北海道石狩湾沿岸の漂着物に見られる生物侵食

鈴木 明彦[1]

Bioerosion of coastal driftages on the coast of Ishikari Bay, Hokkaido

Akihiko SUZUKI[1]

Abstract

Bioerosion of coastal driftages on the coast of Ishikari Bay, Hokkaido are examined. Bioerosive driftages collected from two localities are divided into shells, rocks and wood. Bioerosion of molluscan shells consist of various borings by invertebrates such as gastropod predation, polychaeta boring, porifera boring, etc. Bioerosion of sedimentary rocks are dominated by boring-bivalves, and contain polychaeta boring. Bioerosion on driftwood are characterized by shipworms. Composition and frequency of bioerosion of coastal driftages is presumably attributed to coastal geomorphology and marine conditions such as bathymetry, substrate and water turbulence.

Key words: bioerosion, coastal driftages, Hokkaido, Mollusca, Japan Sea

はじめに

生物侵食（bioerosion）は，巣穴形成，摂食活動，樹木成長などの生物活動の結果，堆積物や貝殻・サンゴ・木材等の基質，あるいは岩盤などが穿孔，溶解，細粒化などを受けて，侵食，崩壊されてゆく作用のことである（Trenhaile 1997；Edinger 2001）．

生物侵食は，特に海域で盛んであり，様々な海洋生物による侵食作用が知られている（Boekschoten 1966；Bromley 1978；Stearley and Ekdale 1989）．また，これらの特徴は海洋環境の違いを反映しているため，過去の堆積環境を推定する古環境指標としても活用される（Boekschoten 1967；Gibert et al. 1998；鈴木・疋田 2005）．さらに，生物侵食は基質に明瞭な生痕を残しており，現地性化石として保存されやすいため，生痕学的視点からも注目されている（Warme 1975；Bromley 1992, 1994）．

筆者は，北海道の日本海側の石狩湾沿岸において，定期的に打ち上げ貝類を採集し，群集構成を検討してきた（鈴木 2002, 2003, 2005）．この過程で，貝類はじめ岩石や木材等の漂着物中に多数の生物侵食を観察した．そこで，石狩湾の海岸漂着物に見られる生物侵食の特徴について報告する．

調査地・方法

石狩湾は，北海道中央部石狩低地帯北部に位置し，日本海に面している．石狩湾付近の地形は，現在の海岸線と平行な2列の砂丘（石狩砂丘，紅葉山砂丘）と，その間に広がる平地で特徴づけられる（垣見 1958）．石狩砂丘は石狩湾に沿って，小樽市銭函から石狩市知津狩まで約20kmに分布する海岸砂丘である．

今回，漂着物の調査を行ったのは，石狩湾沿岸の2地点である（Fig. 1）．石狩浜は，石狩市南部に位置する．この付近の海岸は，ほぼ直線的な海岸線が連続する外洋性の砂浜である．また，一級河川石狩川の河口が北側に存在する（鈴木 2002）．望来海岸は，石狩市中部に位置する．この付近には湾曲した礫混じりの砂浜が見られ，ほぼ北北東に海岸線が連続する典型的な外洋性海岸である（鈴木 2005）．

両地点の海岸の前浜において，汀線約500mを1時間程度調査し，生物侵食を受けた漂着物（Fig. 2）をできるかぎり採集した．採集した漂着物は，洗浄・乾燥したあと，ルーペや実体顕微鏡で観察を行った．

[1] 〒068-8642 北海道岩見沢市緑が丘2－34 北海道教育大学岩見沢校地学研究室
[1] Department of Earth Science, Iwamizawa College, Hokkaido University of Education, Iwamizawa 068-8642, Japan

