

関西国際空港島地先海域の生物生産構造

矢持 進* ・米田佳弘**・古澤昭人***
大塚正純****・二宮早由子*****

1. はじめに

1999 年 6 月に「共生と循環」を重視し、生態系の保全を強く意識した環境影響評価法（環境アセスメント法）が我が国において施行され、開発行為が生物・生態系に及ぼす影響をより的確に評価することがますます重要となってきた。しかしながら、埋め立てなどの開発行為が海洋生物に及ぼす影響を調べたものの多くは、生物を生態系の栄養階層の中で捉え、階層間の繋がりを視野に入れながら「機能と構造」の変化を解析する方向性に欠けていた。本研究では関西国際空港 2 期事業予定海域を対象として、埋立に伴う生態系の消滅と造成後の護岸や内部水面に形成される新たな生態系とを生物生産という切り口から評価することを最終目的とした。そのため、消失する海域の浮游生態系を代表する生物として植物プランクトンと動物プランクトンを、底生生態系の構成者としてメイオベントス・マクロベントスを、そして付着生態系の代表生物として海藻・葉上動物・付着動物を取り上げ、それぞれの出現特性・現存量ならびに生産速度などについて現地調査することによって、2 期護岸完成前の関西国際空港島北西護岸地先海域における生物生産の特徴を明らかにした。

2. 調査の方法

2.1 浮 游 系

関西国際空港 2 期事業予定海域内の 1 点（図-1 の St. 1）において、1998 年 5・8・11 月および 1999 年 1 月にプランクトンの生産活動と関連する環境因子として水温・塩分・クロロフィル a および水中光量子量を海表面から海底まで 0.5-1.0 m 間隔で計測した。またこの時、植物プランクトンの水深別細胞数を把握するため、海表面・50%・25%・10%・5%・1% 各照度層の海水を採取するとともに、目合い 200 μ m のネットを通して大型動物プランクトンを除去した後、試水を再び各照度層に

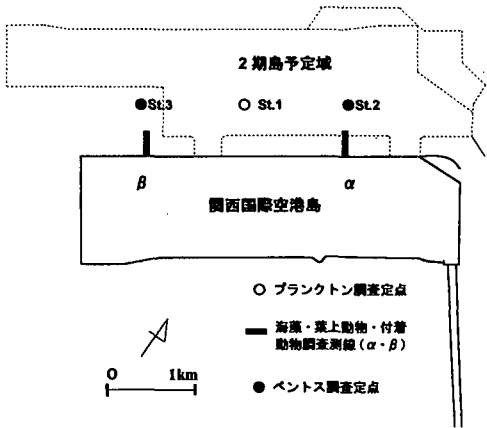


図-1 調査地点

垂下し、酸素法により植物プランクトンの基礎生産速度（一次粒状物生産速度）を測定した。動物プランクトンは濾水計をつけた北原式定量ネット（口径 22.5 cm, 網目 0.1 mm）を用いて海底上 1 m から海面まで鉛直曳きを 4 回以上行い、得られた試料をホルマリン固定後、種別個体数の計数や乾燥重量の測定を行うとともに、Ikeda・Motoda (1978) に準じて生産量を試算した。

2.2 底 生 系

同海域内の 2 点（図-1 の Sts. 2, 3）において 1998 年 5・7・9・11 月・1999 年 1・3 月に、メイオベントスは K.K.式コアサンプラー（採泥面積：0.002 m²）、マクロベントスは小型スミスマッキングタイヤ型採泥器（採泥面積：0.05 m² × 8 回 = 0.4 m²）を用いて採取し、それらの種別個体数と乾・湿重量を調べた。底生動物の年間生産量は種別・分類群別の平均現存量、年間世代数、回転率（生産量/平均現存量）、乾・湿重量比などから試算した。この場合メイオベントスの線虫類の回転率と年間世代数は両者とも 3 とし、有孔虫やその他は回転率を 3、年間世代数を 10 と仮定した。また、マクロベントスの回転率については特定の優占種は種ごとの値を、その他は個体湿重量が 0.5 g 以上は 0.6, 同 0.5 g 以下は 3.4 を用いた（玉井, 1996）。

* 正会員 農博 大阪市立大学助教授 工学部環境都市工学科
** 関西国際空港株式会社
*** 新日本気象海洋株式会社
**** 株式会社日本海洋生物研究所
***** 株式会社東京久栄

