

東京湾の平場におけるカニ類相と多様性

土井 航・渡邊 精一・清水 詢道・田島 良博

Wataru Doi, Seiichi Watanabe, Takamichi Shimizu and Yoshihiro Tajima:
Brachyuran Fauna and its Species Diversity
of Subtidal Flat Area in Tokyo Bay

Abstract. We performed four types of sampling surveys using beam trawls and a sledge net during 2002-2006 in order to reveal the brachyuran fauna and its diversity at the subtidal flat area in Tokyo Bay. Species composition, k of rank-abundance relationship (Motomura's geometric series), expected number of species from Hurlbert rarefaction curve ($ES(50)$), logarithmic inverse of Simpson's index ($\log(1/D)$), and Pielou's evenness index (J') were determined. Similarities of the species composition between the present and preceding studies were evaluated using Pearson's phi correlation. In this study, a total of 16,916 individuals from 41 species of 16 families were collected. The top three species, *Carcinoplax vestita*, *Pyromaia tuberculata*, *Charybdis bimaculata* accounted for 95% of the total samples in number. Every diversity index of this study were lower than the previous study at the same area in 1950's. Phi coefficient showed the species composition of 2002-2006 had the positive similarity to that of 1970's-1980's, but negative to 1950's. Those results suggest that the brachyuran fauna of Tokyo Bay considerably changed both quantitatively and qualitatively during 1960's probably due to environmental changes.

はじめに

東京湾の内湾潮下帯には湾の大部分を占める平場と呼ばれる平坦な砂泥底が広がっている。同海域の生物相調査は底生魚類・動物ベントスに関する学術的なものに限っても、1954年の底曳網調査(Kubo & Asada, 1957)を皮切りに1977～1984年(時村, 1985; 時村・清水, 1998), 1977～1995年(Kodama *et al.*, 2002), 1984～1985年(中田, 1988), 1993～2000年(奥井・清水, 2002), 2002～2004年(土井ら, 2004)と断続的・継続的に行われている。10～20年規模の長期的データの解析から、東京湾の底生魚類・大型動物ベントスの群集構造は湾内の非生物環境とともに変化していることがわかっている(Kodama *et al.*, 2002; 奥井・清水, 2002)。しかし、これらの解析ではより大型の動物が対象であり、カニをはじめとする甲殻類は主たる解析対象になっていない。近年の東京湾においては特定種のカニの個体数が一時的または持続的に著しく増加する現象が知られている。湾奥部の潮下帯を中心に外来種イッカクモガニ *Pyromaia*

tuberculata (Lockington, 1877) が高密度に生息しており(風呂田・古瀬, 1988; 土井ら, 2004), 同じく外来種のチチュウカイミドリガニ *Carcinus aestuarii* Nardo, 1847 が1990年代前半を中心に湾奥の運河や人工潟湖において大発生した(渡邊, 1995; Furota *et al.*, 1999)。在来種についても、1999年の湾中央～湾口部におけるオヨギピンノ *Tritodynamia horvathi* Nobili, 1905の群泳集団の形成(工藤, 2000), 2005年の千葉県富津市沖におけるアシナガツノガニ *Phalangipus hystrix* (Miers, 1886)の大群発生(武田ら, 2007), 2003, 2004年の底曳網採集物におけるケブカエンコウガニ *Carcinoplax vestita* (De Haan, 1833)の増加(堀口, 2005)が報告されている。カニ類についてはこれら特定種の個体数増加現象に関する情報が蓄積される一方で、複数種以上の生物群集レベルでの変化についての知見はない。そこで、著者らは2000年代以降の東京湾内湾潮下帯に生息するカニ類動物相と、先行研究が行われた1950年代以降の群集構造の変化を明らかにすることを目的に2002年から

2006 年の 5 カ年におよぶ底曳網とソリネットによる採集調査を行なった。

材料および方法

調査海域

東京湾は観音崎（横須賀市）と富津岬（千葉県富津市）を湾口に持つ本州中部に位置する閉鎖性の湾で、その面積は 960 km²、水深は平均約 15 m である（小倉，1993）。横浜市の本牧（横浜市中区）と富津岬を結ぶ線の中心域は平均水深が約 15 m で、水深が 25～40 m の周囲の海底から盛り上がっている。中ノ瀬と呼ばれるこの海域は、潮流による海水交換が頻繁なために湾奥ほど酸素濃度は低下せず、生物が豊富に生息する東京湾の主要漁場になっている（風呂田，1997）。本研究の採集場所は中ノ瀬周辺と本牧～金沢沖、外湾部の浦賀水道といった東京湾南部である（図 1）。

採集方法

本研究では以下の 3 種類の底曳網、および 1 種類のソリネットを使用したベントス採集調査を日中に行ない標本を採集した（図 1; 表 1）。

調査 I（生物相モニタリング調査）

調査 I は神奈川県水産技術センターが毎月 1 回行なっている小型底曳網による底生魚類とベントスの動物相調査である。2002 年 4 月から 2006 年 9 月にかけてカニ類の標本を収集した。調査域は東京湾内湾の湾口側に位置する中ノ瀬周辺に設定した 5 定点で（図 1, M1-M5）、1 定点につき 1 回ずつビーム・トロールを曳網した。海況などの理由から一部の月・定点では実施できなかった。

調査 II（試験底曳網漁獲調査）

調査 II は横浜市漁業協同組合所属の小型底曳網漁船を用いて 2002 年 10 月から 2003 年 10 月までの間、月 1 回の頻度で行なった。調査域は調査 I と同じく中ノ瀬周辺で、7 定点で 1 回ずつビーム・トロールを曳

