

トラエビ *Metapenaeopsis acclivis* (Rathbun), アカエビ *M. barbata* (De Haan), キシエビ *M. dalei* (Rathbun) 及びサルエビ *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) の潜砂能力

阪 地 英 男

Sand Burrowing Ability of Four Species of Shrimps, *Metapenaeopsis acclivis* (Rathbun), *M. barbata* (De Haan), *M. dalei* (Rathbun) and *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson)

Hideo Sakaji

The burrowing ability of four species of shrimps, *Metapenaeopsis acclivis* (Rathbun), *M. barbata* (De Haan), *M. dalei* (Rathbun) and *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) were tested in aquariums to examine reasons why these shrimps show different distributions in the sea. Sand was sieved to four grain size classes, 0.125–0.250 mm, 0.250–0.500 mm, 0.500–1.000 mm and 1.000–2.000 mm. Each size class was spread on the bottom of the different aquaria. Thus four aquaria were used in the examination. After this, the same species and numbers of shrimps were placed into each aquarium in the evening, the numbers burrowing, not burrowing and dead individuals were counted on the following morning. The carapace length and any loss of legs of each individual was measured. The rate of the total numbers of individuals burrowing to the total numbers of burrowing and not burrowing individuals for each aquarium in each species was given as the burrowing rate. The burrowing rate in *M. dalei* was high in all sand size classes. Those of *T. curvirostris* were high in the finer three sand classes, but decreased in the coarsest class. The coarser the sand was, the lower the burrowing rates were in *M. barbata* and *M. acclivis*, and the latter showed the lowest burrowing rates in all classes. *G* tests indicated that the burrowing rate of *M. dalei* was independent of sand grain size, while that of *T. curvirostris*, *M. barbata* and *M. acclivis* were significantly associated to the grain size of the sediment ($P < 0.005$). It appears that the burrowing abilities in coarse sand of these shrimps decrease in the following order, *M. dalei*, *T. curvirostris*, *M. barbata* and *M. acclivis*.

Key words: *Trachypenaeus*, *Metapenaeopsis*, borrowing ability, sand grain size

瀬戸内海における小型底びき網漁業では、トラエビ *Metapenaeopsis acclivis* (Rathbun), アカエビ *M. barbata* (De Haan), キシエビ *M. dalei* (Rathbun), サルエビ *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) 等のクルマエビ科の小型種が、漁獲物中で重要な位置を占めている。これらの種の分布について、これまで採集場所

の水深、底質、流れの状態、内湾度等との関係において論じられてきた (安田 1949, 1956, 前川・八柳 1953, 八柳他 1955, Kubo and Asada 1957, 宇都宮 1959, 前川 1961, 池末 1963, 浜中 1977, 阪本・林 1977, 通山・林 1982, 東海・阪地 1989, 阪地・東海 1990)。しかし、このような要因は互いに関連している

ことが多いにも関わらず、これらの報告ではその検討が不十分であり、クルマエビ科の種による分布特性の違いは明確であるとは言えない。

クルマエビ科の多くの種は、昼間は潜砂したままじっとしており、夜間に活動的であることが知られている (Le Guen and Crosnier 1968, Le Reste 1970, Wickham and Minkler 1975)。瀬戸内海における小型底びき網漁船は主に夜間に操業することから、その主要な漁獲対象である4種のエビも夜間に活動的で、昼間は潜砂していると考えられる。

このような潜砂習性は、酸素消費量の減少 (Egusa 1961)、エネルギー要求量の減少 (Dall and Smith 1986)、捕食者からの防御 (Fuss and Ogren 1966) 等の点で有利であるとされている。また、潜砂能力はその種の底質選択性を規定する要因の一つである (Williams 1958)。したがって、潜砂習性のあるエビにとって潜砂可能であることが、そこに生息するための必要条件であると考えられる。クルマエビ *Penaeus japonicus* Bate や魚類のヒラメ *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) では底質の粒径が粗くなると潜砂できなくなるとの報告があるので (石岡 1973, 反田 1988)、物理的には、潜砂行動は底質の粒径が細かいほど容易で、粗いほど困難になると想定される。