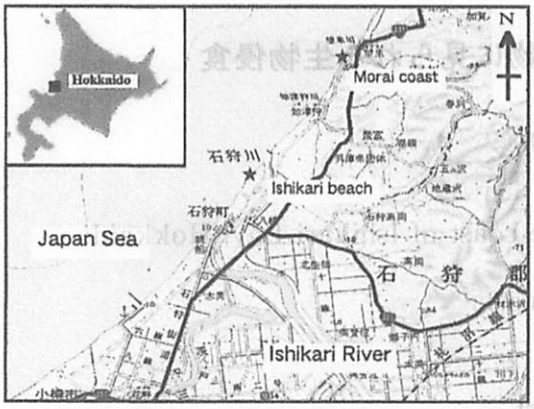

Fig. 1. Location of the sampling localities on the coast of Ishikari Bay.

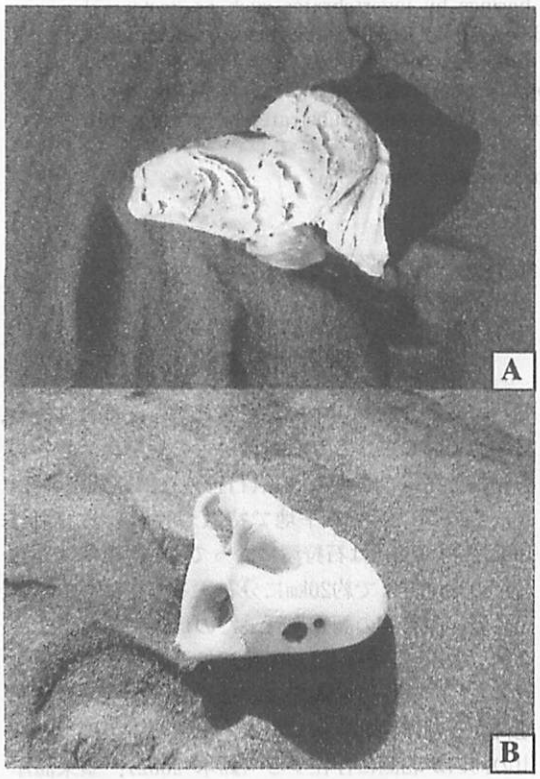

Fig. 2. Field occurrence of coastal driftages.
A. Bioerosive shell of an oyster, Ishikari beach.
B. Boring pebble by rock-boring bivalve, Morai coast.

なお，2004年から2005年にかけて，調査・採集した試料が主な対象である．

海洋生物は岩礁海岸や岩礁潮下帯の高エネルギー環境に適応するため，地質時代を通じて多様な適応戦略を試みてきた（Taylor and Wilson 2003）．このうち，硬質基質への穿孔は，主に生物侵食による

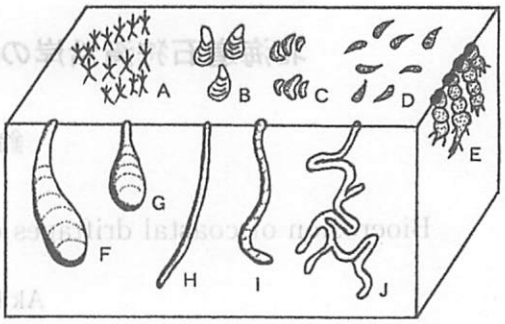

Fig. 3. Ichnogenera characteristic of hard substrate ichnofacies.
A. *Gnathichnus* (Echinoid boring), B. *Centrichnus* (Anomiid boring), C. *Renichnus* (Velmetid boring), D. *Rogerella* (Cirripedia boring), E. *Entobia* (Porifera boring), F., G. *Gastrochaenolites* (Bivalvia boring), H., I. *Trypanites* (Sipunculid boring), J. *Maeandropolydora* (Polychaeta boring).

