

洞海湾における海藻の出現特性と富栄養度*

山 田 眞知子**・上 田 直 子**・花 田 喜 文**

キーワード ①海藻 ②洞海湾 ③富栄養度 ④水質改善 ⑤生物指標

要 旨

高度経済成長時代に「死の海」となった洞海湾で、平成4年に水質改善後初めて海藻の植生調査を行った。その結果、湾内全域で緑藻類が9種、褐藻類が8種、紅藻類が32種および藍藻類が1種の計50種の海藻が繁茂していた。湾奥部では緑藻類のアオノリ類とシオグサ類、湾中部ではシオグサ類とハネモ、若戸大橋下では褐藻類のワカメ、湾口部ではマクサやムカデノリなどの紅藻類が優占していた。海藻の出現状況から湾の水質をたどれば、明治・大正時代は富栄養度であったが、昭和8年には湾の約半分が腐水域となり、その後、腐水域はさらに広がったと推測される。平成4年の時点では湾奥部から若戸大橋下までは過栄養域、若戸大橋下から湾口部は弱過栄養域、湾口先端は富栄養域に改善されていた。

1. はじめに

洞海湾では、明治時代に「湾内ノ到ルトコロアヂモ繁茂シテ好適ノ幼魚ノ入り込ミ産卵場ナリシト。」と「洞海湾調書」¹⁾に記されている。このアヂモとはアマモの俗称で、アマモ場は海洋生態系保全上、また水産資源保護上、極めて重要かつ有用な場所とされている^{2,3)}。洞海湾ではかつて至る所にこのアマモ場が認められ、湾が「豊かな海」³⁾であったことがわかる。

しかし、わが国の高度経済成長時代、湾をとり囲む北九州重化学工業地帯から未処理の工場排水が多量放出されたのに伴い、湾の海草や海藻は魚介類とともに消滅していった⁴⁾。なお、海草・海藻類の消滅にはこのような水質汚濁に加え、港湾施設としての機能を備えるために行われた埋立てや浚渫⁵⁾によって、これらの着生基盤が変化、消

失したことも影響したと考えられる。

その後、洞海湾の水質は昭和45年頃から実施された浄化対策により、全水質調査地点でほとんどの環境基準項目を僅か3年でクリアするなど、著しく改善され、現在に至っている⁴⁾。当センターでは、そのような水質改善の中で、洞海湾でいったん消滅した生物が実際に復帰しているかを確認することを目的として、平成元年度から生態系を構成する主要生物群の出現調査を実施した^{4,5)}。この調査の一環として、平成4年に海藻の植生調査を水質改善後初めて実施した。ここでは、洞海湾の海藻の分布特性を明らかにするとともに、海藻の指標する富栄養度についても検討を行い、得られた結果をもとに洞海湾の水質の時空間的变化を検討したので報告する。

*Occurrence Characteristics of Seaweeds and Eutrophic Level of Dokai Bay, Kitakyushu City

**Machiko YAMADA, Naoko UEDA, Hirofumi HANADA (北九州市環境科学研究所アクア研究センター) Kitakyushu City Institute of Environmental Science, Aqua Research Center

2. 海藻植生調査

2.1 調査方法

調査は平成4年3月4日, 5月12・13日, 8月20日および12月15日の4回にわたって実施した。調査定点は湾奥部から湾口部にかけて7調査定点(図1)を設定し, 各調査定点(以下定点と呼ぶ)では, 垂直的に潮間帯中部, 潮下帯上部およびこれより1m深の3調査点を設定した。なお, 洞海湾では満潮時と干潮時の潮位差は最大約1.6mで, 今回の調査でこの間を潮間帯とした。また, 7定点の中でStn1については, 潮下帯で海藻の成育がみられなかったため, 調査点は3点とも潮間帯に設定した。

海藻の採集は潜水により50cm×50cmの方形枠を用いる「坪狩り」法で行った。採集した海藻は, 直ちにホルマリン固定し実験室に持ち帰り, 吉田等の方法^{6,7)}を参照して同定を行い, 調査点毎に総湿重量と各種類の湿重量を測定した。

2.2 洞海湾および調査定点の概要

九州北西部に位置する洞海湾は, 図1のように, 奥行き13km, 湾幅は湾口部で1.2km, 湾奥部で0.3km, 平均水深7mの細長い内湾である。湾周辺は北九州重化学工業地帯の工場群が林立し, 44kmにわたる海岸線のうち自然海岸は湾央部にわずか280m残されているのみで, ほとんどが人工護岸となっている。