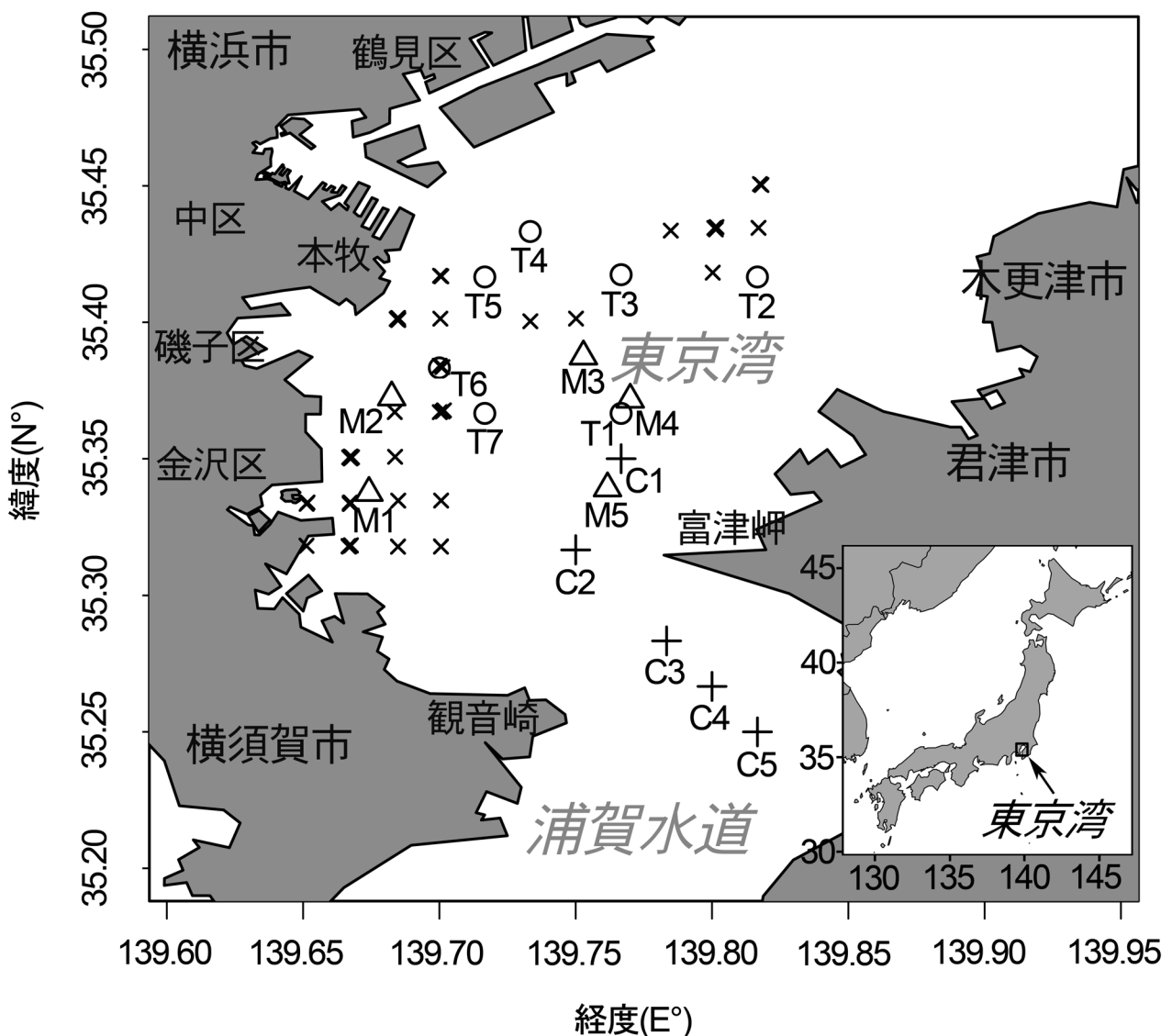


表 1. 本研究で行った 4 種類の調査の採集方法

	調査番号			
	I	II	III	IV
採集漁具	BT	BT	BT	SN
網口幅 (m)	3	6.5	6.5	1.5
コッドエンドの目合 (mm)	18	18	30	5
曳網速度 (knot)	2	3	3-4	2
曳網時間 (min.)	20	15	30-100	5
調査(操業)回数	25	13	4	5
曳網回数	110	91	21	31

BT: ビームトロール; SN: ソリネット.

網した (図 1, T1-T7)。ただし, 2002 年 10, 11 月と 2003 年 3 月は T7 を省略して T2 における曳網を 2 回行なった。2002 年 10 月の調査は調査途中で漁網が破損したため, 目合 30 mm の袋網を使用した。

調査 III (小型底曳網混獲生物調査)

調査 III では, 2005 年 6 月 1 日, 7 月 13 日, 8 月 17 日および 10 月 7 日の計 4 回, 横浜市漁業協同組合柴支所所属の小型底曳網漁船の通常操業時に混獲されるカニ類の標本を収集した。曳網海域は北緯 35°20'-27', 東経 139°40'-50' の範囲にあり (図 1), 1 度の調査 (操業) でビーム・トロールを 4~7 回曳網した。

調査 IV (マアナゴ資源調査)

調査 IV は神奈川県水産技術センターが例年 1~4 月の間に毎月 1 回行なっているマアナゴ *Conger myriaster* (Brevoort, 1856) のレプトケファルス (幼体) の採集を目的とした調査である。2004 年 1 月から 2006 年 4 月までの間にかけてカニ類標本を収集した。1 度の調査で内湾 2 点と外湾 3 点の計 5 定点においてソリネットを曳網した (図 1, C1-C5)。

標本処理と解析

船上にて採集物の中からカニ類を選別し, 船上あるいは氷蔵して研究室に持ち帰った後, 10% ホルマリン海水で固定した。種の同定は Sakai (1976), 三宅 (1983), Dai & Yang (1991) により, 分類体系は Ng *et al.* (2008) に従った。未同定種はすべての解析から除外した。