2.3 付着系

同海域内の2測線(図-1の $\alpha\beta$)で1998年5・8・11・1999年3月に護岸の動植物の観察と採取を行った。海藻はその植生を代表する6水深(0・2・4・6・8・12m)で面積1m²の網付き方形枠を用いて刈りし、種類別の乾・湿重量、主要種の株数などを測定するとともに、優占海藻であるシダモク・タマハハキモク・ワカメ・カジメについては葉上動物の種類別の乾・湿重量を調べた。付着動物は海藻と同じ水深で採取し、種類別の個体数と乾・湿重量を測定した。また、付着動物のうち主要な貝類とフジツボ類の計5種については殻部と軟体部の乾・湿重量を調べた。年間生産量は海藻の場合最大現存量から(Yokohamaら, 1970)、その他はマクロベントスと同じ方法で算出した。なお、本調査で採取された動物プランクトン・海藻・マクロベントス・付着動物・葉上動物のうち主要な計48種類についてCHNコーダ(柳本製作所製MT-5型)を用いて有機炭素濃度を測定し、それらを用いて現存量と生産量を炭素換算して表した。また、関西国際空港2期事業に伴う海面の消失または変化予定面積を植物及び動物プランクトンは内部水面+埋め立て面積の583ha、ベントスは敷き砂面積+内部水面+埋め立て面積の772ha、海藻・葉上動物・付着動物は1期島西護岸の総延長3860m×幅34.38mの132706m²として試算した。

3. 結果および考察

3.1 浮游系

水温・塩分・水中光量子・クロロフィルaの垂直分布を調べたが、水温と塩分は各々10.1-27.9°C, 31.1-32.3psuの範囲を変動し、5月の水深1-3m層で塩分勾配が見られる他は、湾口部に近いために比較的上下均一であった。光エネルギーは8月の上層で高く(223-571 μ E/m²/s)、この場合水深5m層で表面光の約10%の光量となったが、その他の季節の10%光量は水深9-11m層とほぼ一定していた。クロロフィルa量は8月が高く、水深8m以浅では10 μ g/lを超える値が一部見られたのに対し、5月と11月は表層から海底付近まで5 μ g/l以下であった。1月は海表面から海底までほぼ5 μ g/l前後の値を示した。

植物プランクトンの生産速度とその時の透明度や補償深度を表-1に示す。基礎生産速度は0.61-6.9gC/m²/dayで、四季平均は2.75gC/m²/dayとなった。補償深度は9.3mから海底までの深さに近い17mまで変化し、透明度の1.4-4.8倍との値が得られた。大阪湾の基礎生産速度は0.86-4.5gC/m²/dayの範囲にあると報告されており(城, 1986; 山口, 1987)、本調査の8月の値を除けばこの報告値と大きな違いがなかった。

表-1 植物プランクトンの生産速度

年月日	基礎生産速度 (gC/m ² /day)	補償深度 (m)	透明度 (m)	優占植物 プランクトン
1998年5月26日	0.80	9.5	6.8	<i>Skeletonema costatum</i>
8月26日	6.9	>17	3.5	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>
11月26日	0.61	12.3	5.2	<i>Cryptomonas</i> sp.
1999年1月27日	2.7	9.3	6.5	<i>Eucampia zodiacus</i>

表-2 動物プランクトンの出現状況

調査年月日	種類数	個体数 (n/m ³)	現存量 (mgC/m ³)	生産量 (mgC/m ³ /day)	優占動物 プランクトン
1998年5月26日	30	126350	62.83	20.84	<i>Noctiluca scintillans</i>
8月26日	41	50512	100.13	38.47	<i>Paracalanus</i> sp. カイアシ目の ノープリウス幼生 <i>Oithona</i> sp. <i>Euterpina acutifrons</i>
11月26日	30	120750	79.39	19.36	<i>Noctiluca scintillans</i>
1999年1月27日	23	34423	40.63	2.99	<i>Noctiluca scintillans</i> <i>Paracalanus</i> sp. <i>Oikopleura</i> sp.
平均	31(65)	83009	70.75	20.42	<i>Noctiluca scintillans</i>