各定点の基盤の状況は, 表1に示すように, 湾奥部のStn1とStn2はコンクリート護岸, Stn3は湾内の航路付近に唯一残されている小さな岩礁域で, Stn4は湾央部に残されている自然海岸に隣接する石垣であった。Stn5は八幡泊地のコンクリート護岸, 湾口部のStn6とStn7はどちらも捨

て石帯であった。

2.3 結果

今回の調査で採集された植物はすべて海藻で, 海草は含まれなかった。同定された海藻は緑藻類が9種, 褐藻類が5種, 紅藻類が30種および藍藻類が1種の計45種で, 今回の調査の1年前に行った予備調査時に採集された海藻も含めると, 褐藻類と紅藻類がそれぞれ3種と2種増加し, 合計50種が採集された。

2.3.1 水平分布

4回の調査で採集された海藻の総種類数と総湿重量について, 定点毎に図2に示す。総種類数は湾奥部のStn2で4種と最も少なく, 湾口部に近づくにつれて増加し, 湾口部のStn7では27種であった。このうち, 緑藻類は全定点で採集され, 種類数は3~7種と定点間で大差はみられなかった。一方, 褐藻類は湾口部のStn6とStn7の両定点のみに, それぞれ1種と2種採集された。紅藻類は湾奥部のStn1, Stn2, Stn3および八幡泊地のStn5では1~3種採集され, 湾央部のStn4では8種, 若戸大橋下のStn6では14種, 湾口部のStn7では22種と, 湾口部に近づくに従い種類数は増加した。このように, 各定点間の種類数の相違は紅藻類の種類数の増減に伴うものであった。

総湿重量については, Stn1, Stn2およびStn3では10.0~17.6g/m²であり, Stn4とStn5では約70g/m²に, Stn6とStn7では1,130~1,340g/m²となり, 湾口部に近づくに従い急激に増加した。海

表1 各調査定点の海藻付着基盤の性状

調査定点名	潮間帯中部	潮下帯上部	潮下帯上部より1m
Stn1*	コンクリート壁		
Stn2	コンクリート壁	捨て石	礫混じりの砂泥
Stn3	岩礁	転石	礫混じりの砂泥
Stn4	石垣壁	礫混じりの砂泥	礫混じりの砂泥
Stn5	コンクリート壁	コンクリート壁	コンクリート壁
Stn6	捨て石	捨て石	捨て石
Stn7	捨て石	捨て石	捨て石