本研究と先行研究 (Kubo & Asada, 1957; 時村, 1985; 時村・清水, 1998; 中田, 1988) で解明された東京湾潮下帯のカニ類相を比較するにあたって, 先行研究では採集されたすべての種について個体数が記されているわけではなかった。そこで, 各サンプルの種の在・不在データから算出可能な類似性の尺度である Pearson の ϕ 係数 (小林, 1995) を用いて, 本研究の 4 調査の結果を 2000 年代初頭の東京湾平場のカニ類相として 1 つにまとめ, 先行研究との間のカニ類相の類似性を評価した。 ϕ 係数は,

$$\phi = \frac{ad-bc}{\sqrt{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}}$$

ここで, a はサンプル A とサンプル B の両方に出現した種数, b はサンプル B にのみ出現した種数, c はサンプル A にのみ出現した種数, d はサンプル A・B の両

方に出現しなかった種数である。なお, 比較に用いた研究はほぼ周年あるいは周年にわたって調査を行っているため, ここでは季節性を考えなかった。

4 つの調査の全調査期間で採集された標本それぞれを 1 サンプルとし, 各サンプルの多様性指数を求めた。群集の複雑性について, 優占度 - 多様性相対頻度曲線から元村 (1932) の等比級数則モデルの複雑性を表すパラメタ k を求めた (Tokeshi, 1993)。優占度 - 多様性相対頻度曲線は,

$$P_i = k(1-k)^{i-1}$$

で表され, i は種のサンプル内における個体数が多いほうからの順位, P_i は i 位の種の相対的出現頻度である (Tokeshi, 1990)。 k はユークリッド距離 (ED) を最小にする値 (Tokeshi, 1990) を Microsoft Excel 2003 の最適化ツール, ソルバーによって求めた。 ED は

$$ED = \sum_{i=1}^m [\log_{10} P_{\text{obs}}(i) - \log_{10} P_{\text{exp}}(i)]^2$$

である。ここで $P_{\text{obs}}(i)$ と $P_{\text{exp}}(i)$ はそれぞれ i 番目の種の相対的出現頻度の観測値と期待値であり, m は順位の総数 (総種出現種数) である。

Hurlbert (1971) のサンプル限定法によって, 50 個体あたりの種数の期待値 ($ES(50)$) を求めた。

$$ES(50) = \sum \left\{ 1 - \left[\frac{N - N_i}{50} \right] \left(\frac{N}{50} \right) \right\}$$

$$\text{ただし } \left(\frac{p}{q} \right) = pCq = \frac{p!}{q! (p-q)!}$$

ここで, $ES(n)$ は期待種数, N はサンプルの総個体数, N_i は i 番目の種の個体数である。

多様性指数は, 群集中の稀な種の数に変化に鋭敏に反応するものと, 優占種の変化に反応するものに分けられる。前者として, 底数を 2 とした対数逆シンプソン指数 ($\log(1/D)$) を, 後者として Pielou の一様性指数 (J') を求めた (伊藤・佐藤, 2002)。

ただし,

$$D = \sum \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$$

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}, \quad H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

で, p_i は i 番目の種の相対頻度 (N_i/N), S はサンプル中の総出現種数である。

結 果

種組成

東京湾平場で行なった 4 つの採集調査で 16 科 41 種合計 16,916 個体のカニが確認された (表 2)。その内訳はイチョウガニ科 Cancridae 3 種, ヘイケガニ科 Dorippidae 1 種, Euryplacidae 2 種, エンコウガニ科 Goneplacidae 2 種, コブシガニ科 Leucosiidae 6 種, モガニ科 Epialtidae 3 種, イッカクモガニ科 Inachoididae 1 種, ケアシガニ科 Majidae 3 種, ヒシガニ科 Parthenopidae 2 種, Galenidae 1 種, ケブカガニ科 Pilumnidae 2 種, ワタリガニ科 Portunidae

