

ヤマトオサガニの造巣活動に伴う物理的生物攪拌作用の定量評価

Quantitative Evaluation of Bioturbation by the Burrowing *Macrophthalmus japonicus*

大谷壮介¹・上月康則²・山中亮一³・酒井 孟⁴・藤木洋二⁴・斎藤 梓⁴・岩雲貴俊⁴

Sosuke OTANI, Yasunori KOZUKI, Ryoichi YAMANAKA, Hajime SAKAI
Yoji FUJIKI, Azusa SAITO and Takatoshi IWAKUMO

The objective of this study is to elucidate the burrow structure and to evaluate quantitative physical bioturbation of the dominant species, crab *Macrophthalmus japonicus* in muddy tidal flat. Burrows consisted mainly of J-shaped structures. Various burrow parameters were strongly correlated with carapace width of *M.japonicus*. It was estimated that burrows increased the surface area by 5~32 % in investigation area. and population of *M.japonicus* can turn over approximately 3~34 % of the upper 20cm of sediment. These results indicated that burrowing activities of *M.japonicus* significantly influences the material cycle.

1. 諸論

干潟の生物の多くは底質に様々な作用を及ぼしている。これを生物攪拌といい、摂餌や棲管を作る他に、その代表的なものには干潟底質上で巣穴を造る行為がある(菊池・向井, 1994)。このような生物攪拌作用は干潟の浄化機能に大きな影響を及ぼしていると考えられ、数値モデルに試行的に組み入れられた例はあるが(安岡ら, 2005)、現地調査でそれを定量評価した事例はほとんどない。特に泥質干潟では、生物攪拌作用が卓越しやすいが、調査が困難なこともあり、その実態は不明である。そこで本研究では、日本の多くの泥質干潟に分布し、個体数も多い、大型の底生生物であるヤマトオサガニに着目し、物理的な造巣活動に伴う生物攪拌作用の定量化を行った。具体的には、巣穴の型取り、大気、水と触れる表面積の拡大効果、地中からの土砂の掘り出し量について調査検討を行った。

2. 調査方法

(1) 巣穴構造の採取方法

ヤマトオサガニの巣穴構造を解明するために、勝浦川河口干潟(図-1)において、2006年8月に巣穴の採取を行った。詳細は浜野(1990)に従い、ポリエステル樹脂液(硬化促進剤調整)としてエポラックMR-700夏用(JAPANコンポジット製)および硬化用触媒としてパーメックN(日本触媒製)を用いて巣穴の型取りを行った。

- | | | |
|--------|------|---------------------------------|
| 1 正会員 | 博(工) | 京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター研究員 |
| 2 正会員 | 博(工) | 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授 |
| 3 正会員 | 博(工) | 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部講師 |
| 4 学生会員 | | 徳島大学大学院先端技術科学教育部環境創生工学専攻 |

巣穴に樹脂液を流し込んだ際、巣穴内にヤマトオサガニが存在した場合は発熱および毒気にあてられ、巣穴より出てくることから、巣穴内にいたカニを特定することができる。カニは捕獲した後、甲幅の測定を行い、実験室に持ち帰った巣穴樹脂から、巣穴の表面積、容積、長さ、深度を測定した。なお、巣穴の表面積に関しては巣穴樹脂全体が見えなくなるように巻付けたアルミホイルをデジタル加工し、画像解析ソフトウェア Scion Image を用いて表面積を計測した。また、容積に関しては水を一杯に入れた容器に巣穴樹脂を沈めて溢れた水の容積を計測した。

(2) 巣穴数の経日変化に関する調査方法

調査は50×50cmのコドラートを5つ設置し、そのコドラート内の巣穴数を数えた。巣穴に関しては現存巣穴数、残存巣穴数、新生巣穴数、崩壊巣穴数と初日から残存した巣穴数を1週間にわたって調査した。ここで、現存巣穴数とは調査当日にコドラート内に現存した巣穴数、残存巣穴数とは前日から残っていた巣穴数、新生巣穴数とは前日から新たに創出された巣穴数、崩壊巣穴数とは前日から崩壊して無くなった巣穴数をさす。なお、2008年4/19~26(春)、7/16~23(夏)、10/9~15(秋)、2009年1/26~2/1(冬)に現地調査を行い、巣穴の目印には色付けした割り箸を用いた。