そこで本研究では、瀬戸内海に分布するクルマエビ科4種のエビについて、実験水槽内での潜砂状況を観察し、潜砂可能な底質の粒径を測定することにより、それらの分布特性の違いを明らかにすることを目的とした。

本論文を校閲していただいた南西海区水産研究所 海外調査研究部長 小坂 淳博士、外海底魚資源研究室長 堀川博史博士に感謝いたします。また、実験方法に関しご教示いただいた兵庫県 但馬水産事務所 試験研究室 反田 實氏に感謝いたします。

材 料 と 方 法

瀬戸内海の海底と浜から採取した砂を、JIS規格の淘汰フルイによって、0.125~0.250 mm, 0.250~0.500 mm, 0.500~1.000 mm,

1.000~2.000 mm の4つの粒径区分に分け、それぞれをA, B, C及びDの水槽の底に敷き、4つの実験水槽を設定した (Table 1)。実験水槽の大きさはすべて同一であり (横 90 cm, 高さ 45 cm, 奥行き 30 cm)、砂の深さはエビが十分潜ることができるように約 4 cm とした。各実験水槽の飼育水は流水とし、エアレーションを施した。

Table 1. The range of the sand grain size used in each aquarium.

Aquarium	Sand grain size (mm)
A	0.125-0.250
B	0.250-0.500
C	0.500-1.000
D	1.000-2.000

実験には、小型底びき網漁船によって漁獲され、蕃養水槽で最長で約2カ月間飼育されたエビの中から、活発なものだけを使用した。日没前に、各実験区に同種のエビを同数無作為に収容し、翌朝明るくなってから、実験区ごとに潜砂固体数と非潜砂固体数を計数した。この時、体のすべてが砂に隠れているもの、あるいは、額角、触角、眼柄のみが露出しているものを潜砂個体とみなし、頭胸甲、腹部、尾節、付属肢が一部でも露出しているものを非潜砂個体とした。

同時に、各個体について、雌雄の確認、頭胸甲長の測定、腕節前端より基部に近いところで欠損した歩脚の計数も行った。その結果、4種とも、収容した個体の頭胸甲長の平均値 (Table 2) 及び歩脚の欠損した個体の配置 (Table 3) には、4つの実験水槽間で統計的有意差はなかった。また、潜砂確認時の水温も測定した。1991年7月から11月と1992年6月に、合計でサルエビ5回、キシエビ7回、アカエビ9回、トラエビ8回実験を行った。1回の実験に使用するエビの個体数は、1実験区当り10個体を目標としたが、蕃養したエビの数が少ないこともあり、実際には1実験水槽当り6~10個体であった。また、1回の実験で各実験水槽に収容した個体数は同じであったが、翌朝の潜砂

Table 2. Average carapace length (CL) and standard deviation (SD) in millimeters of each species in each aquarium.

Species		Aquarium			
		A	B	C	D
<i>Metapenaeopsis acclivis</i>	CL	17.10	17.00	16.80	17.15
	SD	2.32	3.05	2.53	2.37
<i>M. barbata</i>	CL	17.67	17.80	18.14	17.89
	SD	3.73	4.18	4.41	4.56
<i>M. dalei</i>	CL	10.78	10.87	10.84	10.50
	SD	1.01	1.13	1.40	1.05
<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	CL	20.96	21.15	21.13	21.17
	SD	9.78	8.33	10.43	11.04

Table 3. The numbers of individuals with missing legs of each species and each aquarium.