表 2. 本研究で東京湾の平場から採集された 41 種のカニ類の個体数

No.	科	種名	和名	調査番号				合計
				I	II	III	IV	
1	Cancridae	<i>Anatolikos japonicus</i> Ortmann, 1894	イボイチョウガニ	15	3		4	22
2		<i>Glebocarcinus amphioetus</i> (Rathbun, 1898)	イチョウガニ			1		1
3		<i>Romaleon gibbosulum</i> (De Haan, 1833)	コイチョウガニ	20			2	22
4	Droppidae	<i>Paradorippe granulata</i> (De Haan, 1841)	サメハダヘイケガニ		3	1		4
5	Euryplacidae	<i>Eucrate crenata</i> (De Haan, 1835)	マルバガニ	9	120	1	3	133
6		<i>Heteroplax nitida</i> (Miers, 1879)	キバガニ				1	1
7	Goneplacidae	<i>Carcinoplax longimana</i> (De Haan, 1835)	エンコウガニ			23		23
8		<i>Carcinoplax vestita</i> (De Haan, 1835)	ケブカエンコウガニ	745	6432	341		7518
9	Leucosiidae	<i>Arcania heptacantha</i> (De Haan, 1861)	ナナトゲコブシ		3			3
10		<i>Arcania undecimspinosa</i> De Haan, 1841	ジュウイチトゲコブシ	57	209	7	2	275
11		<i>Leucosia anatum</i> (Herbst, 1783)	ツノナココブシ	5				5
12	Epialtidae	<i>Myra celeris</i> Galil, 2001	テナガコブシ	2	9	2	1	14
13		<i>Nursia plicata</i> (Herbst, 1803)	オオロッカコブシ				1	1
14		<i>Nursia rhomboidalis</i> (Miers, 1879)	ヒシガタロッカコブシ				1	1
15		<i>Hyastenus elongatus</i> (Ortmann, 1893)	マルツノガニ				1	1
16		<i>Pugettia incisa</i> (De Haan, 1839)	ヤハズモガニ	108			6	114
17		<i>Pugettia quadridens</i> (De Haan, 1839)	ヨツハモガニ	1				1
18	Inachoididae	<i>Pyromaia tuberculata</i> (Lockington, 1877)	イッカクモガニ	2902	643	29	1359	4933
19	Majidae	<i>Leptomithrax edwardsii</i> (De Haan, 1835)	コシマガニ			1		1
20		<i>Micippa philyra</i> (Herbst, 1803)	コワタスガニ	1			1	2
21	Parthenopidae	<i>Micippa thalia</i> (Herbst, 1803)	ワタクスガニ	1			1	2
22		<i>Enoplolambrus laciniatus</i> (De Haan, 1839)	ホソウデヒシガニ	21			5	26
23		<i>Enoplolambrus validus</i> (De Haan, 1837)	ヒシガニ	2	1	1		4
24	Galenidae	<i>Halimede fragifer</i> (De Haan, 1835)	ゴカクイボウオウキガニ	10	1		1	12
25	Pilumnidae	<i>Actumnus squamosus</i> (De Haan, 1835)	イボテガニ	2				2
26		<i>Pilumnus minutus</i> De Haan, 1835	ヒメケブカガニ	8				8
27	Portunidae	<i>Charybdis bimaculata</i> (Miers, 1886)	フタホシイシガニ	496	3017	45	35	3593
28		<i>Charybdis feriata</i> (Linnaeus, 1758)	シマイシガニ		1		1	2
29		<i>Charybdis japonica</i> (A. Milne Edwards, 1861)	イシガニ	1		1		2
30		<i>Charybdis miles</i> De Haan, 1835	アカイシガニ		2			2
31	Xanthidae	<i>Charybdis variegata</i> (Fabricius, 1798)	カワリイシガニ	4	1			5
32		<i>Portunus hastatooides</i> (Linnaeus, 1767)	ヒメガザミ	75	62	3	1	141
33		<i>Portunus trituberculatus</i> (Miers, 1876)	ガザミ		1			1
34		<i>Thalamita sima</i> H. Milne Edwards, 1834	フタバベニツケガニ				1	1
35	Grapsidae	<i>Actaea semblatae</i> Guinot, 1976	サメハダオウキガニ	4			1	5
36		<i>Liomera sagamiensis</i> (Sakai, 1939)	サガミベニオウキガニ	1				1
37	Macrophthalmidae	<i>Pachygrapsus crassipes</i> Randall, 1840	イワガニ				2	2
38	Pinnotheridae	<i>Tritodynamia horvathi</i> Nobili, 1905	オヨギピンノ	1				1
39		<i>Tritodynamia rathbunae</i> Shen, 1932	オオヨコナガピンノ	9	4		6	19
40		<i>Pinnixa rathbuni</i> Sakai, 1934	ラスバンマメガニ	1			2	3
41		<i>Pinnotheres pholadis</i> De Haan, 1835	カキツメピンノ	1		8		9
合計				4502	10512	464	1438	16916
出現種数				27	17	14	23	41

8 種, オウギガニ科 Xanthidae 2 種, イワガニ科 Grapsidae 1 種, オサガニ科 Macrophthalmidae 2 種, カクレガニ科 Pinnotheridae 2 種であり, コブシガニ科とワタリガニ科が多かった。

4 調査の合計 16,916 個体のうち, エンコウガニ科のケブカエンコウガニ (44%), イッカクモガニ科の外来種イッカクモガニ (29%), ワタリガニ科のフタホシイシガニ *Charybdis bimaculata* (Miers, 1886) (21%) の上位 3 種のみで約 95% の割合を占めた (表 2)。これらの主要 3 種の個体数上の構成比は調査によって異なり, ケブカエンコウガニとフタホシイシガニは調査 II と III で 10 ~ 62% の高い比率を示したのに対し, イッカクモガニは調査 I と調査 IV で 65%, 95% と高比率を示した。主要 3 種以外で比較的多く採集されたのはジュウイチトゲコブシ *Arcania undecimspinosa* De Haan, 1841, ヤハ

ズモガニ *Pugettia incise* (De Haan, 1839), ヒメガザミ *Portunus hastatooides* (Linnaeus, 1767), マルバガニ *Eucrate crenata* (De Haan, 1835) の 4 種で, それぞれの個体数の合計は 100 以上であった。これらの種も調査によって個体数が偏り, ヤハズモガニは調査 I, ジュウイチトゲコブシとマルバガニは調査 II, ヒメガザミは調査 I および II の両方で特に多かった。そのほかの 35 種はいずれも合計採集個体数は 30 未満と少なく, さらにそのうちの 11 種は 1 個体のみ採集された種であった。

ϕ 係数は本研究と時村 (1985) の間で 0.321, 時村 (1985) と中田 (1988) の間で 0.377 となった (χ^2 検定, $df = 1$, $p < 0.05$; 表 3)。Kubo & Asada (1957) とほかの研究の間の ϕ 係数は有意ではなかったがすべて負の値であった。

表 3. 本研究と東京湾における
先行研究におけるカニ類相の ϕ 係数

	Kubo & Asada (1957)	時村 (1985)	中田 (1988)
本研究	-0.203 ^{NS}	0.321*	0.203 ^{NS}
中田 (1988)	-0.159 ^{NS}	0.377*	
時村 (1985)	-0.120 ^{NS}		

*: $P < 0.05$ (χ^2 検定); NS: $P > 0.05$ (χ^2 検定).

表 4. 4 種類の調査の多様度指数

	調査番号			
多様度指数	I	II	III	IV
k	0.296	0.494	0.401	0.316
$ES(50)$	5.989	4.423	6.189	3.184
$\log(1/D)$	0.341	0.336	0.255	0.049
J'	0.364	0.357	0.395	0.107

k : 元村 (1932) の等比級数則モデルの複雑性を表すパラメータ; $ES(50)$: Hurlbert (1971) のサンプル限定法による 50 個体あたりの種数の期待値; $\log(1/D)$: 対数逆シンプソン指数; J' : Pielou の一様度指数.

