

東京湾南部の底生生物相

奥井 操・清水 詢道

Benthic Fauna in the Southern Region in Tokyo Bay

Misao OKUI*, Takamichi SHIMIZU**

はじめに

東京湾は、千葉県、東京都、神奈川県に囲まれた海域で、沿岸の人間生活のもたらす適度の有機物と栄養塩の供給によって、全国でも有数の生き物の豊かな湾であった。しかし、昭和30年代に始まったいわゆる高度経済成長の過程で、大規模な埋立や流入水質の汚濁、過栄養化などの人為的影響によって、環境及び生物相は大きく変化してしまった。汚染に弱い種の漁獲量は急速に減少し、現在では規制が進んだことによって若干の回復は見られるものの、総漁獲量は一貫して減少しつづけている(清水¹⁾)。一方、環境変化に順応できるところ限られた種が個体群を繁栄させている(風呂田²⁾)。東京湾内では生物相の単純化が進み、漁獲が特定の種に集中する傾向が顕著であり、このような傾向は何らかの異変を示唆するものと考えられ、環境の更なる悪化を懸念すべき時期である(清水¹⁾)。

このような環境の中でおこる生物相の時空間的変動を把握し、その原因を明らかにすることは、今後東京湾において資源管理型漁業を推進するにあたって漁業生産の予測・管理および環境評価に寄与するために重要である(児玉³⁾)。漁獲統計資料を使用した解析からも生物相の変化についての概略を知ることは可能だが、漁獲対象になっていない生物や、漁場以外の水域における生物相についての知見は得られない(児玉³⁾)。

神奈川県水産総合研究所では1993年から東京湾南部の底生生物相の変化を把握するために生物相モニタリング調査を実施してきているが、本報では1993年4月から2000年12月までの調査データを解析して、底生生物の分布と時間的変化の特長を明らかにすることを試みた。

材料と方法

生物相モニタリング調査は、東京湾南部に設定した5定点(図1)で、1993年4月から原則として月1回実施している。調査に使用した船舶は、1993年度はうしお(19トン)、94年度以降はさがみ(49トン)、使用した漁具は小型底びき網(ビーム長3m、袋の目合は呼称目合16節)

で、東京湾で通常使用されている底びき網の約1/2の大きさのものである。調査は年間に7-11回、8年間で計69回実施した。曳網回数は延べ293回であった。1回の曳網時間は船速2ノットで20分間とした。調査を行っても、諸事情で曳網時間が20分に達しない場合もあったが、この場合には曳網時間を20分に換算してデータとした。採集したサンプルは、船上で10%ホルマリン溶液に浸漬して持ち帰り、研究所内で種の査定、種ごとの個体数の計数、重量の測定を行った。主要な種については個体別に体長・体重を測定した。また、海況や他漁業の操業などによって毎月全ての定点での曳網が実施できなかったため、1曳網あたりの採集重量(CPUE)を豊度指標として解析を行った。

後で定める主要種について、統計学的に時空間的変動を明らかにするためクラスター分析および主成分分析を行った。解析において上位種と下位種で優占度の差が大きい場合、確率分布の歪みによって解析結果には上位種に過度の重みがかかることを考慮し、主要種のCPUEについて平方根変換を行った。クラスター分析の際に類似度指数としてBray-Curtis指数(Field et al.⁴⁾)を用い