*種類数平均値の()内の数値は総種類数を示す。

**優占プランクトン欄には個体数比率が10%以上のものを記載した。

動物プランクトンの出現状況を表-2に示す。全季節を通じての出現種類数は65種であり、8月に多く、1月に少ない傾向が見られた。出現種の多くは沿岸・内湾域に一般的な種類であり、また、個体数はヤコウチュウ(*Noctiluca scintillans*)の出現に大きく影響され、8月を除きこの種の個体数比率は全体の48-67%を占めた。動物プランクトンの現存量と生産量はそれぞれ40.63-100.13mgC/m³(平均70.75mgC/m³)と2.99-38.47mgC/m³/day(平均20.42mgC/m³/day)であり、現存量・生産量とも城・宇野(1983)が報告した値に近く、夏季に高いという季節変化の傾向も類似していた。

次に関西国際空港島2期事業に伴い消失する海域と内部水面化などにより変化を受ける海域における植物および動物プランクトンの平均現存量と年間生産量を試算した。植物プランクトンの平均現存量は各調査時の水深別のクロロフィルa濃度と、城(1986)による大阪湾泉州沖でのクロロフィルa濃度(μ g/l)と懸濁態有機炭素濃度(μ g/l)の関係式($POC=36.8 \times Chl.a + 284$)から単位面積当たりの有機炭素量を計算し、これに内部水面と埋立面積の計である583haを乗じることによって求めた。また基礎生産速度については、*Rhizosolenia fragilissima*が第1優占種として卓越した1998年8月26日の数値が他の値と比べて高いので、この値を除いた残り3回の平

均値を用いた。ただ、大阪湾の赤潮情報から空港島周辺海域での *Rhizosolenia fragilissima* の卓越期間を9日間とし、この期間は本種などにより $6.9 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ の生産があったと見なした。その結果、本海域の植物プランクトンの平均現存量は 14.3 tC 、年間の単位面積当たりの基礎生産量が $549.8 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ で、対象海域全体では 3205 tC/year と試算された。この関西国際空港2期事業予定海域の年間基礎生産量は大阪湾全域のそれ（120万トン）の0.27%に相当する。同じく動物プランクトンについては、現存量が 8.2 tC 、また四季平均の日生産速度が $20.42 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ で、この値に消失予定海域の容積（面積：583 ha、水深：20 m で一定と仮定）と年間日数を乗じると年間生産量は 869 tC/year となった。

3.2 底生系

メイオベントスについては、全季節を通じて袋形動物の線虫類と原生動物である有孔虫が卓越し、この2種で全体の85%以上の個体数比率を占めた。ただ、出現種類数は6-8種類と貧困で、個体数は300-3808個体/ 0.004 m^2 の値であった（表-3）。また、分類群別の乾燥重量・平均個体数・有機炭素濃度などから求めた年平均現存量は $3.47 \times 10^{-2} \text{ gC/m}^2$ であり、この値と世代数や回転率などから単位面積当たりの年間生産量は $0.69 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と試算された。平川ら（1988）によると、三河湾の干潟域でのメイオベントスの年間生産量は $3.42 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と報告されており、本海域の生産量は三河湾干潟域の約1/5の値であることがわかる。

マクロベントスの出現状況を表-4に示す。出現種類数と個体数はそれぞれ32-69種、130-2059個体/ 0.8 m^2 で、晩夏と秋季に減少し、冬季と春季に増加する傾向が見られた。また個体数から見ると、季節によって異なる種類が優占したが、重量的にはウニの仲間であるオカメブナが卓越し次いでイカリナマコ科が多かった。St. 2と3の平均値で示したマクロベントスの単位面積当たりの年間平均現存量と年間生産量は 1.94 gC/m^2 と $4.55 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と推定された。玉井（1995）は、瀬戸内海のマクロベントス生産量を $19.1 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と報告しており、この値は本調査結果の4.2倍である。また林（1987）によると、新潟沖の水深0~40 mの砂浜底の生産量は $9.3 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ とされており、本海域は新潟沖に比べ約1/2の生産量であった。このように関西国際空港島北西護岸地先海域の単位面積当たりのメイオベントスやマクロベントス生産量が小さいのは、1) 水深が約20 mと深く、シルト・粘土分が60.6-98.9%と多いため、間隙生物の生息に適していないこと、2) そのため、生産性が高く瀬戸内海の普通種であるアサリなどの二枚貝類が大量に生息できないこと、3) 夏季の底層水の貧酸素化のため、生物生産が抑制されることなどが原因として考えられ