多様度指数

群集の複雑性を表す元村の k は、0.296 ~ 0.494 の値を示し (表 4), 調査 I と IV が 0.3 前後, III が約 0.4, II が約 0.55 であった。サンプル限定法による期待種数 $ES(50)$ は 3.2 ~ 6.2 の範囲にあり, 調査 I と III がおよそ 6 の比較的高い値を示し, 調査 II と IV がそれぞれ約 4.423, 3.184 と低かった。対数逆シンプソン指数 $\log(1/D)$ は調査 I と II がともに約 0.34 で高く, 調査 III がそれより低くて 0.255 となり, 調査 IV は 0.049 で 4 つの調査の中で極端に小さかった。Pielou の一様度指数 J' も調査 I と II がともに 0.36 前後で調査 IV の 0.107 より高い値になったが, $\log(1/D)$ と異なり調査 III が 0.395 で調査 I・II より高くなった。

考 察

種組成

本研究で行なった 4 つのベントス採集調査によって, 1955 年の調査の春季 (5 月), 夏季 (8-9 月), 冬季 (12 月) に浦賀水道を含む東京湾全域に設置した 53 調査点で, 網口幅 2.2 m・同高さ 0.8 m・魚捕り部の目合 7 mm の底曳網を曳網した調査 (Kubo & Asada, 1957) とほぼ同数の 41 種のカニ類が確認された。しかし, 採集個体数の種組成比から 2000 年代の東京湾潮下帯のカニ類群集の主要構成種はケブカエンコウガニとイッカクモガニ, フタホシイシガニの 3 種であり, そのほかの種が占める割合は著しく低かった (表 2)。出現種数と種組成, その組成比は本研究の調査間で大きく異なったが, その要因は小型種・小型個体の袋網からの通過、遊泳脚を有するなど移動力の高い種の逃避 (東海ら, 1997) のほか, 小型底曳網操業時 (調査 III) における巣穴内部のシャコを漁獲する目的で行われる一隻あるいは複数船団による楕円状の航跡を描きながら曳網する漁法 (時村, 1985) による潜砂性種の採集など, 生物特性, 漁具・漁法の漁獲特性の違いに起因すると思われる。トロール採集の非定量性から種間の数量比較はできないが, 漁獲特性の異なる 4 つの採集方法によって東京湾平場に生息する小型~大型のカニ類をほぼ網羅できたと考えられる。

本研究と時村 (1985) の ϕ 係数が正の値を示したこ

とから, 2000 年代と 1970 ~ 1980 年代のカニ類組成には類似性が示唆され, 1970 年代以降は大きな変化は起きていないと考えられる。一方, Kubo & Asada (1957) とそれ以外の調査間における負の ϕ 係数から, 1950 年代と 1970 ~ 2000 年代との間には異質性があると思われる。その中間期にあたる 1960 年代は化学的酸素要求量の経年変化 (清水, 1990) などから, 東京湾の環境悪化が進行し最悪の状況であったと推察され, カニ類相の変化もこれに関連があるのかもしれない。

1960 年代に起きたと推測される東京湾潮下帯のカニ類相の変化を具体的にみるために, Kubo & Asada (1957) から本研究までの間で確認されたカニ類を比較すると, 構成種の組成に変化がみられた (表 5)。中でも 1950 年代には確認されたモガニ属 *Pugettia* を中心としたモガニ科 Epialtidae の 6 種とクモガニ科 Inachidae のアケウス *Achaeus* 属の 3 種が 1970 年代以降の調査では出現していないことが最も顕著な差異としてみられる。これらのカニは海藻やほかの無脊椎動物などの構造物に付着して生活する種である。両研究ともに調査点の底質を記載していないが, 1950 年代の東京湾内湾には海草藻場などの自然の海岸地形をはじめ多様な生息環境がまだ多く残存していたことを示唆していると思われる。一方, 1970 年代以降に出現するようになった種には Euryplacidae 科・ケアシガニ科・オサガニ科 Macrophthalmidae それぞれの 2 種, Inachoididae 科のイッカクモガニがある。イッカクモガニは北中米太平洋沿岸が原産地の外来種で, 東京湾では 1960 年代から個体数が増大し始めたと推測されており (風呂田・古瀬, 1988), 時村 (1985) 以降の調査で採集され始めた。そのほかの分類群の出現要因は不明だが, いずれも内湾性の種である。以上のように, 1950 年代と 2000 年代の東京湾潮下帯のカニ類相では, 特定の種に対する個体数の偏りによる多様度の減少といった量的変化のほかにも, 群集構成種の交代や外来種の出現という質的变化も起きたと考えられる。Kubo & Asada (1957) では市原市沖で 1 個体のケフサイソガニ *s. l.*, 調査 IV では富津岬沖の定点 C2 で 2 個体のイワガニと, 潮間帯性の種がトロールで採集された。個体数が少なかったこと、沿岸

表 5. 本研究と先行研究によって東京湾平場から確認されたカニ類.