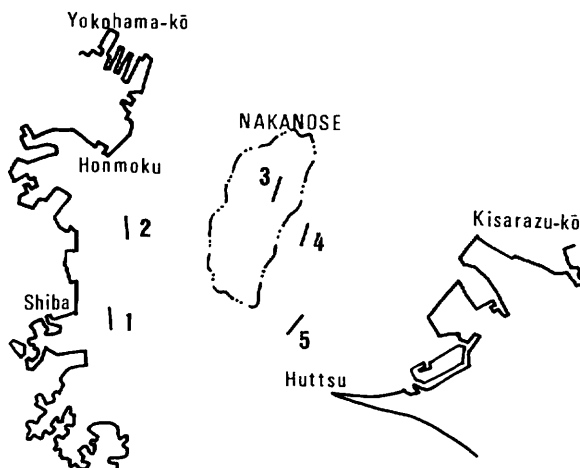


図1 調査地点図

た。Bray-Curtis指数は次の式で表される。

$$S_{AB} = 1 - \sum_{i=1}^s |n_{iA} - n_{iB}| / (N_A + N_B)$$

ただし、 S_{AB} ：地点A、B間の類似度指数

s ：総種数

N_{iA} ：地点Aにおける*i*種のCPUE

N_{iB} ：地点Bにおける*i*種のCPUE

N_A ：地点Aにおける全CPUE

N_B ：地点Bにおける全CPUE

である。

また、多様度指数としてShannon-Wiener関数 (H' 、小林、⁵⁾)を用いた。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

ただし、 $P_i = n_{ij} / N_j$ 、 $N_j = \sum_{i=1}^s n_{ij}$ 、 n_{ij} は*i*種のサンプル *j* における重量である。⁶⁾

さらにPielouの平衡性指数 (J' 、Pielou、⁶⁾)も求めた。 $J' = H' / \ln S$ ここで $\ln S$ は総出現種数の自然対数である。

結 果

1. 群集構造および主要種

全69回の調査によって、計143種が採集された。類別内訳は魚類83種 (57.4%)、長尾類16種 (11.5%)、短尾類35種 (25.0%)、頭足類8種 (5.4%)、シャコ (0.7%)であった (表1)。総採集個体数は223219個体で、長尾類が最も多く全体の79.0%を占めた。魚類は13.3%、短尾類は4.5%、シャコは2.4%、頭足類は0.9%であった。採集重量でみると、総重量317.7kgのうち魚類が全体の40.8%を占め、長尾類26.2%、シャコ14.4%、頭足類

11.0%、短尾類7.5%であった。

各分類群別に種数、種類別の個体数および重量について調べ、全種類について69回の調査における組成を求めた。その結果、出現した143種のうち組成比0.5%以上の25種が全重量のおよそ94%を占めた。これら25種を主要種と考えた。主要種の中でもエビジャコ、ハタタテヌメリ、シャコの出現頻度は特に高く、全体に対して単独で14.4-15.5%、3種合計では44.5%の高い占有率を示した (表2)。

2. 多変量解析による分布傾向

St.1からSt.5間で全ての地点で曳網が行われた調査は全69回のうち41回であった。この41回の調査について、各地点における漁獲重量をまとめ、多変量解析を行った。

主要種についてBray-Curtis類似度指数により各地点間の類似度を求め、クラスター分析を行った。その結果、調査海域は湾西部 (St.1、St.2) の群と湾東部 (St.3-St.5) の群に2分できた。さらに、湾東部の中ではSt.3、4とSt.5の2群に分かれた (図2)。同じデータを用いて主成分分析を行ったところ、第2主成分までで89.3%の寄与率が得られた (表3)。第1主成分ではエビジャコ、

表1 全調査における類別の生物組成

	魚類	頭足類	シャコ	長尾類	短尾類	Total
種数	83	8	1	16	35	143
(%)	57.4	5.4	0.7	11.5	25.0	100
個体数	29657	1933	5265	176354	10010	223219
(%)	13.3	0.9	2.4	79.0	4.5	100
重量(kg)	129.8	34.8	45.8	83.3	24.0	317.7
(%)	48.0	11.0	14.4	26.2	7.5	100