ものである（Edinger 2001）．これらの穿孔は岩礁表面，礫，生物遺骸の表面に残された穿孔性生物の生物侵食を示す各種の生痕属（ichnotaxa）で構成される（Fig. 3）．これらの生痕属は，穿孔性貝類，ウニ類，多毛類，海綿動物，フジツボ，コケムシ等の痕跡で代表される（Bromley 1992, 1994）．穿孔性生物には，このような大型穿孔（macroboring）に加えて，光学顕微鏡サイズの微小穿孔（microboring）を形成する菌類や藻類があるが，本論では扱わない．以下，主要な大型穿孔について概要を記述する．

大型穿孔は穿孔方法により，大きく二つに分けられる（Bromley 1992）．第1は，硬質基質の表面に残された穿孔跡で，摂食跡や付着跡などからなる．第2は，硬質基質の中に住い跡を形成するもので，形態的にも多様性に富んでいる．

まず，前者の主要な生痕属を示すことにする（Bromley 1994）．*Radulichnus* は，基質表面の20-100μm程度の摂食跡で，ヒザラガイやカサガイにより形成されたものである．*Gnathichnus* は，基質表面の星形の溝で特徴づけられ，正形ウニによるものである．*Centrichnus* は，二枚貝のナミマガシワガイ科（Anomiid）により形成された成長線をもった付着跡である．*Renichnus* は，巻貝のムカデガイ科（Vermetid）による渦巻き状の付着跡である．*Podichnus* は，放射状の窪みで，腕足貝により形成されたものである．

次に後者の生痕属を示す（Bromley 1994）．*Trypanites* は，単純な筒状の穿孔跡で，その形成者

は多毛類やホシムシと考えられている．本属はカンブリア紀以降産出が知られる代表的な生痕化石である．一方，U字型に分岐した筒状の生痕化石は，*Conchotrema* とよばれ，多毛類によるものである．*Caulostrepsis* は，U字型ポーチ状の穿孔で特徴づけられ，多毛類に形成されたものである．また，*Maeandropolydora* は *Caulostrepsis* に類似するが，むしろ複雑なネットワーク状の穿孔からなり，これも多毛類によるものである．*Rogerella* は，しずく状の小型の穿孔跡で，穿孔性フジツボによるものである．*Entobia* は，多数の入口と部屋をもつ複雑な生痕で，穿孔性海綿動物により形成されたものである．*Gastrochaenolites* は，いわゆるフラスコ状の穿孔で示される．主に穿孔性二枚貝類によって形成されたもので，その形態は多様性に富む．

これらの生痕属は岩礁海岸の存在を認定する基準となり，特に特定の生痕属の産出や組み合わせが，古水深の見積もりに有効であるとされる（Bromley and Asgaard 1993）．たとえば，*Gnathichnus* や *Radulichnus* は，透光帯の指標となる．同様にも *Gastrochaenolites* は，浅海域の指標となる．一方，*Entobia* は，属レベルでは特定の環境を示唆しないが，種によっては浅海や深海を特定する良い指標となる．

結　　果

石狩湾沿岸の調査地点から採集した漂着物を検討した結果，様々な種類の生物侵食が認められた．対象の漂着物は，その基質によって，貝類(貝殻)，岩石及び木材に区分される（Table 1）．

貝類の生物侵食では，肉食性巻貝の穿孔痕が顕著に認められた．これらは穿孔痕の形状から2つのタイプに分けられる（福田 2000）．

第1のタイプは，明瞭な円形の穿孔を示すもの（Figs. 4-1～7）である．これはタマガイ科（Naticidae）の捕食による穿孔痕である（奥谷 1994）．ウソシジミ *Felaniella usta*，カガミガイ *Phacosoma japonicum*，ビノスガイ *Mercenaria stimpsoni*，ヌノメアサリ *Protothaca euglypta*，アサ

Table 1. Bioerosion of coastal driftages on the coast of Ishikari Bay.
A: Abundant, C: Common, R: Rare.