表-3 メイオベントスの出現状況

調査年月日	種類数 (/0.004 m ²)	個体数 (n/0.004 m ²)	優占動物
1998年5月26日	7	1040	線虫類 (61.9) 有孔虫 (23.8)
7月22日	6	300	線虫類 (86.7) 有孔虫 (5.3)
9月16日	8	3536	線虫類 (73.2) 有孔虫 (23.4)
11月26日	8	3808	線虫類 (69.2) 有孔虫 (21.1) 繊毛虫 (7.2)
1999年1月27日	7	848	線虫類 (63.2) 有孔虫 (24.5)
3月25日	7	3592	線虫類 (82.0) 有孔虫 (11.1)

*優占動物の（ ）内の数値は個体数比率を示す。

表-4 マクロベントスの出現状況

調査年月日	種類数 (/0.8 m ²)	個体数 (n/0.8 m ²)	湿重量 (g/0.8 m ²)	優占動物 (n/0.8 m ²)
1998年				
5月26日	62	2059	16	有孔虫 1219
7月22日	39	342	193	<i>Lumbrineris longifolia</i> 48
9月16日	35	130	74	<i>Paraprionospio</i> sp. type B 34
11月26日	32	265	23	シズクガイ 19 ケシトリガイ 96 シズクガイ 62
1999年				
1月27日	69	835	161	スナヒトデ科 212
3月25日	49	792	64	<i>Sigambra tentaculata</i> 140 <i>Harpiniopsis</i> sp. 96 ミナミシロガネゴカイ 83

*優占動物には個体数比率が10%以上のものを記載し、その右の数値は個体群密度を示す。

る。

対象海域のベントス生産量を試算するに先立ち、この海域をほぼ等面積の15区分に分け、それぞれの代表点においてベントス相を調べ、クラスター分析を行った。その結果、メイオベントスには分布の偏りが小さいことが、またマクロベントスはSt. 2と類似の12区分と、St. 3の生物相に近い3区分に分かれることが明らかとなった。このため、対象海域（772 ha）のベントス生産量を推定するに際して、メイオベントスはSt. 2と3の平均値を用い、マクロベントスはSt. 2とSt. 3の生産量に面積的な重みづけを行って試算した。本海域のメイオベントスとマクロベントスの平均現存量と年間生産量はそれぞれメイオベントスが 0.27 tC と 5.3 tC/year 、マクロベントスが 18.1 tC と 40.2 tC/year と推定された。

3.3 付 着 系

関西国際空港島北西護岸の水深0-1 mにはワカメ・タマハハキモクが、同2-3 mにはシダモクが、同4-9 mにはカジメが優占して分布していた。これらのうちワカメ、タマハハキモク、シダモクは春季に大型になる1年生の海藻で、他の季節にはこれらが繁茂していた場所にツノマタやアオサ属が優占した。多年生であるカジメは周年、

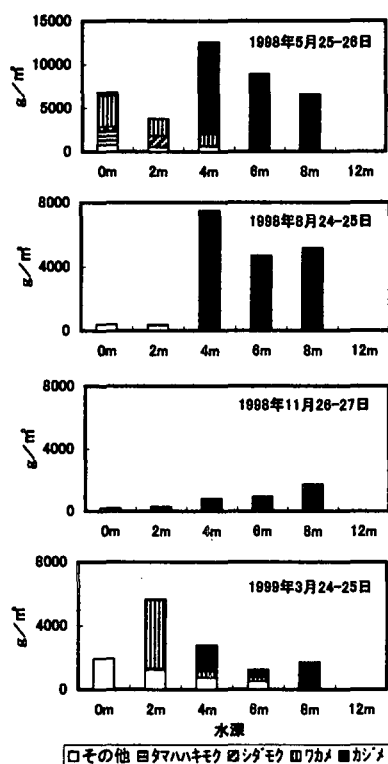


図-2 海藻の水深別現存量

護岸の水深4-9m層を広く覆っていた。

水深別現存量の季節変化を図-2に示す。坪刈り点を平均した各季の現存量は湿重658-6420 g/m²で(炭素量換算すると35.6-207.7 gC/m²), 秋季が最も少なく, 春季が最も多かった。種類別にはカジメの現存量が年間を通して最も多く, 最大現存量は658 gC/m²であった。次いで, ワカメが冬季から春季に多く出現し, 最大現存量は137 gC/m²であった。このほか, シダモク, タマハハキモクなどのホンダワラ類が秋季から春季にかけて繁茂した。なお, 水深12m層には海藻の繁茂がほとんど認められなかった。