表2 重量における主要種

順位	種名	学名	分類群	重量(%)	組成比(%)
1	エビジャコ	<i>Crangon atniss</i>	長尾類	49.1	15.5
2	ハタタテヌメリ	<i>Repomucenus valenciennei</i>	魚類	46.3	14.6
3	シャコ	<i>Oratosquilla oratoria</i>	シャコ	45.8	14.4
4	ゲンコ	<i>Cynoglossus interruptus</i>	魚類	18.0	5.7
5	サルエビ	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	長尾類	15.7	5.0
6	スジハゼ	<i>Acentrogobius multifasciatus</i>	魚類	14.8	4.7
7	マダコ	<i>Octopus vulgaris</i>	頭足類	12.0	3.8
8	テナガテッポウエビ	<i>Alpheus japonicus</i>	長尾類	11.8	3.7
9	フタホシシガニ	<i>Charybdis bimaculata</i>	短尾類	10.9	3.4
10	コモチシャコ	<i>Amblychaeturichys sciistius</i>	長尾類	10.0	3.1
11	コウイカ	<i>Sepia esculenta</i>	頭足類	8.3	2.6
12	ケブカエンコウガニ	<i>Carcinoplax vestita</i>	短尾類	8.2	2.6
13	テンジクダイ	<i>Apogon lineatus</i>	魚類	7.4	2.3
14	テナガダコ	<i>Octopus minor</i>	頭足類	7.3	2.3
15	マアナゴ	<i>Conger myriaster</i>	魚類	7.2	2.3
16	ミミイカ	<i>Euprymna scolopes</i>	頭足類	4.0	1.2
17	アカハゼ	<i>Amblychaeturichys hexanema</i>	魚類	3.6	1.1
18	ハオコゼ	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	魚類	3.1	1.0
19	イイダコ	<i>Octopus membranaceus</i>	頭足類	3.1	1.0
20	ホタテウミヘビ	<i>Pisodonophis zophistius</i>	魚類	3.0	0.9
21	スタウナギ	<i>Eptatretus burgeri</i>	魚類	2.0	0.6
22	トガリガニ	<i>Pisoides ornmanni</i>	頭足類	2.0	0.6
23	イズミエビ	<i>Plesionika izuminae</i>	長尾類	1.8	0.6
24	マコガレイ	<i>Pleuronectes yokohamae</i>	魚類	1.8	0.6
25	クルマエビ	<i>Penaeus japonicus</i>	長尾類	1.7	0.5

表3 各定点における主要種についての主成分分析結果

種名	因子負荷量	
	PC1	PC2
エビジャコ	0.18	0.33
ハタタテヌメリ	0.89	-0.33
シャコ	0.97	-0.13
ゲンコ	-0.32	0.92
サルエビ	0.45	0.62
スジハゼ	0.99	0.00
テナガテッポウエビ	0.99	0.14
フタホシシシガニ	0.98	0.15
コモチシャコ	0.98	0.11
コウイカ	-0.34	0.90
ケバカエンコウガニ	0.92	-0.19
テンジクダイ	-0.61	-0.46
テナガダコ	0.41	0.91
マアナゴ	0.80	-0.04
ミミイカ	0.22	0.10
アカハゼ	0.93	-0.35
ハオコゼ	0.44	0.77
イイダコ	-0.72	0.65
トガリガニ	-0.47	-0.15
イズミエビ	0.93	0.07
クルマエビ	-0.05	0.89
マコガレイ	0.58	0.75
マダコ	-0.07	0.95
ホタテウミヘビ	0.22	0.89
ヌタウナギ	0.83	-0.42
固有値	7079.0	2872.1
累積寄与率(%)	63.6	89.3

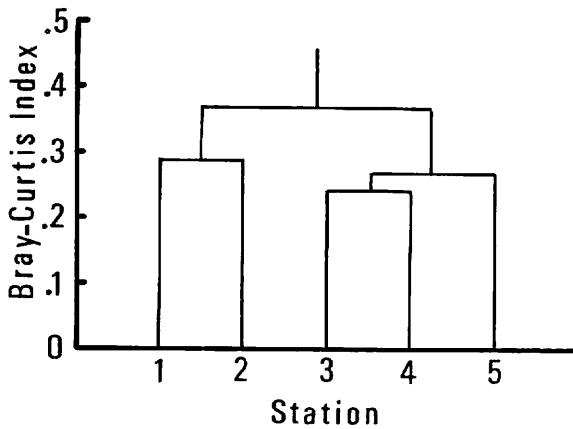


図2 各定点における主要種CPUEについてのBray-Curtis類似度指数によるデンドログラム

ハタタテヌメリ、シャコなど正の因子負荷量を持つ種が多く、主成分得点から第1主成分は湾西部と東部のどちらにより多くの種が分布しているかを示していると考えられる(図3)。なお、第1主成分において負の因子負荷量を持つ種はテンジクダイ、トガリガニ、イイダコなどであった。