Boring biota	Ichnotaxa	Host	Locality Ishikari	Locality Morai
Gastropoda (Naticidae)	*Oichnus paraboloides*	*Felaniella usta*	R	
		Phacosoma japonicum	C	
		Mercenaria stimpsoni	C	
		Protothaca euglypta	R	R
		Rudilapes philippinarum	R	R
		Gomphina melanaegis	R	
		Spisula (Pseudocardium) sachalinensis	A	C
		Mactra chinensis	A	R
		Megangulus luteus	R	
		Nitidotellina hokkaidoensis	R	
		Siliqua alta	R	
Gastropoda (Muricidae)	*Oichnus simplex*	*Mytilus galloprovincialis*		C
		Chlamys farreri		R
		Saxidomus purpuratus		R
Polychaeta	*Caulostrepsis* isp.	*Arca boucardi*		R
		Mytilus coruscus		R
		Mizuhopecten yessoensis		R
		Crassostrea gigas	C	A
		Mercenaria stimpsoni		R
		Cryptonatica janthostomoides	R	
		Omphalius rusticus		C
Porifera	*Entobia* isp.	*Crassostrea gigas*	R	A
		Nucella freycineti		C
		Neptunea arthiritica		C
Bivalvia (Pholadidae)	*Gastrochanolites* isp.	Sandstone		C
		Mudstone	R	A
Polychaeta	*Caulostrepsis* isp.	Sandstone	R	C
	Maeandropolydora? isp.	Calcareous nodule		C
Bivalvie (Teredinidae)	*Teredolites* isp.	Driftwood	A	A

リ *Ruditapes philippinarum*, コタマガイ *Gomphina melanaegis*, ウバガイ *Spisula* (*Pseudocardium*) *sachalinensis*, バカガイ *Mactra chinensis*, ベニサラガイ *Megangulus luteus*, サクラガイ *Nitidotellina hokkaidoensis*, オオミゾガイ *Siliqua alta* などの二枚貝に認められた.

第2のタイプは, 前者に比べて小さな円形の穿孔を示すもの (Fig. 4-8) である. これはアクキガイ科 (Murisidae) の捕食による穿孔痕である (奥谷 1994). ムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis*, アズマニシキガイ *Chlamys farreri*, ウチムラサキガイ *Saxidomus purpulatus* が, この捕食を受けていた.

また, 穿孔性多毛類による住い跡 (Figs. 4-9, 10) が認められた. これらは, 主にスピオ科の *Polydora* 属によるものである (今島 1994). コベルトフネガイ *Arca boucardi*, イガイ *Mytilus coruscus*, ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis*, マガキ *Crassostrea gigas*, ビノスガイ *Mercenaria stimpsoni*, エゾタマガイ *Cryptonatica janthostomoides*, コシタカガンガラ *Omphalius rusticus* などに認められた.

さらに穿孔性海綿動物による住い跡 (Figs. 4-11～14) が認められた. これらは, 主にセンコウカイメン科の *Cliona* 属によるものである (今島 1994). マガキ *Crassostrea gigas*, チヂミボラ *Nucella freycineti*, ヒメエゾボラ *Neptunea arthiritica* などに認められた.

次に岩石では, 穿孔性二枚貝類による住い跡 (Figs. 5-1～3) が顕著に認められた. これらは二枚貝類カモメガイ科 (Pholadidae) によるものである

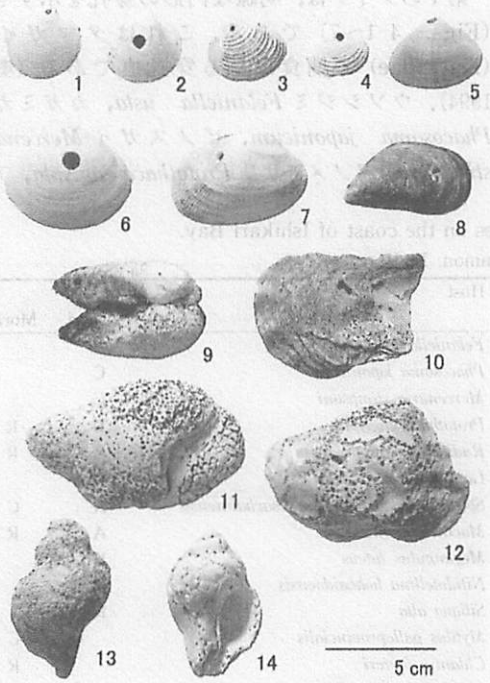

Fig. 4. Representative bioerosion in molluscan shells.