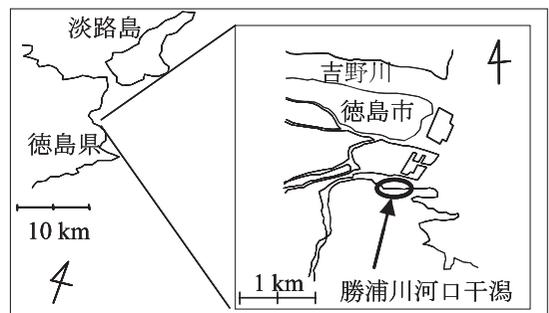


図-1 調査地域

3. 調査結果

(1) ヤマトオサガニと巣穴構造の関係

採取されたヤマトオサガニの巣穴の概要を図-2、ヤマトオサガニの甲幅と巣穴の関係を表-1、図-3に示す。ヤマトオサガニの巣穴を48個型取り出した結果、J字型あるいはU字型の巣穴を形成していることが判明し(図-2)、そのうち47個(98%)がJ字形で1個のみがU字型であった。歌代ら(1966)、歌代・生痕研究グループ(1978)は福島県松川浦の干潟で石膏によりヤマトオサガニの巣穴採取を試みている。それによるとヤマトオサガニの巣穴の深さは平均10~15cmであり、そのほとんどがJ字型であったと報告しており、本調査結果も同様のものであった。なお、他のスナガニ類の巣穴の形状に関してはチゴガニ、ハクセンシオマネキヤコメツキガニは鉛直に巣穴を掘っており(小野, 1995)、ヤマトオサガニとは異なった巣穴形状である。

図-3より、ヤマトオサガニの甲幅5.1~30.5mmに対して巣穴の表面積は8.4~224.1cm²、容積は1.5~119cm³、長さは5.2~23.2cm、深度は3.3~16.5cmを示し、甲幅が大きくなるに従って各項目値も増加した。例えばヤマト

オサガニの甲幅25mmの場合、表-1の回帰式より、巣穴容積は69.0cm³、巣穴表面積は126.1cm²、巣穴長さは16.4cm、巣穴深度は8.1cmと推定できた。アナジャコヤスナモグリについても、ヤマトオサガニと巣穴形状は異なるが、個体が大きくなるに従って、巣穴の表面積や容積が増加することが確認されている(Kinoshita, 2002; Shimoda and Tamaki, 2004)。このように従来の研究(歌代ら, 1966; 歌代・生痕研究グループ, 1978)ではヤマトオサガニの巣穴形状についてのみが示されていたが、本研究では巣穴の表面積および容積は甲幅との間に高い相関があり、累乗関数的に増加することを明らかにした。

表-1 ヤマトオサガニの甲幅と巣穴の関係 (Y: 巣穴の各項目, X: 甲幅)

巣穴	回帰式	決定係数: R ²
表面積	Y=0.505X ^{1.74}	0.88
容積	Y=0.024X ^{2.40}	0.90
長さ	Y=2.274X ^{0.61}	0.41
深度	Y=1.063X ^{0.62}	0.44