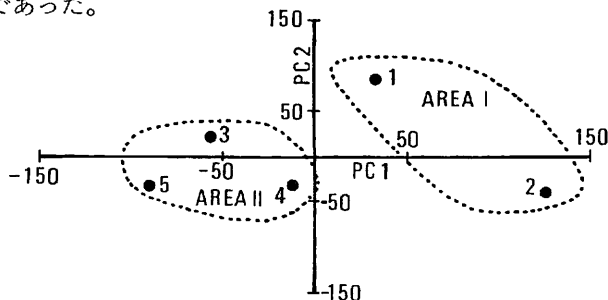


図3 第1,2主成分の得点の散布図による海域区分(破線はクラスター分析に基づいたグループ)

次に、第2主成分ではゲンコ、マコガレイ、コウイカなどが正の因子負荷量を示し、テンジクダイ、ハタタテヌメリ、シャコなどが負の因子負荷量を示していた。第2主成分は第1主成分に比べて寄与率が低く、また明確な分布パターンは読み取れなかった。

以上の結果から、湾西部をArea I、湾東部をArea IIとして、各AreaのCPUEを見ると、Area IではIIの倍以上の漁獲が得られていた。主要種であるエビジャコ、シャコ、ハタタテヌメリ、スジハゼ、コモチジャコなど多くの種でCPUEが高かった。Area IIではトガリガニ、テンジクダイ、ミミイカなどのCPUEが高かった。しかし、両Areaにおける多様性指数(H')と平衡性指数(J')を求めたところ、これらには大きな差は見られなかった。

3. 主要種の季節変化

多変量解析によりArea Iに多くの種が存在していることが明らかになったので、Area Iについて季節変化および経年変化を検討した。

Area Iにおける全CPUEの経月変化をみると、春から夏にかけて大きく増加していた。6月の約6.2kg/towをピークとして秋から冬には減少し、最小となる1月には1.2kg/towまで減少した。分類群別の推移については、魚類は5月から増加しはじめ9月をピークとして10月には大きく減少し、11月から4月にかけては大きな変化はみられなかった。頭足類には安定した傾向はみられず、6月に一度ピークを迎えた後、9月まで大きく減少したが、11月には6月とほぼ同じレベルまで増加した。シャコは5月から夏にかけてCPUEは大きく増加したが9月には大きく減少し、冬季における変動は小さかった。長尾類のCPUEは4月から増加し、7月から急激に減少、冬季の変動は小さかった。短尾類は魚類に似た傾向を示したが、最大値は8月に得られた(図4)。

■短尾類 ■長尾類 ■シャコ □頭足類 ■魚類

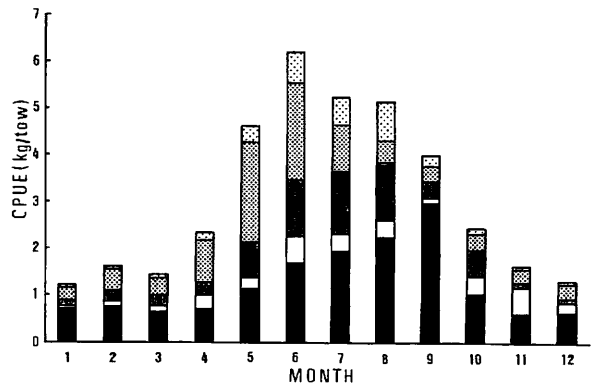


図4 AREA IにおけるCPUEの経月変化

季節区分をより明確にするため、Area Iにおける各月の主要種についてクラスター分析および主成分分析を行った。クラスター分析の結果、4-10月(Season I)と11-3月(Season II)の2期に大きく分けられた(図5)。主成分分析においては、第2主成分までで67.5%の