Species	Number of missing legs	Aquarium			
		A	B	C	D
<i>Metapenaeopsis acclivis</i>	6	0	1	0	0
	5	0	0	1	0
	4	1	2	4	4
	3	7	5	7	6
	2	6	17	14	10
	1	24	20	14	25
	0	31	23	24	20
<i>M. barbata</i>	4	3	1	0	1
	3	1	3	1	3
	2	0	0	1	2
	1	14	9	11	13
	0	67	72	73	65
<i>M. dalei</i>	9	0	0	1	0
	8	1	0	4	0
	7	2	0	2	1
	6	2	4	1	3
	5	2	3	3	1
	4	3	3	2	4
	3	10	9	8	6
	2	9	7	11	6
	1	16	13	13	12
0	24	29	24	33	
<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	4	0	1	0	0
	3	0	1	1	1
	2	4	3	3	5
	1	11	11	7	13
	0	23	23	29	20

状況観察時までには死亡する個体があったため、各実験水槽の観察個体数は必ずしも同じとはならなかった。

このような実験により、トラエビ266個体、アカエビ340個体、キシエビ272個体、サルエビ156個体について観察した。各実験区における各種の潜砂率を

$$\text{潜砂個体数} / (\text{潜砂個体数} + \text{非潜砂個体数})$$

により求め、これらを比較することによって4種の潜砂能力を評価した。

結果と考察

実験開始直後から、各種ともどの底質でも、ほとんどの個体が潜砂しようとする行動を示した。アカエビ属のキシエビ、アカエビ、トラエ

Table 4. The numbers of burrowing and non-burrowing individuals and the burrowing rates (%) in each species in each aquarium.

Species	Aquarium				
	A	B	C	D	
<i>Metapenaeopsis acclivis</i> ***	Burrowing	46	12	6	0
	Non-burrowing	23	56	58	65
	Burrowing rate	66.67	17.65	9.38	0.00
<i>M. barbata</i> ***	Burrowing	72	59	41	1
	Non-burrowing	13	26	45	83
	Burrowing rate	84.71	69.41	47.67	1.19
<i>M. dalei</i>	Burrowing	53	57	61	48
	Non-burrowing	16	11	8	18
	Burrowing rate	76.81	83.82	88.41	72.73
<i>Trachypenaeus curvirostris</i> ***	Burrowing	35	34	35	22
	Non-burrowing	3	5	5	17
	Burrowing rate	92.11	87.18	87.50	56.41

*** As a result of *G* test, burrowing rate is significantly associated with grain size of sand at $p < 0.005$.

ビは主に歩脚を用い、前進しながら潜砂した。これに対し、サルエビ属のサルエビは、腹肢で砂を後方に飛ばし、できた窪地に歩脚を用いて潜りつつ、腹部を折り曲げて尾節を砂に突き刺し、身体を上下に振動させながら潜砂した。

観察された潜砂状況は種によって異なった (Table 4)。トラエビの潜砂率は A 66.67%, B 17.65%, C 9.38%, D 0% と 4 種中最も低く推移し、粒径が粗くなるにしたがって急激に低下した。アカエビの潜砂率は、A で 84.71% と高い値を示し、B 69.41%, C 47.67%, D 1.19% と底質の粒径が粗くなるにしたがって低下した。キシエビの潜砂率は、A 76.81%, B 83.82%, C 88.41%, D 72.73% と、どの実験水槽においても高い値を示した。サルエビの潜砂率は、A 92.11%, B 87.18%, C 87.50% と 90% 前後の高い値を示したが、D では 56.41% と低下した。

各実験区におけるそれぞれの種の潜砂率と底質の粒径は独立であるとの帰無仮説を立て、*G* 検定を使っての *R* × *C* 分割表の独立性の検定を行った。その結果、トラエビ、アカエビ、サルエビで帰無仮説は 0.5% 水準で棄却されたので、これら 3 種の潜砂率は底質の粒径と連関がある

と考えることができる。すなわち、底質の粒径 0.125~2.000 mm の範囲においては、トラエビ、アカエビ、サルエビの潜砂率は、底質の粒径が粗くなるほど低下するといえる。一方、キシエビでは帰無仮説は 5% 水準でも棄却されず、実験に用いた底質の粒径の範囲では、底質の粒径と潜砂率には関連が認められなかった。したがって、最も細かい底質では 4 種とも潜砂率が高いが、粒径が粗くなるにしたがって、まずトラエビ、続いてアカエビ、サルエビと潜砂率が低下していき、キシエビの潜砂率は底質の粒径に関係がなく高かった。