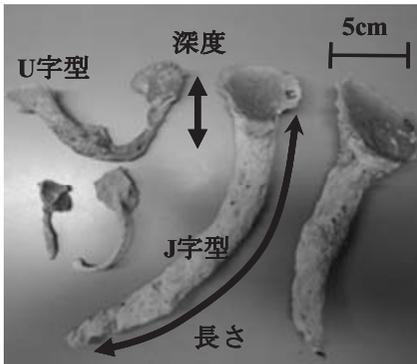


図-2 ヤマトオサガニの巣穴

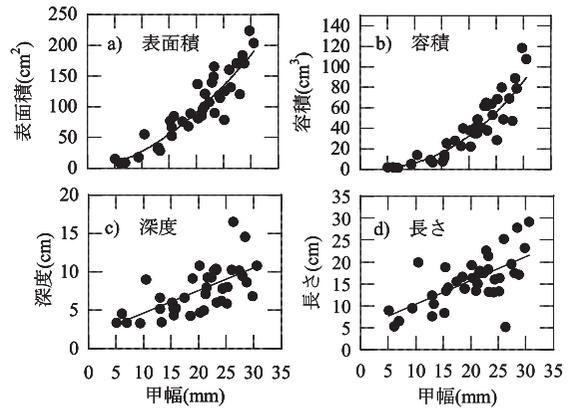


図-3 ヤマトオサガニの甲幅と巣穴の関係

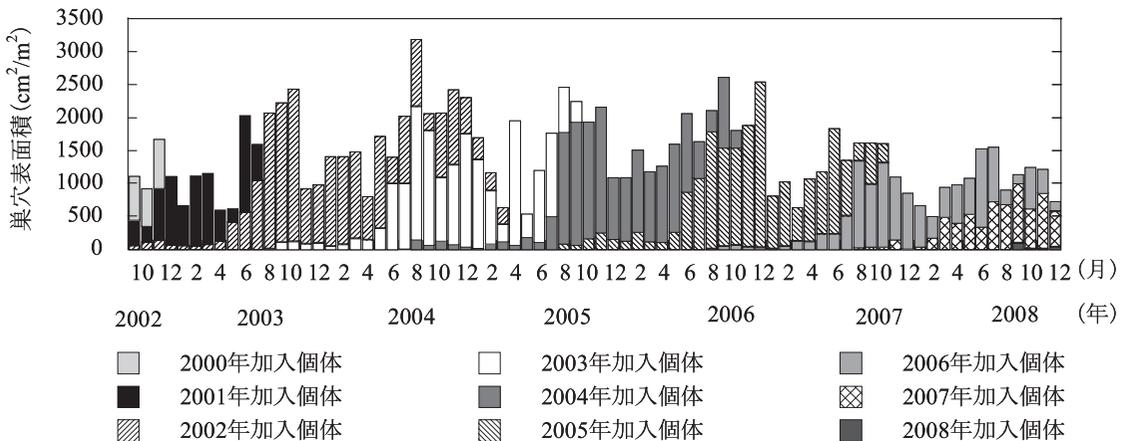


図-4 造巣活動により創出された巣穴表面積の経年変化

表-2 巣穴表面積・容積の経年変化

期間 (年/月)	巣穴表面積 (cm^2/m^2)	調査対象域当たりの 巣穴表面積 ($\text{m}^2/5,000\text{m}^2$)	調査対象地域における 創出された表面積割合 (%)	巣穴容積 (cm^3/m^2)
02/09~03/08	589~2,067	294~1,034	5.9~24.3	146~807
03/09~04/08	794~3,186	397~1,593	7.9~31.9	240~1,016
04/09~05/08	537~2,460	268~1,230	5.4~24.6	170~861
05/09~06/08	1,080~2,247	540~1,124	10.8~26.1	376~856
06/09~07/08	632~2,611	316~1,305	6.3~25.4	172~786
07/09~08/08	490~1,612	245~806	4.9~15.4	137~465

表-3 コドラート内の巣穴数の変化
(春期: 2008年4月19日から26日)

コドラート (50×50cm)	巣穴数	経過日数								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
1	現存	8	10	10	8	9	9	12	12	
	残存	7	4	7	5	5	6	9		
	新生	3	6	1	4	4	6	3		
	消滅	1	6	3	3	4	5	3		
2	現存	16	15	21	21	23	23	24	25	
	残存	9	11	14	13	18	20	21		
	新生	6	10	7	10	5	4	4		
	消滅	7	4	6	8	5	3	3		
3	現存	14	16	17	14	21	21	18	16	
	残存	12	12	8	12	16	13	13		
	新生	4	5	6	9	5	5	3		
	消滅	2	4	9	2	5	9	4		
4	現存	15	19	25	17	17	16	16	11	
	残存	11	14	12	9	10	12	6		
	新生	8	11	5	8	6	4	5		
	消滅	4	5	12	7	7	5	9		
5	現存	12	13	14	17	15	15	16	17	
	残存	10	11	12	10	8	13	13		
	新生	3	3	5	5	7	3	4		
	消滅	2	2	2	7	7	2	3		

(2) 造巣活動による干潟表面積の増大

ヤマトオサガニの造巣活動により干潟表面積が拡大されると、有機物分解量や脱窒量も増大すると考えられる。そこで、毎月の現存量調査結果(大谷ら, 2006)および表-1を用いて、造巣活動によって創出された表面積および容積を算出した。ここでは、ヤマトオサガニの巣穴数は少なくとも、現存量調査の結果から得られた個体群密度はあると考え、個体群密度を巣穴数とした。造巣活動により創出された巣穴表面積の経年変化を図-4に示す。

図-4より、 1m^2 当たりの巣穴表面積は、 $490\sim 3,186\text{cm}^2$ 、同様に求めた巣穴容積は $137\sim 1,016\text{cm}^3$ で変動し、巣穴表面積と巣穴容積は夏から秋にかけて増加し、冬になるにつれて減少する傾向にあった。これは、ヤマトオサガ