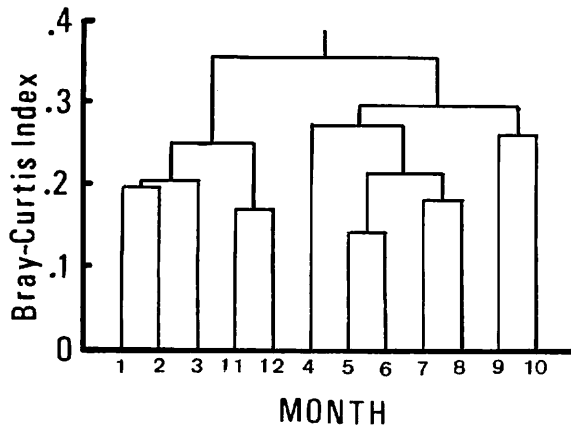


図5 AREA Iにおける各月の主要種CPUEについてのBray-Curtis類似度指数によるデンドログラム

表4 AREA Iにおける各月の主要種CPUEについての主成分分析結果

種名	因子負荷量	
	PCI	PC2
エビジャコ	0.76	0.59
ハタタテヌメリ	0.78	-0.35
シャコ	0.95	-0.09
ゲンコ	0.45	-0.68
サルエビ	0.06	0.41
スジハゼ	0.87	-0.41
テナガテッポウエビ	0.83	0.49
フタホシシガニ	0.95	0.05
コモチシャコ	-0.18	-0.67
コウイカ	-0.03	-0.51
ケブカエンコウガニ	0.91	-0.26
テンジクダイ	0.07	-0.49
テナガダコ	0.47	0.73
マアナゴ	0.10	-0.11
ミミイカ	-0.61	0.49
アカハゼ	0.25	-0.40
ハオコゼ	0.83	-0.05
イイダコ	-0.37	-0.38
トガリガニ	0.58	0.00
イズミエビ	0.17	0.85
クルマエビ	0.21	-0.70
マコガレイ	0.18	-0.48
マダコ	0.46	-0.24
ホタテウミハヒ	0.35	-0.56
スタウナギ	0.24	-0.18
固有値	346.0	121.3
累積寄与率(%)	50.0	67.5

寄与率が得られた。第1主成分はエビジャコ、ハタタテヌメリ、シャコをはじめとして正の因子負荷量を持つ種が多かった(表4)。第1主成分についての主成分得点から、第1主成分は2つの時期のどちらで多く漁獲されたかを示していると考えられた。正の因子負荷量を持つ種は春から夏にかけての漁獲が多く、負の因子負荷量を持つ種は秋から冬にかけての漁獲が多いことが示された。第2主成分はエビジャコ、サルエビ、テナガテッポウエビを除くほとんどの種で負の因子負荷量を持っていた。負の因子負荷量を持つ種は7-12月の漁獲が多く、正の因子負荷量を持つ種は1-6月の漁獲が多いことが示された。魚類は全て負の因子負荷量を持っており、CPUEのピークを9月に示すものが多かった。以上の結果、大きく2分された季節の間で漁獲の傾向に差があることが明らかになった。