科	種名	和名	Kubo & Asada (1957)	嵯村 (1985)	中田 (1988)	本研究
Dromiidae	<i>Epigodromia areolata</i> (Ihle, 1913)	ヒメカラムリ	-	-	+	-
	<i>Paradromia japonica</i> (Henderson, 1888)	ニホンカラムリ	-	+	-	-
Latreilliidae	<i>Eplumula phalangium</i> (De Haan, 1839)	ミスヒキガニ	+	-	-	-
Calappidae	<i>Calappa lophos</i> (Herbst, 1785)	トラフカラッパ	-	+	-	-
Cancridae	<i>Anatolikos japonicus</i> Ortmann, 1894	イチョウガニ	-	-	-	+
	<i>Glebocarcinus amphioetus</i> (Rathbun, 1898)	コイチョウガニ	+	+	-	+
	<i>Romaleon gibbosulum</i> (De Haan, 1833)	イボイチョウガニ	+	+	+	+
Dorippidae	<i>Dorippe sinica</i> Chen, 1980	キメンガニ	-	+	-	-
	<i>Paradorippe granulata</i> (De Haan, 1841)	サメハダヘイケガニ	+	+	+	+
Euryplocidae	<i>Eucrate crenata</i> (De Haan, 1835)	マルバガニ	-	+	+	+
	<i>Heteroplax nitida</i> Miers, 1879	キバガニ	-	-	-	+
Goneplacidae	<i>Carcinoplax longimana</i> (De Haan, 1835)	エンコウガニ	-	+	-	+
	<i>Carcinoplax vestita</i> (De Haan, 1835)	ケブカエンコウガニ	+	+	+	+
Panopeidae	<i>Homiopepla haswelli</i> Rathbun, 1914	アシナガヒメエンコウガニ	+	-	-	-
Leucosiidae	<i>Arcania heptacantha</i> (De Haan, 1861)	ナナトゲコブシ	-	+	-	+
	<i>Arcania undecimspinosa</i> De Haan, 1841	ジュウイチトゲコブシ	+	+	+	+
	<i>Euclosia obtusifrons</i> (De Haan, 1841)	コブシガニ	-	-	+	-
	<i>Hiplyra platycheir</i> (De Haan, 1841)	ヒラテコブシ	+	-	-	-
	<i>Leucosia anatum</i> (Herbst, 1783)	ツナガコブシ	+	+	+	+
	<i>Lyphila heterograna</i> (Ortmann, 1892)	ヘリトリコブシ	-	-	+	-
	<i>Myra celeris</i> Galil, 2001	テナガコブシ	-	+	+	+
	<i>Nursia japonica</i> Sakai, 1935	ロツカコブシ	+	-	-	-
	<i>Nursia plicata</i> (Herbst, 1803)	オオロツカコブシ	-	-	-	+
	<i>Nursia rhomboidalis</i> (Miers, 1879)	ヒシガタロツカコブシ	-	-	-	+
Epialtidae	<i>Chorilia japonicas</i> (Miers, 1879)	コツノガニ	+	-	-	-
	<i>Hyastenus diacanthus</i> (De Haan, 1839)	ツノガニ	+	-	-	-
	<i>Hyastenus elongatus</i> (Ortmann, 1893)	マルツノガニ	+	-	-	+
	<i>Pisoides ortmanni</i> (Balss, 1924)	トカリガニ	+	-	-	-
	<i>Pugettia incisa</i> (De Haan, 1839)	ヤハズモガニ	+	-	-	+
	<i>Pugettia minor</i> Ortmann, 1894	ヒメモガニ	+	-	-	-
	<i>Pugettia nipponensis</i> Rathbun, 1932	ニッポンモガニ	+	-	-	-
	<i>Pugettia pellucens</i> Rathbun, 1932	ヨツバモトキ	-	+	-	-
	<i>Pugettia quadridens</i> (De Haan, 1839)	ヨツバモガニ	+	-	-	+
	<i>Scyra compressipes</i> Stimpson, 1857	ヒラツノガニ	+	+	-	-
Inachidae	<i>Achaeus japonicus</i> (De Haan, 1839)	アケウス	+	-	-	-
	<i>Achaeus pugnax</i> (De Man, 1928)	ツノアケウス	+	-	-	-
	<i>Achaeus tuberculatus</i> Miers, 1879	アウツツアケウス	+	-	-	-
Inachoididae	<i>Pyromaia tuberculata</i> (Lockington, 1877)	イッカクモガニ	-	+	+	+
Majidae	<i>Leptomitrochus edwardsii</i> (De Haan, 1835)	コシマガニ	-	-	-	+
	<i>Micippa philyra</i> (Herbst, 1803)	コワタスガニ	-	-	-	+
	<i>Micippa thalia</i> (Herbst, 1803)	ワタスガニ	+	-	-	+
Parthenopidae	<i>Enoplolambrus laciniatus</i> (De Haan, 1839)	ホリウデヒシガニ	-	+	-	+
	<i>Enoplolambrus validus</i> (De Haan, 1837)	ヒシガニ	+	-	-	+
	<i>Garthambrus pteromerus</i> (Ortmann, 1893)	ミツカドヒシガニ	+	-	-	-
Galenidae	<i>Halimede fragifer</i> (De Haan, 1835)	ゴカイイボオウキガニ	-	+	+	+
Pilumnidae	<i>Actumnus squamosus</i> (De Haan, 1835)	イボテガニ	+	+	-	+
	<i>Pilumnus minutus</i> De Haan, 1835	ヒメケブカガニ	+	+	-	+
Portunidae	<i>Charybdis bimaculata</i> (Miers, 1886)	フタホシインシガニ	+	+	+	+
	<i>Charybdis feriata</i> (Linnaeus, 1758)	シマイシガニ	-	-	-	+
	<i>Charybdis japonica</i> (A. Milne Edwards, 1861)	インガニ	+	+	+	+
	<i>Charybdis miles</i> De Haan, 1835	アカイシガニ	-	+	-	+
	<i>Charybdis variegata</i> (Fabricius, 1798)	カワリインシガニ	-	-	-	+
	<i>Lissocarcinus laevis</i> Miers, 1886	マルガザミ	+	-	-	-
	<i>Portunus gladiator</i> Fabricius, 1798	イボガザミ	+	-	-	-
	<i>Portunus hastatoides</i> (Linnaeus, 1767)	ヒメガザミ	+	+	-	+
	<i>Portunus sanguinolentus sanguinolentus</i> (Herbst, 1783)	シヤノメガザミ	+	+	+	+
	<i>Portunus trituberculatus</i> (Miers, 1876)	ガザミ	-	+	+	+
	<i>Thalamita oculate</i> Alcock, 1899	オクレベニツケガニ	+	-	-	-
	<i>Thalamita sima</i> H. Milne Edwards, 1834	フタハベニツケガニ	-	-	-	+
Xanthidae	<i>Actaea semblatae</i> Guinot, 1976	サメハダオウキガニ	+	+	-	+
	<i>Leptodius exaratus</i> (H. Milne Edwards, 1834)	オウキガニ	-	-	+	-
	<i>Liomera sagamiensis</i> (Sakai, 1939)	サガミベニオウキガニ	-	-	-	+
	<i>Medaeops granulosus</i> (Haswell, 1882)	スエヒロガニ	-	+	-	-
	<i>Palapedia integra</i> (De Haan, 1835)	ゴイシガニ	+	-	-	-
	<i>Paraxanthias elegans</i> (Stimpson, 1858)	ヒメオウキガニ	+	-	-	-
Grapsidae	<i>Pachygrapsus crassipes</i> Randall, 1840	イワガニ	-	-	-	+
Varunidae	<i>Asthenognathus inaequipes</i> Stimpson, 1858	ヨコナガモトキ	+	-	-	-
	<i>Hemigrapsus longitarsis</i> (Miers, 1879)	スネナガイツガニ	-	+	-	-
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i> s. l. (De Haan, 1835)	ケフサイツガニ	+	-	-	-
	<i>Varuna litterata</i> (Fabricius, 1798)	オオヒライツガニ	-	-	+	-
Macrophthalmidae	<i>Tritodynamia horvathi</i> Nobili, 1905	オウキビンノ	-	+	+	+
	<i>Tritodynamia rathbunae</i> Shen, 1932	オオヨコナガビンノ	-	-	+	+
Pinnotheridae	<i>Pinnixa rathbuni</i> Sakai, 1934	ラスハンマガニ	+	+	+	+
	<i>Pinnotheres pholadis</i> De Haan, 1835	カキツメビンノ	+	-	-	+