ニの個体数は夏に増加し、冬に減少することに応じて(大谷ら, 2006)、創出される巣穴表面積もそれに伴い変動するためである。また、巣穴表面積および巣穴容積とヤマトオサガニの甲幅にはそれぞれ相関が見られるため(図-3)、小さな甲幅のヤマトオサガニが主となる冬期に巣穴表面積と巣穴容積が減少した。

これらの結果から勝浦川河口干潟での泥質域に創出された巣穴表面積およびその割合と、巣穴容積を算出し、表-2に示した。その結果、泥質域 $5,000\text{m}^2$ 当たりに造巣活動により $245\sim 1,593\text{m}^2$ の巣穴壁面が造られ、その値は対象とした泥質域の4.9%から31.9%に相当した。つまり、 1m^2 当たりの範囲内に造られた巣穴で新たに水や大気と直接接する巣穴壁面の表面積は最大で 0.32m^2 と推定できた。なお、アナジャコの巣穴構造について述べているKinoshita (2002)によると、アナジャコの巣穴深さは2m以上に達し、現場の個体群密度は 100 個体/ m^2 以上におよび、創出された巣穴表面積は 1m^2 当たり 2.4m^2 になると報告されている。

(3) 巣穴数の経日変化

春期におけるコドラート内の巣穴数の変化を表-3に示す。巣穴数の変化について、例えば2008年4月19日のコドラート1内の現存巣穴数は8個であったが、4月20日には10個と2個増えていた。つまり、この1日間に消滅した巣穴は1個、新たに作られた新生巣穴は3個確認され、その差が両日の巣穴数の差であった。このように現存巣穴数は調査期間中を通して比較的一定であったが、これは日々消滅する巣穴数と新しく作られる巣穴数が同程度で、夏期、秋期も同様の傾向を示した。なお、冬期はヤマトオサガニの活性が低下し、コドラート内に巣穴はほぼ認められなかった。また、冬期を除いた各季節の調査期間中の新生巣穴数と崩壊巣穴数に有意な違いは認められなかった(Mann-Whitney U-test, n.s.)。つまり、平均すると1日の間に、同じ数だけの巣穴数が新しく作られ、同時に崩壊している。

コドラート内の巣穴数の経日変化を図-5に、1つの巣穴がどれほどの期間維持されるかを示した巣穴の残存率を図-6に示す。本研究と同じように、1つの巣穴がどれ

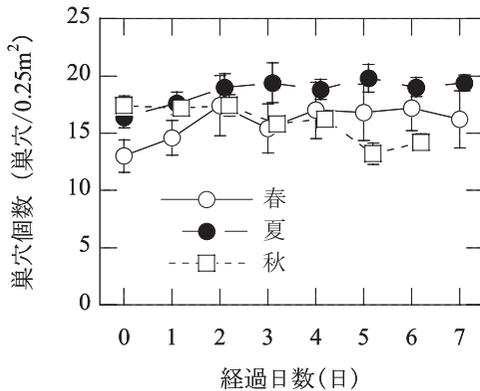


図-5 コドラート内の巣穴個数の経日変化 (平均値±標準誤差)

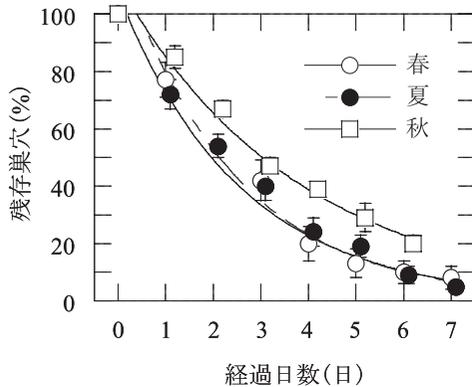


図-6 コドラート内の巣穴の残存率 (平均値±標準誤差)

ほどの期間維持されているか調べた先行研究では、Takeda and Kurihara (1988) らのアシハラガニについてのものがあり、これによると巣穴の半数が崩壊するのに要する時間はほぼ4日であること、土屋ら (2002) はヒメシオマネキでは約1週間で大部分の巣穴は消滅し、日々更新されていると報告している。また、ヒメシオマネキはヤマトオサガニと同じように調査期間中の巣穴数は比較的一定であり (図-5)、日々消滅する巣穴数と新しく作られる巣穴数が同程度であった。

ヤマトオサガニのコドラート内に残っている巣穴の割合は指数関数的に減少して、約1週間で大部分の巣穴は消滅していることがわかる (図-6)。また、春期、夏期においてはコドラート内の巣穴は約2日で半分は更新していると推測され、秋期には若干遅く、約3日であった。このように、活動期には巣穴は日々更新されており、その更新速度はアシハラガニより早かった。