4. 主要種の経年変化

主要種の経年変化を明らかにするために、Area Iにおける各年の主要種のCPUEについてクラスター分析および主成分分析を行った。

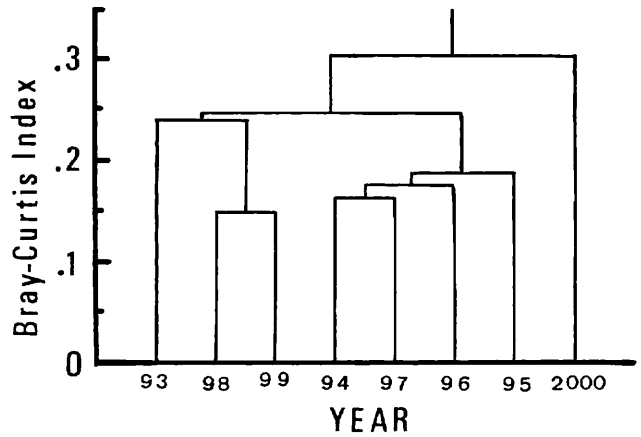


図6 AREA Iにおける各年の主要種CPUEについてのBray-Curtis類似度指数によるデンドログラム

表5 AREA Iにおける各年の主要種CPUEについての主成分分析結果

種名	因子負荷量	
	PCI	PC2
エビジャコ	-0.64	0.70
ハタタテヌメリ	0.13	0.67
シャコ	0.86	0.36
ゲンコ	0.34	0.23
サルエビ	0.12	0.49
スジハゼ	0.77	-0.39
テナガテッポウエビ	0.44	0.05
フタホシシガニ	0.08	0.81
コモチシャコ	0.23	-0.10
コウイカ	-0.25	-0.77
ケブカエンコウガニ	0.58	-0.57
テンジクダイ	0.61	-0.71
テナガダコ	0.37	0.77
マアナゴ	0.40	0.79
ミミイカ	-0.06	-0.62
アカハゼ	0.64	-0.02
ハオコゼ	-0.66	-0.65
イイダコ	0.01	-0.26
トガリガニ	-0.14	-0.22
イズミエビ	0.26	0.58
クルマエビ	0.02	-0.58
マコガレイ	-0.36	0.84
マダコ	0.57	-0.05
ホタテウミハヒ	-0.52	-0.61
スタウナギ	-0.26	-0.06
固有値	180.1	158.5
累積寄与率(%)	34.5	64.9

クラスター分析の結果、調査期間は1993年(Period I)、94-97年(Period II)、98-99年(Period III)、2000年(Period IV)の4つの群に分けられた(図6)。主成分分析では、第2主成分までで約65%の寄与率が得られた。第1主成分はシャコ、スジハゼ、アカハゼなど多くの種が正の因子負荷量を持っていた(表5)。主成分得点から、第1主成分は4つにわたる期間のうち、93、98、99年に漁獲が多かった種とそれ以外の年に漁獲が多かった種に分けられると考えられた。第2主成分ではマコガレイ、フタホシシガニ、マアナゴなどが正の因子負荷量を、コウイカ、テンジクダイ、ハオコゼなどが負の因子負荷量を持っていた。主成分得点から、第2主成分は93-

97年および98-2000年に分けられると考えられた。正の因子負荷量を示したマコガレイは95-97年、フタホシシガニは95年、マアナゴは93年の漁獲が多く、負の因子負荷量を示したコウイカ、ハオコゼは2000年、テンジクダイは98年における漁獲量が多かった。

