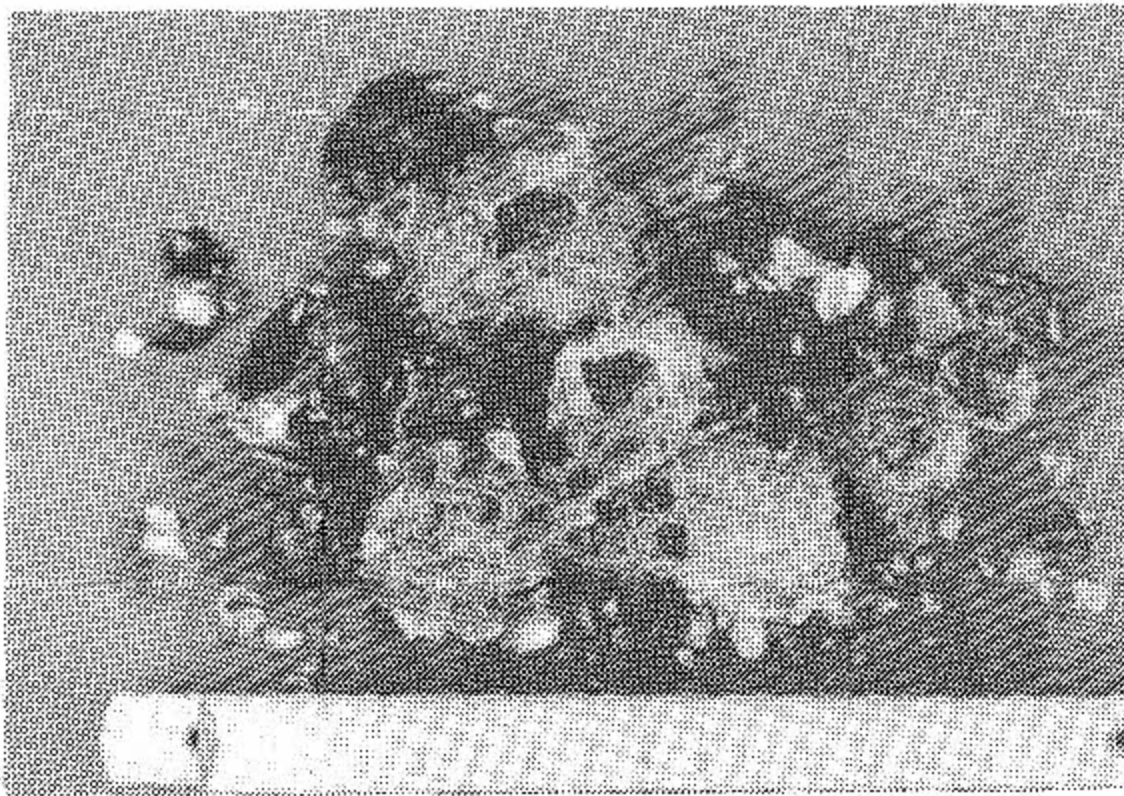


写真4 アカフジツボ主体の立体構造
(表面側)