*調査定点Stn1では潮間帯以深に海藻が認められなかったため, この定点のみ, 潮間帯から試料を採集した。

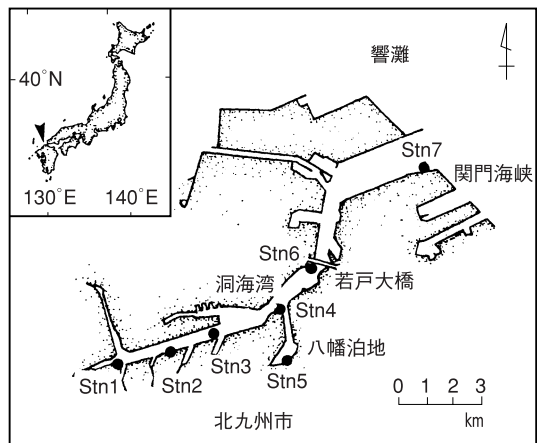


図1 平成4年 洞海湾における海藻の調査定点

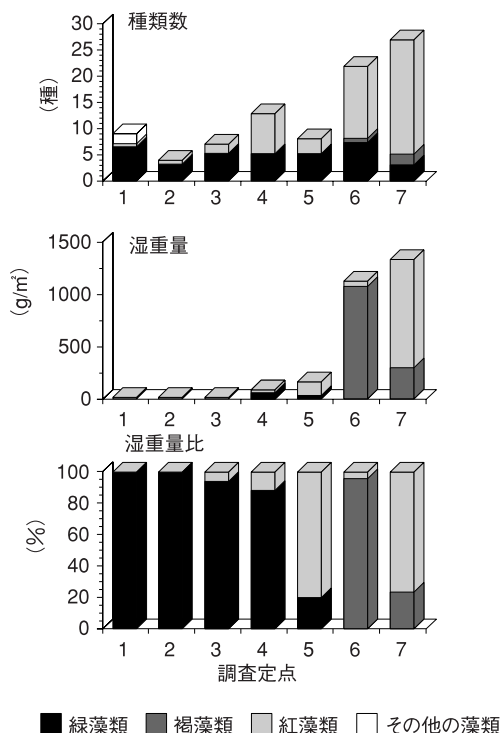


図2 平成4年 洞海湾における海藻の水平分布

藻の分類別の湿重量比を定点毎に比較すると、Stn1とStn2では緑藻類が総湿重量の99.7%と99.8%を占め、Stn3とStn4では同じく緑藻類が93.0%と86.7%をそれぞれ占めた。しかし、Stn5とStn7では紅藻類が81.8%と77.0%、Stn6では褐藻類が95.1%を占めていた。

このように、洞海湾の海藻植生は湾奥部から湾

口部に向かって緑藻類から褐藻類、さらに紅藻類へと変化していた。

2.3.2 垂直分布

各定点において潮間帯、潮下帯上部およびそれより1m深の3調査点それぞれについて、4回の調査で出現した合計の種類数と湿重量比を図3に示す。種類数については、Stn1は潮間帯のみで3点採集し、この中でも上部で種類数が多くなっていた。Stn2からStn5の4定点では潮間帯に多く、Stn6とStn7の2定点では潮下帯上部に多かった。一方湿重量比では、Stn1、Stn2およびStn5の3定点では潮間帯に、Stn3は潮下帯上部に、Stn4とStn6は潮下帯上部とその1m深にそれぞれ多かったが、Stn7では3点間で大きな差は認められなかった。

2.3.3 季節変化

各定点について、3月、5月、8月および12月のそれぞれ月別の種類数ならびに湿重量比を順に図4と図5に示す。各定点の種類数は、Stn1では5月と8月に多く、Stn3およびStn5では3月に、Stn6では5月に多く、Stn2、Stn4およびStn7の3定点は各月とも種類数に大差は認められなかった。

月別の湿重量比は、Stn1、Stn2、Stn5およびStn6の4定点では3月と5月の合計がそれぞれの総重量の99%を占めており、Stn3、Stn4およびStn7の3調査定点においても3月と5月の合計値はそれぞれの総重量の64~76%を占めていた。このように、全定点とも春期に海藻が繁茂することが示