一般に、底棲生物の潜砂能力は成長に伴って大きくなる (Fuss 1964, Tanda 1989)。実験に用いた個体の大きさは種によって異なり、サルエビが最も大きく、キシエビが最も小さかった (Table 2)。これらのエビ類の雌が成熟に達する大きさは、トラエビで頭胸甲長 13 mm 以上 (池末 1963)、アカエビで 15 mm 以上 (阪地他 1992)、サルエビで 14 mm 以上 (安田 1958)、キシエビで体長 48.6 mm 以上 (小坂 1977) であり、雄が成熟に達する大きさは雌より小さいのが普通である。

この実験に用いたトラエビ、アカエビ、サル

エビのほとんどの個体はこれらの大きさを越えていたので、既に成体に達していたと考えられた。したがって、実験で測定されたこれら3種の潜砂率は成体の潜砂能力を反映したものであると考えられた。一方、実験に用いたキシエビは、その大きさから判断して、まだ成体に達していない個体も多く含まれていたと考えられる。したがって、キシエビの成体の潜砂率は実験で得られた高い値よりさらに高いであろうと予想された。

また、クルマエビの潜砂能力と歩脚の障害率の間には負の相関が認められ(石田 1974)、本実験でも歩脚が潜砂行動において重要な働きをすることが観察されたことから、歩脚の欠損状況の違いも潜砂率に影響を与える可能性がある。この実験に用いた個体の歩脚の欠損状況は種によって異なり、トラエビとキシエビで歩脚の欠損した個体が多かった(Table 3)。そこで、歩脚の欠損のない個体だけを用いて潜砂率を求め、全個体を用いて求めた潜砂率と比較した。

歩脚の欠損のない個体だけから求めた潜砂率は、いずれの底質でもキシエビとサルエビで高く、G検定においても底質との連関が認められなかった。一方、トラエビとアカエビでは、

0.5%水準で潜砂率と底質との連関が認められ、底質が粗くなると潜砂率は大幅に低下した(Table 5)。これらの結果を全個体から求めた潜砂率と比べると、サルエビだけが異なったものの、他の3種では似たような傾向を示した。したがって、実験に用いた個体の歩脚の欠損状況は、サルエビの潜砂率に影響を与えた可能性があるものの、他の3種にはそれほど大きな影響を与えていないと考えられた。

エビ類の行動は水温条件によっても影響を受ける(Fuss and Ogren 1966)。実験期間中の水温は18.3~25.8°Cと一定ではなかった。しかし、甲長組成の推移から推定するとアカエビが成長する水温は18°C以上であり(阪地他 1992)、飼育実験におけるサルエビが正常な脱皮を行うのは15°C以上である(今林・山田 1991)。したがって、本実験を行った18.3~25.8°Cの水温は、これらのエビ類の飼育水温として適当であると考えられた。

以上のことから、この実験で用いた個体の大きさと歩脚の欠損状況、および水温条件は種により異なったものの、ここで観察された潜砂率の差は種の持つ潜砂能力の差であると評価できると判断した。つまり、これら4種の潜砂能力

Table 5. The numbers of burrowing and non-burrowing individuals and the burrowing rates (%) in each species in each aquarium for the individuals with entire legs.

Species		Aquarium			
		A	B	C	D
<i>Metapenaeopsis accvlivis</i> ***	Burrowing	22	6	4	0
	Non-burrowing	9	17	20	20
	Burrowing rate	70.97	26.09	16.67	0.00
<i>M. barbata</i> ***	Burrowing	57	53	37	0
	Non-burrowing	10	19	36	65
	Burrowing rate	85.07	73.61	50.68	0.00
<i>M. dalei</i>	Burrowing	16	23	22	29
	Non-burrowing	8	6	2	4
	Burrowing rate	66.67	79.31	91.67	87.88
<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	Burrowing	21	22	26	14
	Non-burrowing	2	1	3	6
	Burrowing rate	91.30	95.65	89.66	70.00

*** As a result of G test, burrowing rate is significantly associated with grain size of sand at $p < 0.005$.

は、優れている順にキシエビ、サルエビ、アカエビ、トラエビであった。特に、キシエビとサルエビは粒径 1.0~2.0 mm という非常に粗い底質にも潜砂することができ、トラエビは粒径のかなり細かい底質でないと潜砂することができないことが明らかとなった。