+と-は採集記録の有無を示す。

に近いためにごく浅い水深帯と目されることから、これらの採集は偶然性が高いものと考えられる。

多様性指数

本研究では4つの多様性指数を用いたが、指数によってそれぞれのサンプルの評価は異なった。調査IVは全個体数の95%がイッカクモガニ1種であったのもかわらず、元々の k が小さい、すなわち複雑性が高いと評価された。これは、サンプル中に1～数個体の稀な小型種が多く出現したため、 k による群集構造の過大評価である。調査IIIはサンプル限定法による期待種数 $ES(50)$ の値が全調査の中で最大であったが、これは調査回数が少なかったためにサンプル中に個体数の少ない稀な種が含まれていなかったことによる過大評価である。一方、調査IとIIの多様性指数はその種類によって大きく変化しなかったために、概ね妥当な評価と考えられる。1955年の東京湾における先行研究であるKubo & Asada (1957)はそのTable 10から採集されたカニの種と個体数のデータが利用可能であった。多様性指数を求めると、 $k = 0.229$, $ES(50) = 8.450$, $\log(1/D) = 0.513$, $J = 0.488$ となり、いずれの指数においても本研究よりも多様性が高いと評価され、東京湾潮下帯のカニ類群集の多様性は1950年代と2000年代の間に減少したことが示された。Kubo & Asada (1957)と本研究における個体数第1位、第2位の種はともに、ケブカエンコウガニとフタホシイシガニであった。第1位種の個体数組成比はKubo & Asada (1957)の44%から、本研究では60～90%に増加した。また、Kubo & Asada (1957)においてもケブカエンコウガニとフタホシイシガニはカニ類全体の44%、33%と高い割合を占めたが、本研究ではこれに外来種のイッカクモガニが加わった3種が優占種となり全体のおよそ90%を占めるようになった。したがって、現在のカニ類群集の多様性減少の背景には、第1位種であるケブカエンコウガニの個体数増加と外来種であるイッカクモガニの定着と増大、そしてそれにともなう第4位以下の種の比率低下によるものである。

東京湾平場の主要種カニ類の動態

東京湾潮下帯の3種の主要カニ類のうち、ケブカエンコウガニとフタホシイシガニは東京湾における一連の先行研究(Kubo & Asada, 1957; 時村, 1985; 中田, 1988; 時村・清水, 1998; 奥井・清水, 2002; 土井ら, 2004)で主要種とされており、1960年代の環境悪化以前から東京湾潮下帯で大きな個体群サイズを安定的に維持している。一方、イッカクモガニは1960年代の定着以降から個体数を増大し始め、現在も高密度群を維持している。1970～1980年代(時村, 1985)や1990年代初頭(Furota, 1995)には、東京湾湾口部のイッカクモガニ個体群密度は春に低下することが観察されていたが、これは魚類の胃内容物調査から高い捕食圧によるものと考えられていた(大越・風呂田, 1997; 風呂田・

木下, 2004)。本研究やその先行研究(土井ら, 2004)ではイッカクモガニは湾口側でも周年にわたって多数出現することから、2000年代になって捕食圧の低下などにより湾口部でも個体群密度が上昇した可能性がある。

本研究から、東京湾潮下帯のカニ類群集も底生魚介類と同様に多様性が減少していることが確認され、その変化は1960年代に起こったと推測された。それは、東京湾周辺の開発と人口増加に起因される自然地形の生息環境の減少、貧酸素水塊の発生など海洋環境の物理化学的要素と、外来種の定着と繁栄といった生物学的要素が複合的にはたらいた結果と思われる。今後は、特定種の大発生のような突発的な現象(朝倉, 1992; 渡邊, 1995; 工藤, 2000; 武田ら, 2007)や中長期的な群集構造の変化(Kodama *et al.*, 2002; 奥井・清水, 2002)、新たな外来種の侵入・定着を見逃さないよう東京湾の生物相を継続的にモニタリングするとともに、東京湾の海洋環境の変化と海洋生物群集の動態の関係をより理解するために、各種生物群の生物学的・生態学的知見を蓄積していくことが必要である。