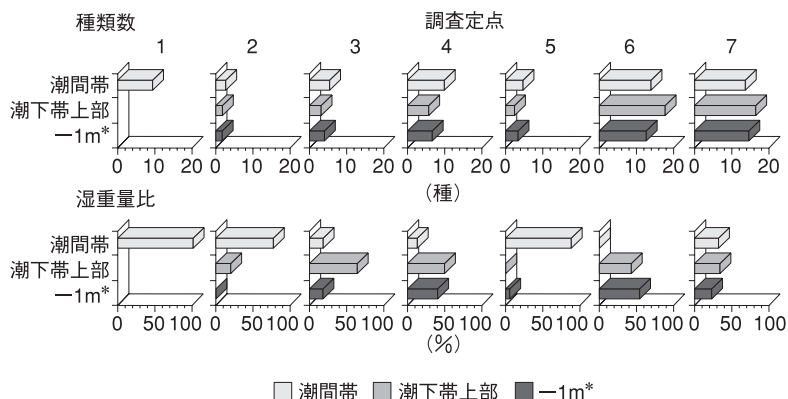


図3 各調査定点における海藻の垂直分布

* 潮下帯上部から1m下の深度

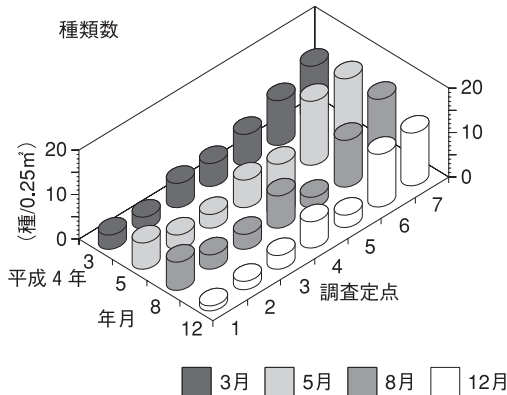


図4 各調査定点における出現海藻種類の季節変化

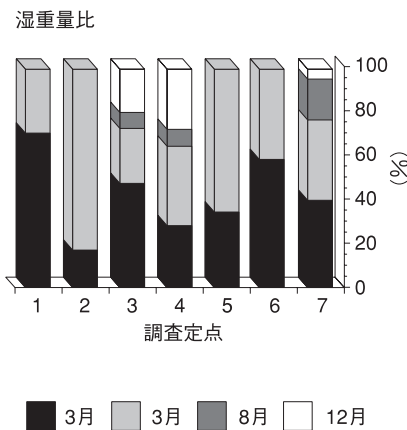


図5 各調査定点における出現海藻湿重量比の季節変化

された。

2.3.4 代表種の出現状況

採集された海藻の中で、各定点で優占的に出現した種類の湾内での出現状況を述べる。

緑藻類では、アオノリ類 *Enteromorpha* spp. が湾口部の Stn7 を除く 6 定点の潮間帯から潮下帯にかけて広範囲に分布し、すべての調査時に採集された。とくに、湾奥部の Stn1 の潮間帯で 3 月および 5 月に $79\sim 88\text{g}/\text{m}^2$ と多量に採集された。シオグサ類 *Cladophora* spp. は、全定点の潮間帯から潮下帯で 4 回の調査とも採集された。その中でも、自然海岸である Stn4 の潮下帯において、8 月と 12 月に $43\sim 64\text{g}/\text{m}^2$ と多量に採集された。ハネモ *Bryopsis plumosa* は、Stn2 を除く 6 定点で 4 回の調査とも採集された。とくに Stn4 の潮下帯で 3 月と 5 月に多量採集され、最高値は $192\text{g}/\text{m}^2$ であった。

褐藻類では、ワカメ *Undaria pinnatifida* の全調査で採集された総湿重量は 16.5kg に及び、これは海藻全体の総湿重量の 52.2% を占めた。この多量なワカメの出現は、Stn6 から Stn7 の潮下帯で認められた。

紅藻類ではウシケノリ *Bangia atropurpurea* が八幡泊地の Stn5 のみで採集され、しかも出現は 3 月と 5 月の潮間帯のみに限定されていた。また、マクサ *Gelidium elegans* は湾口部の Stn7 のみで採集され、この定点では潮間帯から潮下帯にわたって、すべての調査時に採集された。全調査で採集されたマクサの総湿重量 5.9kg は海藻全体の総湿重量の 18.6% を占めており、洞海湾ではワカメに次いで 2 番目に多く採集された。そのほかの紅藻類では、多くが湾奥部と八幡泊地では採集されず、Stn3 から Stn7 でフツツガサネ *Antithamnion nipponicum* が採集された。Stn4 から Stn7 ではイソハギ *Heterosiphonia japonica* とツルツル *Grateloupia turuturu* が、Stn3 から Stn6 ではイソダンツウ *Caulacanthus ustulatus* が、Stn4 から Stn6 ではヒヂリメン *Grateloupia sparsa* とトゲイギス *Centroceras clavulatum* の 2 種が採集された。さらに、Stn6 から Stn7 では、ムカデノリ *Grateloupia filicina*、キントキ *Prionitis angusta*、オキツノリ *Ahneltiopsis flabelliformis*、カバノリ *Gracilaria textorii*、ショウジョウケノリ *Polysiphonia senticulosa* の 5 種が採集され、Stn7 のみに限定されて採集されたのはマタボウ *Polyopes polyideoides*、マルバツノマタ *Chondrus nipponicus*、ツノマタ *Chondrus ocellatus* およびマサゴシバリ *Rhodymenia intricata* の 4 種であった。なお、これらの紅藻類は 3 月から 5 月に多量採集される種類が多かった。

3. 海藻の出現状況からみた水質の変遷

3.1 海藻と富栄養度との関連

海藻は移動力のある魚類等と異なって岩礁やコンクリート壁に固着して出現するため、その海域環境の状況を反映する生物として着目され、水温、塩分などの環境要因や富栄養度、水質汚濁の程度などとの関連が調査され、それらの生物指標としての利用の可能性が検討されている⁷⁻¹⁶⁾。そこで、とくに海藻と富栄養度との関連について、