サルエビが実際に漁獲される漁場の底質は、粗い底質である場合（安田 1949, 安田 1956）と細かい底質である場合（八柳他 1955, 宇都宮 1959, 前川 1961）があり、分布と底質との関連があまり明瞭でないとの報告もある（阪地・東海 1990）。このように多様な底質において分布を示すことは、本種の強い潜砂能力から説明できよう。

一方、アカエビ属においては、キシエビは粗い底質で漁獲されるとの報告が多く（八柳他 1955, 八柳・前川 1957, 宇都宮 1959, 前川 1961, 阪地・東海 1990）、アカエビが泥質などの細かい底質に分布し、トラエビが砂質等の粒径の粗い底質に分布する傾向があるとの報告が多い（安田 1949, 八柳他 1955, 安田 1956, 宇都宮 1959, 前川 1961）。これらアカエビとトラエビの分布する底質に関する報告は、今回求められた潜砂能力とは矛盾する。しかし、過去においてアカエビとトラエビの種の同定に誤りがあったことが指摘されており（林 1974, 阪本・林 1977, 浜中 1977）、そのために今回の実験結果と必ずしも一致しなかったと考えられる。最近では、トラエビは粒径の細かい底質に多く分布すると報告されていることや（浜中 1977, 東海・阪地 1989, 阪地・東海 1990）、今回の実験結果から、アカエビとトラエビではアカエビの方がより粗い底質に分布するとするのが妥当であろう。

アカエビ属 3 種において、瀬戸内海では底質の粒径の粗いところから細くなるにしたがって、キシエビ、アカエビ、トラエビと分布する傾向があり（東海・阪地 1989, 阪地・東海 1990）、潜砂能力の強い種が全域に優先しているわけではない。したがって、これらの分布特性を規定する要因が潜砂能力以外にも存在すると考えられる。

しかし、潜砂できない底質には分布できない

と考えれば、その分布可能域はおのずと限定されてくる。今回得られた結果は、このような分布のための必要条件の一つを示したものであり、今後、クルマエビ類の分布特性を明らかにするためには、他の要因についても解明する必要があるであろう。

文 献

- Dall, W. and D. M. Smith, 1986: Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell. *Aquaculture*, 55, 23-33.
- Egusa, S., 1961: Studies on the respiration of the "Kuruma" prawn, *Penaeus japonicus* Bate—II. Preliminary experiments on its oxygen consumption. *Bull. Japan. Soc. Scient. Fish.*, 27 (7), 650-659.
- Fuss, C. M., 1964: Observations on burrowing behaviour of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribbean*, 14, 62-73.
- Fuss, C. M. and L. H. Ogren, 1966: Factors affecting activity and burrowing habits of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole*, 130, 170-191.
- 浜中雄一, 1977: 若狭湾西部海域（丹後海）におけるエビ類の研究—I, トラエビの分布と生態について. 京都水試報（昭和50年度報告書）, 101-108.
- 林 凱夫, 1974: 大阪湾におけるえびごぎ網漁獲物組成の変化について. 大阪水試研究, 4, 76-91.
- 池末 弥, 1963: 有明海におけるエビ・アミ類の生活史, 生態に関する研究. 西水研研報, 30, 1-124.
- 今林博道・山田 寛, 1991: サルエビの脱皮と成長に及ぼす水温の影響. 日本ベントス学会誌, 41, 47-53.
- 石田雅俊, 1974: クルマエビ人工生産種苗の潜砂能力, 特に歩脚の障害との関係について. 栽培技研, 3(2), 11-18.
- 石岡宏子, 1973: クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究. 南西水研研報, 6, 59-84.
- 小坂昌也, 1977: 仙台湾産キシエビ *Metapenaeopsis dalei* (Rathbun) の生態. 東海大学紀要海洋学部, 10, 129-136.
- Kubo, I. and E. Asada, 1957: A quantitative study