Surface view of *Megabalanus rosa* formation

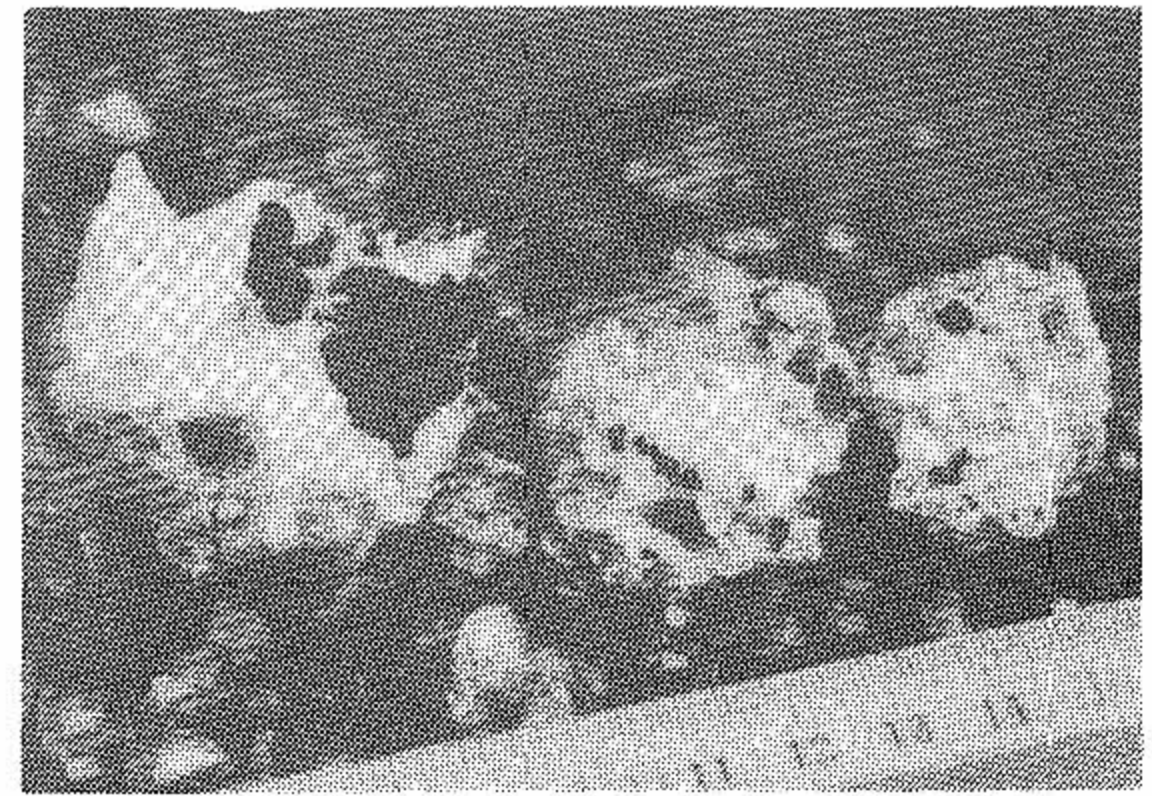


写真5 アカフジツボ主体の立体構造
(付着面側)

Attaching base of *M. rosa* formation

少なかった。したがって、最下層と中層の2層とも各層内で非常に密に付着していて、層間の境界が比較的是っきりと認められた。

このような事実から、この立体構造の生態的遷移過程は比較的若い状態を示していると考えられる。このまま同海域にこの燈浮標を浸漬し続けた場合にはその過程が進み、頂点に達して平衡状態になるまでは立体構造もさらに増大することが推測される。その過程で最上層の生物群も多量に出現するものと思われる。一種類の生物としてではなく、このように生物集団としてとらえた場合には、立体構造の増大が必然的に現存量の増大となり、また、そのような増大する負荷に対して、生物集団を構成する生物相互の付着強度も増大すると考えられる。

したがって、前項の保守管理対象生物のところでも指摘したように、このまま放置すれば除去清

掃作業などに困難な条件が増大し続けることになる。今回の揚収整備時に付着物全体を除去、清掃した作業の妥当性はここに認められる。

3.3.2 アカフジツボ主体の立体構造

この立体構造は、標体や中間浮力体の基盤面にパッチ状の集団として局部的に認められ、その面積は0.5~1 m²程度であった。

主体となるアカフジツボは、最下層のサンカクフジツボや管棲多毛類の殻や外包を被覆し、あるいは自身の殻底をも基盤に直接に固着する様式で付着している(中層)。そしてアカフジツボの周殻表面には少量ながら管棲多毛類、ムラサキイガイ、コケムシ類および海藻類なども付着し(最上層)ている3層構造を示した。

しかしながら、アカフジツボの各個体は、前報に示したように重層化することはなく、さらに、基盤上に並ぶ場合でも互いに殻が固着している例

はずかであった。このことは生態学的遷移としては未だ発達過程にあることを示すものと考えられ、ムラサキイガイ主体の立体構造の場合と同じ傾向がここでも認められる。

また、ムラサキイガイは、このアカフジツボ主体の立体構造では出現するものの少なく、層状を成していない。またアカフジツボも、ムラサキイガイ主体の立体構造の中に量的には少ないものの認められる。

したがって、アカフジツボ主体の立体構造は、他の大部分を占めるムラサキイガイ中心の立体構造の中層生物（すなわちムラサキイガイ）が浸漬中に何らかの影響を受け、層として剝離、脱落した後に、アカフジツボ自身の重層化、並列固着化など立体構造が増大する過程を経るより早く、周殻上の生態的遷移が進行し、ムラサキイガイ主体の立体構造ではほとんど出現しなかった最上層の生物群が付着したものと考えられる。

4. おわりに

本報ではブイ型に属する燈浮標調査の結果について述べた。

日本海北部海域における海洋構造物の調査例は少なく、さらに付近の海洋観測データなどの資料も入手できなかったため、さらに詳細な生態学的な考察について触れることができなかった。しかし、この海域の南と北に接する新潟県と秋田県の沖合いには、石油や天然ガス採掘用の海洋構造物が点在しており、本報の資料は、それらの構造物での年間付着量や付着状況を考慮する場合に、比較資料として利用できると思われる。

今後はさらに調査事例を蓄積して、これら海洋構造物の付着特性の把握に努めたいと考える。

文 献

- 1) 梶原 武. “付着動物の調査法”. 付着生物研究 1(1)P. 21-27 (1979)
- 2) 梶原 武. “海産汚損生物の生態学的研究”. 長崎大学水産学部研報(16)P. 1-138(1964)
- 3) 伊藤信夫ほか. “海洋構造物における付着生物(第1報);津島町沖の浮消波堤の生物”. JAMSTECTR (8)P. 113-123 (1982)
- 4) 梶原 武ほか. “東京湾の潮間帯におけるムラサキイガイの付着, 生長および死亡について”. 日本水産学会誌 44(9)P. 449-953 (1978)