これらの報告ならびに洞海湾での出現状況から、明治時代以降に洞海湾に優占的に出現した海藻について好適とする富栄養度を検討した結果、表2のように整理できた。

なお、この報告では、海域の富栄養度は吉田の示した海域の栄養階級区分⁸⁾に基づき、貧栄養域、富栄養域、弱過栄養域、過栄養域、および腐水域の5階級に区分している。これをCOD(化学的酸素要求量)で示せば、貧栄養域はCOD 1 mg/l以下の海域、富栄養域は1～3 mg/lの海域、弱過栄養域は3～5 mg/lの海域、過栄養域は3～10 mg/lの海域、そして腐水域は10 mg/l以上となる。また、この表を用いて海域の富栄養度を判定する場合、海藻の好適富栄養度が2階級以上にわたっている場合はもっとも富栄養度の高い海域の指標種とした。

3.2 明治時代から昭和初期にわたる洞海湾の海藻植生の変化

洞海湾の海藻植生に関する文献や資料を参照すれば、明治時代にはアマモ場が湾内の至る所に認められた¹⁾。また、湾では築港が始まるまでシラ

モ(和名はツルシラモと推定される)が湾内に繁茂しており、湾岸の人々に採集され食卓を賑わし¹⁷⁾、漁獲もされていた¹⁾。大正時代には湾内でノリ養殖が行われていた¹⁸⁾が、ノリの漁獲高はシラモと同様、昭和6年にはゼロ(若松漁業組合資料)となっていた¹⁾。

洞海湾では、魚介類の総漁獲高が昭和3年から7年までのわずかに4年間に半減したため、その実態や減少原因を究明するため、昭和8年に福岡県水産試験場が調査を実施した¹⁾。その結果、工場排水の影響により昭和8年に「絶滅(消滅)シタルモノアルイハ絶滅(消滅)ニ瀕シテイタ」とされた海藻は、表3に示すように、アマノリなどの紅

表3 昭和8年¹⁾および平成4年の洞海湾における海藻の出現状況

海藻・海藻名			出現状況*	
			昭和8年	平成4年
海藻 緑藻類	アオノリ類		☆☆	○○
	アナアオサ		☆	○
	ハネモ		☆	○○
	ミル		★	
	褐藻類	モズク	★	
		ハバノリ	★	
		マツモ	★	
		アラメ	★	
		カジメ	★	
		ワカメ	★	○○
海藻 緑藻類	ヒジキ		★	
	ホンダワラ		★	○
	紅藻類	アマノリ	★	
		マクサ		○○
		フノリ	★	
		ムカデノリ		○○
		ヒヂリメン		○
		ツルツル		○
		イソダンツウ		○
		ツノマタ		○
海藻 緑藻類	オゴノリ		☆	○
	シラモ		★	
	エゴノリ		★	
	マサゴシバリ			○
	ショウジョウケノリ			○
	海草	アマモ	★	

* ★, 昭和8年に出現が急減した種類;
 ☆, 昭和8年に出現が認められた種類;
 ☆☆, 昭和8年に繁茂していた種類;
 ○, 平成4年に出現した種類;
 ○○, 平成4年に優先的に出現した種類。

表2 洞海湾に出現した海藻の好適富栄養度

海藻・海藻名		富栄養度				
		貧栄養域	富栄養域	弱過栄養域	過栄養域	腐水域
海藻 緑藻類	アオノリ類					
	アナアオサ					
	ハネモ					
	ミル					
褐藻類	モズク					
	ハバノリ					
	アラメ					
	カジメ					
	ワカメ					
	ヒジキ					
	ホンダワラ					
紅藻類	マクサ					
	ムカデノリ					
	ヒヂリメン					
	ツルツル					
	イソダンツウ					
	ツノマタ					
	オゴノリ					
	シラモ					
	マサゴシバリ					
	ショウジョウケノリ					
海草	アマモ					

藻類、ヒジキやワカメなどの褐藻類、ミルなどの緑藻類および海草のアザモ(アマモ)など計14種に及んでいた。また、湾内の約半分の海域において海藻の生育が不可能となっており、残り半分の海域においてはアオノリ類の繁茂が認められた。