空港島北西護岸域における海藻の平均現存量と年間生産量は14.6 tCと28.6 tC/yearと見積られ, 単位面積当たりでは216 gC/m²/yearに相当した。この値は水深10m以深の海藻がほとんど生えていない場所も含めた値であり, 海藻分布帯だけでは約360 gC/m²/yearほどになった。この海藻の生産量は単位面積当たりで見ると瀬戸内海全域平均の285 gC/m²/yearに近い値であった。

カジメ, タマハハキモク, シダモク, ワカメの葉上動物について測定した結果を表-5に示す。優占種は節足動物ではワレカラやカマキリヨコエビの仲間, 軟体動物ではイガイ科の稚貝, 環形動物ではウズマキゴカイ科の多毛類であった。また, 葉上動物の現存量は海藻の生育

表-5 主要海藻に出現した葉上動物の現存量

海藻	葉上動物	海藻1kg当りの葉上動物の湿重量(g)			
		98年5月	98年8月	98年11月	99年3月
カジメ	環形動物	0.12		0.22	
	軟体動物	0.11	0.17		
	節足動物	12.20	0.22	0.28	2.21
	その他	0.02	0.04	0.03	
	タマハハキモク	1.00	10.81	0.06	
シダモク	軟体動物	16.32	0.06	0.04	
	節足動物	167.18	6.19	11.35	41.96
	その他	0.67		1.61	
	ワカメ	0.63			
	軟体動物	0.33			0.32
ワカメ	節足動物	61.87	1.00	8.86	8.13
	その他	0.12			
	軟体動物	0.56			
	節足動物	1.20			

状況の季節変化を反映して, 季節により大きく変動した。例えばタマハハキモク1kg当たりの現存量は春季には湿重約185gであったが, 他の季節には13.1-42.0gに減少した。また, カジメ, シダモク, ワカメについては春季のシダモクの63.0kgを除くと, それぞれ海藻1kg当たり0.43-8.9gと少なかった。空港島北西護岸域における葉上動物の現存量と年間生産量は, 主要海藻であるカジメ・ワカメ・シダモク・タマハハキモクの現存量と, それらの単位重量当たりの葉上動物量, 葉上動物の炭素濃度, 回転率などから推定した。葉上動物のうち大半を占める環形動物・軟体動物・節足動物の平均現存量と年間生産量は, 環形動物が4.47 kgCと15.2 kgC/year, 軟体動物が7.47 kgCと25.4 kgC/year, 節足動物が151.1 kgCと513.9 kgC/yearとなり, これらについて合計した値から, 空港島北西護岸全体での葉上動物の現存量はほぼ0.16 tC, 同年間生産量は0.55 tC/yearと見積もられた。

付着動物の水深別現存量の季節変化を図-3に示す。坪刈り点を平均した各季の現存量は湿重461-684 g/m²で, 秋季が最も少ないもののあまり大きな変動はなかった。また, 水深別には4-6m層と12m層に多く出現した。全体を通じて主な出現種は二枚貝類のコベルトフネガイとイタボガキ科で, 他に巻き貝類, サンカクフジツボ, イトマキヒトデ, ナマコ類, ホヤ類などが出現した。主要付着動物12種の乾重量と炭素量(二枚貝とフジツボ類は軟体部と殻に分けて測定)ならびに回転率から, 空港島北西護岸域における付着動物の平均現存量と年間生産量を見積もると2.3 tCと3.3 tC/yearとなった。

4. ま と め

今回, 関西国際空港2期事業に伴う海面の消失や新たな護岸の創出などが, 空港島近傍海域の生態系に及ぼす影響を評価するための事前調査として, 工事着工前の対象海域における栄養階層別の生物について(プランクト