- on crustacean bottom epifauna of Tokyo bay. *J. Tokyo Univ. Fish.*, 43(2), 249-289.
- Le Guen, J. C. and A. Crosnier, 1968: Contribution à l'étude du rythme quotidien d'activité de la crevette *Penaeus duorarum* Burkenroad (Crustacea Decapoda Natantia). *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 2^e sér., 40(2), 342-350.
- Le Reste, L., 1970: Contribution à l'étude du rythme d'activité nocturne de *Penaeus indicus* et *Parapenaeopsis acclivirostris* (Crustacea Decapoda Natantia). *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 8(3), 3-10.
- 前川兼佑, 1961: 瀬戸内海, 特に山口県沿海における漁業の調整管理と資源培養に関する研究. 山口内海水試調査研究業績, 11(1), 1-483.
- 前川兼佑・八柳健郎, 1953: 山口県瀬戸内海産重要生物の生態学的研究, さるえび *Trachypenaeus curvirostris* (S) あかえび *Metapenaeopsis barbatus* (D) とらえび *M. acclivis* (R) の生態学的研究. 山口内海水試調査研究業績, 5(1), 1-10.
- 阪地英男・東海 正, 1990: 安芸灘における小型エビ類の分布. 漁業資源研究会議西日本底魚部会報, 18, 59-67.
- 阪地英男・東海 正・佐藤良三, 1992: 瀬戸内海安芸灘におけるアカエビの成長と成熟. 日水誌, 58(6), 1021-1027.
- 阪本俊雄・林 健一, 1977: 紀伊水道における小型底びき網漁業のエビ類. 日水誌, 43(11), 1259-1268.
- 反田 實, 1988: 人工生産ヒラメの潜砂能力. 水産増殖, 36(1), 21-25.
- Tanda, M., 1989: Studies on burying ability in sand and selection to the grain size for hatchery-reared Marbled sole and Japanese flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56(10), 1543-1548.
- 東海 正・阪地英男, 1989: 瀬戸内海における小型エビ類の分布. 第21回南海海区ブロック内海漁業研究会報告, 55-70.
- 通山正弘・林 健一, 1982: 土佐湾の砂泥性, 浮遊性エビ類とその分布. 南西水研報, 14, 83-105.
- 宇都宮 正, 1959: 周防灘の4漁場におけるエビ類の組成・分布等の変異について. 山口内海水試調査研究業績, 10(1), 39-86.
- Wickham, D. A. and F. C. Minkler III, 1975: Laboratory observations on daily patterns of burrowing and locomotor activity of Pink shrimp, *Penaeus duorarum*, Brown shrimp, *Penaeus aztecus*, and White shrimp, *Penaeus setiferus*. *Contr. mar. Sci. Univ. Texas*, 19, 21-35.
- Williams, A. B., 1958: Substrates as a factor in shrimp distribution. *Limnol. Oceanogr.*, 3, 283-290.
- 安田治三郎, 1949: サルエビ *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) の生態に関する二・三に就て. 日水誌, 15(4), 180-189.
- 安田治三郎, 1956: 内湾における蝦類の資源生物学的研究(II) 各論 各種類の生態に関する研究. 内水研研報, 9, 1-91.
- 安田治三郎, 1958: 内湾における蝦類の資源生物学的研究. 内水研研報, 11, 171-198.
- 八柳健郎・前川兼佑・宇都宮 正, 1955: 周防灘における稚蝦の分布について. 山口県内海水産試験場調査研究業績, 7(1), 43-62.
- 八柳健郎・前川兼佑, 1957: 山口県瀬戸内海産重要生物の生態学的研究, 第15報, キシエビ *Metapenaeopsis dalei* (Rathbun) の生態. 山口内海水試調査研究業績, 9(1), 13-20.

1994年12月1日受理 (Accepted December 1, 1994)

南海海区水産研究所業績A第32号 (Contribution No. A32 from the Nansei National Fisheries Research Institute)

阪地英男: 南海海区水産研究所高知庁舎 〒780 高知市棧橋通6-1-21 (H. Sakaji: Nansei National Fisheries Research Institute, Kochi Station, Sanbasidori, Kochi 780, Japan)