3.3 海藻の出現状況からみた洞海湾の水質の変化

3.3.1 明治・大正時代と昭和8年の水質

表2を参照すれば、明治・大正時代に繁茂していたアマモは富栄養性種、ツルシラモは弱過栄養性種である。また昭和8年当時出現が急減したとされ、それ以前に多量出現していたことが推定されるモズク、アラメ、ヒジキなど7種は富栄養性種、ワカメなど3種は弱過栄養性種、ミルは過栄養性種である。一方、昭和8年に優占種として出現したアオノリ類とハネモは過栄養性種である。

以上のことから、洞海湾の水質は明治・大正時代は富栄養性種の繁茂が可能な水質であった。しかし、昭和8年にはすでに湾の約半分の海域は海藻が成育できない腐水域となっており、残り半分の海域は過栄養の水質で、水質汚濁がかなり進行している状況であったことが推定される。その後、湾岸の北九州工業地帯の発展とともに水質汚濁がさらに進行し、ほとんど生物の認められない「死の海」と化した。

3.3.2 平成4年の水質

図2から図5に示すように、平成4年においては、海藻の出現量に差異はあるものの全調査定点で海藻の成育が確認された。湾奥部 Stn1 から湾央部 Stn4 にわたって優勢に出現したアオノリ類とハネモは過栄養性種であり、湾奥部寄りの Stn3 から若戸大橋下 Stn6 まで出現したイソダンツウも過栄養性種である。Stn4 から Stn7 まで出現したツルツルと Stn4 から Stn6 まで出現したヒズリメンは弱過栄養性種であり、Stn6 から湾口部の Stn7 まで多量出現したワカメおよびこれに混生したムカデノリとショウジョウケノリは弱過栄養性種とされる種である。Stn7 のみに多量出現したマクサは富栄養性種で、これに混生していたツノマタは富栄養性種、マサゴシバリは弱過栄養性種である。

以上のことから、海藻の出現状況からみた平成

4年の水質は、湾奥部から若戸大橋下は過栄養域、若戸大橋下から湾口部付近は弱過栄養域、湾口部は富栄養域と、湾奥部から湾口部に近づくにつれ漸次富栄養度が軽減されていることが確認された(図6)。なお、このように海藻を用いて判定した洞海湾の富栄養度は、海藻と同時期に採集した付着動物を用いて判定した富栄養度¹⁹⁾とはほぼ一致した。

4. ま と め

今回洞海湾に出現した海藻の種類数は、湾奥部から湾央部および八幡泊地では4種から13種と少なかったが、若戸大橋下と湾口部では順に22種、27種に増加し多様となった。また、海藻の湿重量も湾奥部では総湿重量の1%にも満たず、湾央部においても2%台と少なかったが、若戸大橋下では43%、湾口部では51%と急激に増加した。このように、洞海湾の海藻植生は湾奥部では貧弱であり、一方若戸大橋下から湾口部では豊富になっていることがわかった。

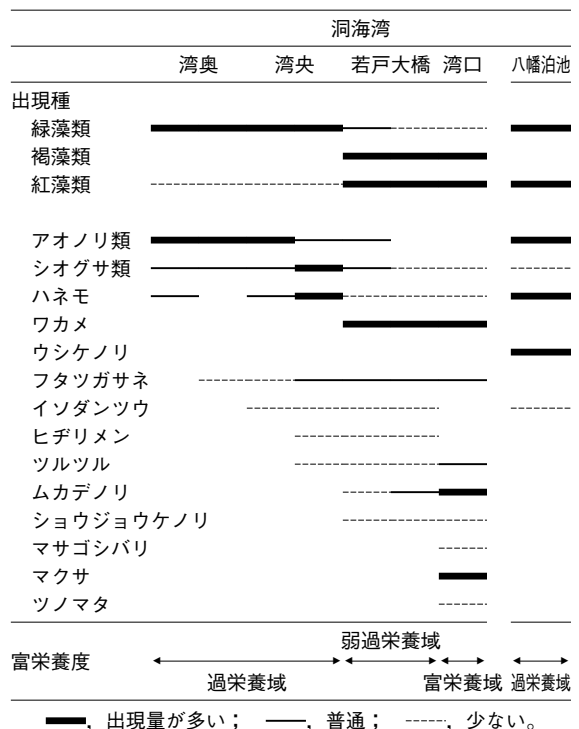


図6 平成4年 洞海湾の海藻の分布様式と海藻を用いて判定した湾の富栄養度

また、湾奥部では緑藻類のアオノリ類とシオグサ類、湾中央部ではシオグサ類と緑藻類のハネモが優占的に出現し、若戸大橋下では褐藻類のワカメが優占するようになり、湾口部ではマクサヤムカデノリなどの紅藻類が優占した。このように、洞海湾では湾奥部から湾口部へ至る間、優占種が緑藻類から褐藻類さらに紅藻類へと明瞭に変化していることが確認された。