各季節の巣穴の更新速度を表-4に示す。ここでは、各季節について新生巣穴数と崩壊巣穴数に有意な違いは認められなかった (Mann-Whitney U-test, n.s., 表-3) ことから、両者は同じであると仮定して計算した。表-4より、

表-4 コドラート内の巣穴更新速度 (平均値±標準誤差)

季節	巣穴更新速度 (巣穴/m ² /日)	平均個体数密度 (個体/m ²)
春	21.4±2.5	27.8±2.0
夏	26.5±0.4	27.4±0.1
秋	14.7±0.7	28.8±0.1

表-5 土砂入れ替わり量およびその割合

季節	月	土砂入れ替わり量 (cm ³ /m ² /月)	深度20cmまでの土砂の入れ替わり割合 (%)	土砂排出量 (kg/m ² /月)
春	3	26,640	13	72
	4	25,299	13	69
	5	24,825	12	68
夏	6	25,340	13	69
	7	35,089	18	95
秋	8	34,260	17	93
	9	17,750	9	48
	10	18,360	9	50
	11	18,730	9	51

各季節の巣穴更新速度は1日に1m²当たり、春期に21.4個、夏期に26.5個、秋期に14.7個の巣穴が更新されており、ヤマトオサガニの活性が高い夏期に最も大きい値を示した。

4. 考察

毎月の現存量調査結果と表-1より各コホートの巣穴容積を算出し、それに巣穴更新速度を乗じることににより、1ヶ月当たりの土砂入れ替わり量を推定した。また、ヤマトオサガニの生息深度は約20cmまでであることから巣穴の深度を20cmと仮定し (図-3)、深さ20cmまでの土層における土砂の入れ替わる割合を算出した (表-5)。

表-5より、2008年の3～11月の土砂入れ替わり量およびその割合は7月に最大で35,089cm³/m²/月となり、これは1m²当たり深さ20cmまでの18%の土砂に相当する。さらに、冬期を除いた2002年からの結果に適用すると、ヤマトオサガニの造巣活動によって8,466～67,657cm³/m²/月、巣穴周辺の土砂の4～34%が入れ替わっていることとなった。さらに、これらの値を本干潟の堆積物の密度 (2.72g/cm³) の値から入れ替わった土砂の量を推定すると、23～184kg/m²/月と推定できた。

Katz (1980) は、スナガニ類の *Uca pugnax* で巣穴の更新速度を6.2±1.2巣穴/m²/日、個体群の14.6% (42.3個体/m²) が毎日新しい巣穴を掘っていると報告している。また、巣穴の平均容積が52.4cm³であることから、土砂の入れ替わり量は9,746cm³/m²/月と推定された。この結果

表-6 ヤマトオサガニとKatz (1980) の比較

項目	本研究	Katz(1980)
種名	ヤマトオサガニ	<i>Uca pugnax</i>
巣穴更新速度 (巣穴/m ² /日)	14.7±0.7~26.5±0.4	6.2±1.2
巣穴容積 (cm ³)	1.5~119	52.4±7.4
個体群密度 (個体/m ²)	27.4±0.1~28.8±0.1	42.3
土砂入れ替わり量 (cm ³ /m ² /月)	17,750~35,089	9,746

をヤマトオサガニと比較すると、ヤマトオサガニの巣穴の更新速度は *U. pugnax* の2.4~4.3倍大きいために、*U. pugnax* よりも個体群密度および巣穴の容積量が小さいにも関わらず、土砂の入れ替わり量は、*U. pugnax* よりも1.8~3.6倍大きくなった(表-6)。

ヤマトオサガニの巣穴の更新速度が *U. pugnax* よりも高い理由としては、以下のことが考えられる。ヤマトオサガニは巣穴周辺で摂餌活動を行う個体もいれば、放浪癖を有しており水際線に移動を行う個体もいる(Henmi, 1984; Henmi, 1989)。つまり、ヤマトオサガニは自分の巣穴から水際線に移動する時、巣穴を捨て、他の巣穴を利用したり、新たに巣穴を作ったりするために、巣穴の入れ替わり速度が高いと考えられる。

また、ヤマトオサガニはアナジャコよりも1m²当たりの個体群密度および造巣活動によって創出される巣穴表面積は小さいが、巣穴の更新速度が高いために、人工巣穴で認められているような底質環境の改善効果(増田ら, 2007)が持続的に行われていることが推察される。