謝 辞

標本採集にご協力いただいた横浜市漁業協同組合柴支所ならびに同支所所属小型底曳網漁船勝丸・得修丸・浜や丸、神奈川県調査船うしお、児玉圭太(国立環境研究所)、山田 亮(東京大学)の各氏に厚く御礼申し上げます。また、文献を提供していただいた奥野淳児氏(千葉県立中央博物館分館海の博物館)に深謝いたします。

引用文献

- 朝倉 彰, 1992. 東京湾の帰化動物—都市生態系における侵入の過程と定着成功の要因に関する考察—. 千葉県立中央博物館自然誌研究報告, 2: 1-14.
- Dai, A. & S. Yang, 1991. Crabs of the China Seas (1ed.). 682pp. China Ocean Press, Beijing and Springer-Verlag, Berlin.
- 土井 航・渡邊精一・清水詢道, 2004. 東京湾生物相モニタリング調査に出現したカニ類の多様性と分布. 神奈川県水産総合研究所研究報告, (9): 13-18.
- Furota, T., 1995. Mechanism of population maintenance in the introduced spider crab, *Pyromaia tuberculata*, in a periodic catastrophic environment. 89pp. Doctoral Dissertation, Kyushu University, Fukuoka. cited in Furota & Kinoshita (2004).
- 風呂田利夫, 1997. 東京湾の生態系と環境の現状. 沼田 眞・風呂田利夫 編著, 東京湾の生物誌, pp.2-23. 築地書館, 東京.
- 風呂田利夫・古瀬浩史, 1988. 移入種イッカクモガニ *Pyromaia tuberculata* の日本沿岸における分布. 日本ベントス研究会誌, 33/34: 75-78.
- 風呂田利夫・木下今日子, 2004. 東京湾における移入

- 種イッカククモガニとチチュウカイミドリガニの生活史と有機汚濁による季節的貧酸素環境での適応性．日本ベントス学会誌，**59**: 96-104.
- Furota, T., S. Watanabe, T. Watanabe, S. Akiyama & K. Kinoshita, 1999. Life history of the Mediterranean green crab, *Carcinus aestuarii* Nardo, in Tokyo Bay, Japan. *Crustacean Research*, **28**: 5-15.
- 堀口敏宏，2005. 東京湾における底棲魚介類の種組成と生物量の変遷．国立環境研究所ニュース，**24**(2): 3-6.
- Hurlbert, S. H., 1971. The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, **52**: 577-586.
- 伊藤嘉昭・佐藤一憲，2002. 種の多様性比較のための指数の問題点—不適當な指数の使用例も多い—．生物科学，**53**: 204-220.
- 小林四郎，1995. 生物群集の多変量解析．194pp. 蒼樹書房，東京．
- Kodama, K., I. Aoki, M. Shimizu & T. Taniuchi, 2002. Long-term changes in the assemblage of demersal fishes and invertebrates in relation to environmental variations in Tokyo Bay, Japan. *Fisheries Management and Ecology*, **9**: 303-313.
- Kubo, I. & E. Asada, 1957. A quantitative study on crustacean bottom epifauna of Tokyo Bay. *Journal of Tokyo University and Fisheries*, **43**: 249-289.
- 工藤孝浩，2000. 東京湾における1999年夏季のオヨギビンノの大群泳．神奈川自然誌資料，(21): 63-68.
- 三宅貞祥，1983. 原色日本大型甲殻類図鑑 II. 227pp. 保育社，大阪．
- 元村 勲，1932. 群集の統計的取扱に就いて．動物学雑誌，**44**: 379-383.
- 中田尚宏，1988. 横浜・川崎沖の底生性魚類，甲殻類，軟体類の分布．神奈川県水産試験場研究報告，(9): 67-74.
- Ng, P. K. L., D. Guinot & P. J. F. Davie, 2008. Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *Raffles Bulletin of Zoology Supplement Series*, **17**: 1-286.
- 小倉紀雄，1993. 東京湾—100年の環境変遷．193pp. 恒星社厚生閣，東京．
- 大越和加・風呂田利夫，1997. 平場の生物．沼田 眞・風呂田利夫 編著，東京湾の生物誌，pp.86-109. 築地書館，東京．
- 奥井 操・清水詢道，2002. 東京湾南部の底生生物相．神奈川県水産総合研究所研究報告，(7): 129-133.
- Sakai, T., 1976. Crabs of Japan and the Adjacent Seas (1ed.). [In 3 volumes: (1) English text, xxix+773pp. (2) Plates volume, 16pp., 251pls. (3) Japanese text, 461pp.]. Kodansha, Tokyo.
- 清水 誠，1990. 東京湾の魚介類 (6) 昭和60年代の魚類相．海洋と生物，**68**: 183-189.
- 武田正倫・魚地司郎・小林真弓，2007. 東京湾に出現したアシナガツノガニ (甲殻綱，十脚目，クモガニ科) の大群．帝京平成大学紀要，**18**: 11-19.
- 東海 正・大本茂之・藤森康澄・兼廣春之・松田 皎，1997. 東京湾シャコ小型底曳網における魚種分離効率．日本水産学会誌，**63**: 715-721.
- Tokeshi, M., 1990. Niche apportionment or random assortment: species abundance patterns revisited. *Journal of Animal Ecology*, **59**: 1129-1146.
- Tokeshi, M., 1993. Species abundance patterns and community structure. *Advances in Ecological Research*, **24**: 111-186.
- 時村宗春，1985. 東京湾内湾部における底生魚介類の分布構造．156pp. 東京大学博士学位論文，東京．
- 時村宗春・清水 誠，1998. 東京湾内湾部の底魚群集の変遷と環境変化．月刊海洋，**30**: 347-359.
- 渡邊精一，1995. 外来種のチチュウカイミドリガニが東京湾に大発生．*Cancer*, **4**: 9-10.

土井 航：東京海洋大学海洋科学技術研究科
(現・水産総合研究センター遠洋水産研究所)
渡邊精一：東京海洋大学海洋科学部
清水詢道・田島良博：神奈川県水産技術センター