考 察

調査海域は、漁獲重量および生物組成の違いから、西部海域（神奈川県側）と東部海域（千葉県側）の2海域に大きく分けられた。この区分は2海域の海底地形に対応しており、それに基づく様々な生息環境の違いが影響していると考えられる。調査海域は東京湾南部の中の瀬を中心としているが、中の瀬の両側は谷になって水深が急に深くなっているが、特に神奈川県側で顕著であり、海底は岩礁性で起伏が激しい。底質は多くは泥に覆われているが一部では岩盤が露出しやや外洋的な性格をもっている（風呂田²⁾）。一方、千葉県側では遠浅で底質は砂質である。調査海域はこれらの環境の違いによって大きく2分されたと考えられる。全体の約70%の漁獲はArea Iで漁獲されている。しかし、どちらのAreaでも主要種が全体の95%を占めており、主要種は湾内に広く生息していると考えられる。主要種のうち、エビジャコ、ハタタテヌメリ、シャコは特に漁獲が多く、この3種で、Area Iでは主要種の49%、Area IIでは43%を構成していた。1977年から1995年にかけて、東京大学水産資源学研究室によって行われた試験底びき網漁獲調査ではシャコの漁獲量が最も多く、次いでハタタテヌメリ、マコガレイの順であり（児玉³⁾）、本調査の結果とはかなり異なっている。東京大学の調査は通常の操業に用いられている底びき網と漁船を使用していたために、本調査で使った底びき網とは網の規模、網目、船速などが異なり、本調査で得られた種、特にエビジャコ、テナガテッポウエビなどの小型長尾類は網目を抜けてしまうことによって漁獲されず、逆に本調査ではほとんど採集されなかったアカエイ、ホシザメ、スズキなど遊泳能力の高い種が漁獲されている。海域の生物相全体を把握するためには、本調査のような採集方法によるものだけでなく、実際の漁業による漁獲の状況もあわせて検討していく必要がある。生物の分布には底質環境も大きく影響すると考えられる。特に東京湾では春から夏にかけての海底の貧酸素化および無酸素化が大きな問題となっており、形成される貧酸素水塊の動向は生物の分布に大きな影響を与える。海水の停滞性の高い海域では海底の底質は多量の有機物を含んでおり、これらの増加は海域の富栄養化との関係が大きく、有機物が多いと常に酸素消費が続き貧酸素に陥る。このような現象は湾奥部の広範囲および港湾内部でみられる。しかし、調査海域である湾南部は外洋との海水交換による酸素供給が続いていると考えられ、多様で豊富な生物群集が維持されている。このことから湾南部は多くの生物にとって生息可能な環境であると同時に、湾北部を生息の中心とする種にとっては、夏季に生き残り冬季に資源を回復させるために必要な空間となっ

ていると考えられる。

このことは、季節変化にも現れていると考えられる。主要種の季節変化は4-10月（Season I）と11-3月（Season II）に大きく2分され、Season Iでは多くの種のCPUEが増加していた。これは水温の上昇による生物活性の増加と湾北部に生息している種が貧酸素水塊を避けて南下したことによると考えられる。その後Season IIにはCPUEは減少するが、貧酸素水塊の解消に伴って分布を北上させた種がいることも原因のひとつであろう。経年変化については調査期間が大きく4つのPeriodに分かれることが示されたが、その原因について明らかにできるとはいえない。多様性指数や平衡性指数の検討をあわせて、海域全体の生物相の変動を検討していく必要があり、今後の重要な課題である。

要 約

1. 東京湾南部の5定点において、1993年から小型底びき網を用いて、生物相モニタリング調査を行った。調査結果をクラスター分析および多変量解析によって検討した。
2. 69回の調査で、魚類83種、長尾類16種、短尾類35種、頭足類8種、シャコ、計143種が採集された。
3. 個体数、重量の組成から、エビジャコ、ハタタテヌメリ、シャコなど25種が主要種であると考えられた。
4. 主要種の分布は湾西部（Area I）と湾東部（Area II）に大きく2分された。
5. Area Iにおける主要種の出現は、4-10月（Season I）と11-3月（Season II）に2分された。
6. 調査期間は、1993年（Period I）、94-97年（Period II）、98-99年（Period III）、2000年（Period IV）の4期に分けられた。

文 献

- 1) 清水 誠 (1997) : 水産生物、東京湾の生物誌、築地書館、143-154.
- 2) 風呂田 利夫 (1997) : 東京湾の生態系と環境の現状、東京湾の生物誌、築地書館、2-23.
- 3) 児玉 主太 (2001) : 東京湾における底生魚介類群集の長期変動と環境変動、東京大学大学院修士論文
- 4) Field J. G., K. R. Clarke and R. M. Warwick (1982) : A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. Marine Ecology Progress Series, 8, 37-52.
- 5) 小林 四郎 (1995) : 生物群集の多変量解析、蒼樹書房
- 6) Pielou E. C. (1969) : (南雲 仁一訳、1975) 数理生態学、産業図書