海藻の出現状況から洞海湾の水質の変化をたどれば、明治・大正時代は富栄養域であったが、昭和8年には既に湾の約半分の海域が海藻の生息の不可能な腐水域となり、その後さらに腐水域の範囲は拡大していったことが推定される。しかし、平成4年の時点で洞海湾に腐水域はまったく存在せず、湾奥部から若戸大橋下にいたるまでは過栄養域、若戸大橋下から湾口部にわたっては弱過栄養域、さらに湾口先端は富栄養域に改善されていることが明らかとなった。

近く、当センターでは、今回の調査と同じ手法で再び洞海湾の海藻の植生調査を行うことを計画している。その結果、洞海湾のさらなる水質改善が追跡できることを期待している。

5. 謝 辞

この調査では、水産大学校増殖学科教授 故大貝政治博士に、調査方法、試料の同定、ならびに原稿の作成に多大のご指導ならびにご援助を賜りました。大貝先生の懇切なご指導に、衷心より感謝の意を表します。

—引用文献—

- 1) 福岡県水産試験場：洞海湾調査書，p139，1933
- 2) 小河久朗：藻場。藻場の保全と造成。栗原 康編著，河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー。pp. 161-172，pp. 238-248，東海大学出版会，東京，1988

- 3) 新崎盛敏：「海藻・ベントス」海洋科学基礎講座5。pp. 1-147，東海大学出版会，東京，1986
- 4) 北九州市環境衛生研究所：平成元年度洞海湾総合報告書Ⅰ 魚，エビ・カニ類。p89，1990
- 5) 北九州市環境衛生研究所：平成3年度洞海湾総合報告書Ⅱ 底質と底生動物。p98，1992
- 6) 吉田忠生，中嶋 泰，中田由和：日本産海藻目録(1990年改訂版)。藻類，38，pp. 269-320，1990
- 7) 吉田忠生：新日本海藻誌。p1222，内田老鶴圃，東京，1998
- 8) 吉田陽一：環境変化の予測と評価の方法。日本水産学会監修，吉田多摩夫編著，漁業環境アセスメント。pp. 25-46，恒星社厚生閣，東京，1983
- 9) 日本水産資源保護協会，須藤俊造：漁場環境調査検討事業評価基準・調査指針部会検討素材わが国の環境生物相の類型化について(続)抜粋(海域環境の生物指標としての海藻海草植生)。pp. 161-236，1984
- 10) 風呂田利夫：海洋環境指標生物，水域生物指標に関する研究報告。横浜市公害研究所，公害資料 No. 88，pp. 191-198，1989
- 11) 田中次郎：横浜市海域に生育する海産植物(海藻・海草)の生物指標，水域生物指標に関する研究報告。横浜市公害研究所，公害資料 No. 88，pp. 237-244，1989
- 12) 日本水産資源保護協会：漁場保全機能定量化事業，環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための判断基準と事例。p104，1992
- 13) 須藤俊造：海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み。藻類，40，pp. 289-305，1992
- 14) 谷口森敏：極東の海藻植生学的研究。p2，井上書店，三重，1986
- 15) 新崎盛敏：生物指標としての海藻。日本生態学会環境問題専門委員会編，環境と生物指標2。pp. 215-224，共立出版，東京，1979
- 16) 広瀬弘幸：瀬戸内海沿岸特に播磨灘・大阪湾沿岸を主としたとした工業発展に伴う水質環境の変遷と海藻類植生の変遷との関係。山陽放送学術文化財団リポート第3号，pp. 26-36，1971
- 17) 佐藤ヒデ：昔の奥洞海湾洞海湾漁業。郷土八幡第二号，八幡郷土史会，pp. 95-97，1979
- 18) 若松市史第二集編纂委員会：古老回想談。若松市史第二集，pp. 419-429，1959
- 19) 梶原葉子，山田真知子：洞海湾における付着動物の出現特性と富栄養度の判定。水環境学会誌，20，pp. 185-192，1997