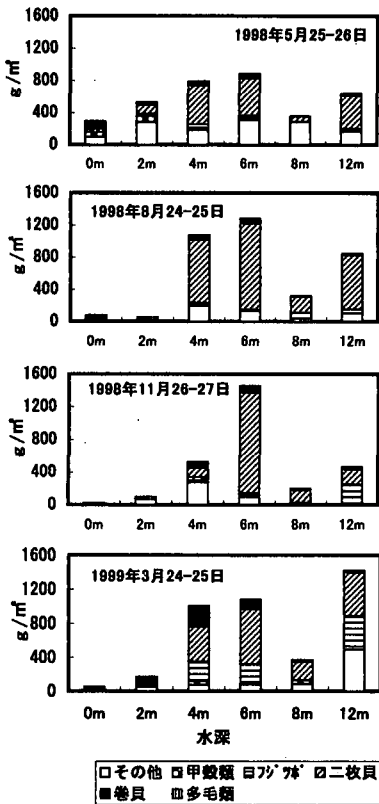


図-3 付着動物の水深別現存量

ン・海藻・ベントス・葉上動物・付着動物など) 現存量や年間生産量を比較・検討した。その結果は表-6 に示すように、現存量(炭素量換算)としてはマクロベントスが18.1トンと最も多く、続いて海藻の14.6トンと植物プランクトンの14.3トンとなった。また、単位面積当たりの生産量は植物プランクトンが550 gC/m²/year 高いものの、海藻もほぼこれに匹敵するくらいの生産力であった。このことは、適切かつ大規模な藻場造成により生物生産量をかなり増大できる可能性を示している。ただ、対象海域全体で考えれば、生産量が多いのは植物プランクトンや動物プランクトンなどの浮游系の生物で、両者で全体(4152トン)の98%を占めた。この年間生産量に関して浮游系の寄与が大きいという特徴は、1) 水深約20mの空港島近傍海域において、プランクトンは3次元に分布するのに対し、海藻・ベントス・葉上動物・付着動物はほぼ2次元的な分布に限定されること、2) プ

表-6 対象海域での栄養階層別の生物現存量と生産量

栄養階層	年平均現存量 (tC)	年間生産量 (tC/year)	単位面積当たりの 生産量 (gC/m ² /year)
植物プランクトン	14.3	3205.0	550
海藻	14.6	28.6	360 ^b
動物プランクトン	8.2	869.0	149
メイオベントス	0.27	5.3	0.7
マクロベントス	18.1	40.2	5.2
葉上動物	0.16	0.55	6.9 ^b
付着動物 ^a	2.3	3.3	24.9

^a炭素換算した値。

^b付着生物には葉上動物を含む。

^c海藻繁茂域1m²当たりの生産量。

ランクトンは他の生物群に比べ小型で、増殖速度が速く、単位時間当たりの生産量が高いことなどに起因する。以上のように年間生産量という点では現空港島の近傍海域において浮游系の役割の大きいことが明白となった。このことは沿岸域で生物生産を評価する場合、ある時間や場所での生物生産量(=現存量)だけでなく、その生産速度をも視野に入れて比較・検討しなければならないことを示唆している。

参 考 文 献

- 城 久・宇野史郎 (1983): 大阪湾における動物プランクトンの現存量とそれから見積もられる生産量, 日本プランクトン学会報, 第30巻, pp. 41-51.
- 城 久 (1986): 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産に及ぼす影響について, 大阪府水産試験場研究報告, 第7巻, pp. 1-174.
- 玉井恭一 (1995): ベントス生産量の推定方法, 第1回瀬戸内海資源海洋研究会報告, pp. 37-38.
- 玉井恭一 (1996): 漁業生産を支える環境と低次生産, ベントス, 瀬戸内海の生物資源と環境, 恒星社厚生閣, pp. 71-75.
- 林 勇夫 (1987): 新潟砂浜域のマクロベントス群集の生産, 有用生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究(第II期)成果報告書, 科学技術庁研究開発局, pp. 148-159.
- 平川和正・熊田 弘・佐々木克之 (1988): 三河湾干潟域における自由生活線虫類の生産量推定, 東海区水産研究所報告, 第125巻, pp. 83-88.
- 山口峰生 (1987): 植物プランクトンの生産, 現存量と生産量, 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究(第II期)成果報告書, 科学技術庁研究開発局, pp. 207-301.
- Ikeda, T. and S. Motoda (1978): Estimated zoo-plankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. Fish. Bull. NOAA, U.S., Vol. 76, pp. 357-366.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. and Chihara, M. (1970): Productivity of the *Ecklonia cava* Community in a Bay of Izu Peninsula on the Pacific Coast of Japan. Bot. Mag. Tokyo., Vol. 100, pp. 129-141.