以上のように、本研究では生態的特徴を踏まえて、干潟の普通の生き物であるヤマトオサガニの生物攪拌作用を定量化することができた。一般に干潟造成では、水産価値のあるアサリのいる砂質干潟が対象とされるが、生物攪拌が活発である場合には泥質干潟でも高い環境機能を有している可能性があり、それが環境創出の目標像となり得ることを示唆するものである。

5. 結論

- ヤマトオサガニの巣穴構造を調査した結果、そのほとんどがJ字型であり、甲幅と巣穴表面積、容積にそれぞれ高い相関関係を示し、累乗関数的に増加することを明らかにした。
- 毎月のヤマトオサガニ現存量より、造巣活動により新たに創出される巣穴表面積を推定した結果、それは

本干潟の泥質域の最大31.9%に相当していた。

- ヤマトオサガニの巣穴の個数を毎日計測した結果、全体の巣穴数は一定の値を示していたが、日々更新されていることがわかった。さらに、春、夏においてはコドラート内の巣穴は約2日、秋には約3日で半分は更新し、巣穴周辺の土砂は8,466~67,657cm³/m²/月(23~184kg/m²/月)、入れ替わっていることが推定された。

参考文献

- 歌代 勤・堀井靖攻・松木 保・堀川幸夫(1966)：現棲ヤマトオサガニ *Macrophthalmus japonicus* de HAANの生態と生痕, 新潟大学教育学部高田分校研究紀要, 11, pp.131-145.
- 歌代 勤・生痕研究グループ(1978)：再びヤマトオサガニ *Macrophthalmus japonicus* de Haanの生態と生痕について-生痕の生物学的研究・その19-, 新潟大教育高田分校研究紀要, 23, pp.117-153.
- 大谷 壮介・上月康則・仲井 薫史・石山 哲・村上仁士(2006)：干潟の底生微細藻類量の季節変動に及ぼすヤマトオサガニの摂餌圧の影響に関する考察, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1056-1060.
- 小野勇一(1995)：干潟のカニの自然誌, 平凡社, 自然叢書29, pp.1-271.
- 菊池永祐・向井 宏(1994)：生物攪拌：ベントスによる環境改変(総説), 日本ベントス学会誌, Vol.46, pp.59-79.
- 土屋 誠・當山直美・牧内千穂(2002)：沖縄の干潟における生物の役割, 第4回沖縄研究国際シンポジウム-世界に拓く沖縄研究-, pp.728-736.
- 浜野龍夫(1990)：ポリエステル樹脂を使用して底生生物の巣型をとる方法, 日本ベントス学会誌, Vol. 39, pp.15-19.
- 増田龍哉・滝川 清・森本剣太郎・丸山 繁・木田建次・大久保貴仁(2007)：有明海干潟海域環境改善へ向けた人工巣穴による底質改善技術の現地実証試験, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1131-1135.
- 安岡澄人・畑 恭子・芳川 忍・中野拓治・白谷栄作・中田喜三郎(2005)：有明海の泥質干潟・浅海域での窒素循環の定量化-泥質干潟域の浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発-, 海洋理工学会誌, Vol.11 (1), pp.21-33.
- Henmi Y. (1984)：The description of wandering behaviour and its occurrence varying in different tidal areas in *Macrophthalmus japonicus* (DeHaan) (Crustacea: Ocypodidae), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 84, pp.211-224.
- Henmi Y. (1989)：Factors influencing drove formation and foraging efficiency in *Macrophthalmus japonicus* (De Haan) (Crustacea: Ocypodidae), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 131, pp.255-265.
- Katz, L.C. (1980)：Effects of burrowing by the fiddler crab, *Uca pugnax* (Smith), Estuarine and Coastal Marine Science, 11, pp. 233-237.
- Kinoshita, K. (2002)：Burrow Structure of the Mud Shrimp *Upogebia major* (Decapoda: Thalassinidea: Upogebiidae), Journal of Crustacean Biology, 22(2), pp.474-480.
- Shimoda, K., Tamaki, A. (2004)：Burrow morphology of the ghost shrimp *Nihonotrypaea petalura* (Decapoda: Thalassinidea: Callianassidae) from western Kyushu, Japan, Marine Biology, 144, pp.723-734.
- Takeda S., Kurihara Y. (1987)：The effects of burrowing of *Helice tridens* (De Haan) on the soil of a salt-marsh habitat, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 113, pp.79-89.