Naticid boring in *Phacosoma japonicum* (1, 2), *Mercenaria stimpsoni* (3, 4), *Mactra chinensis* (5) and *Spisula sachalinensis* (6), Ishikari beach.
Naticid boring in *Ruditapes philippinarum* (7), Morai coast.
Muricid boring in *Mytilus galloprovincialis* (8), Morai coast.
Polychaeta boring in *Arca boucardi* (9), Morai coast.
Polychaeta boring in *Crassostrea gigas* (10), Ishikari coast.
Porifera boring in *Crassostrea gigas* (11, 12), *Neptunea arthiritica* (13) and *Nucella freycineti* (14), Morai coast.

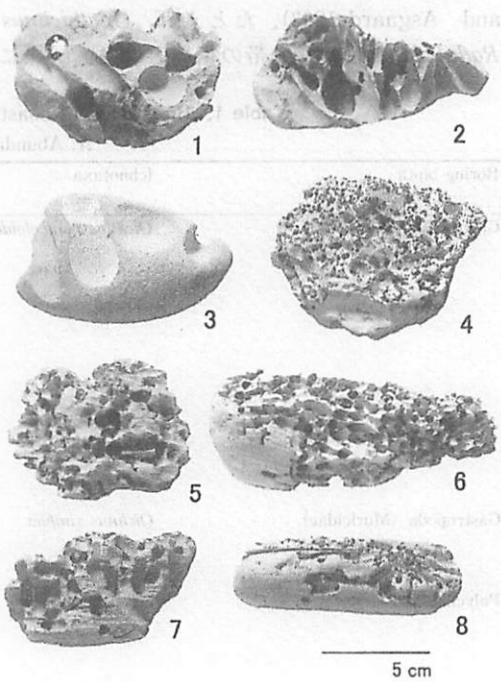

Fig. 5. Representative bioerosion in rocks and woods.

Mudstone bored by piddocks, Pholadidae (1, 2), Morai coast.
Fine-grained sandstone bored by piddocks, Pholadidae (3), Morai coast.
Calcareous nodule bored by boring polychaeta (4), Morai coast.
Driftwood bored by shipworms, Teredinidae, Ishikari beach (5, 8) and Morai coast (6, 7).

(福田 2000).

また，穿孔性多毛類による住まい跡 (Fig. 5-4) も岩石に認められた．これらは，前述の *Polydora* 属によるものである (今島 1994).

木材については，穿孔性二枚貝による住い跡(Fig. 5-5～8) が顕著に認められた．これらは，二枚貝類フナクイムシ科 (Teredinidae) によるものである (奥谷 1994).

考　　察

(1) 石狩湾沿岸において，生物侵食が認められた漂着物は，貝類(貝殻)，岩石及び木材に区分される (Table 1).

貝類では肉食性巻貝による穿孔痕が顕著で，これらは形状から二つのタイプに分けられる (福田 2000). 第1のタイプはタマガイ科によるもので，明瞭な円形をなし，断面ではすりばち状を示し，*Oichnus paraboloides* という生痕種に同定される (Bromley 1981；Kabat 1990). タマガイ科のツメタガイ *Glossaulax didyma* やエゾタマガイ *Cryptonatica janthostomoides* によるものと考えられる．ウソシジミ，カガミガイ，ビノスガイ，ヌノメアサリ，アサリ，コタマガイ，ウバガイ，バカガイ，ベニサラガイ，サクラガイ，オオミゾガイなどは，いずれも砂底から砂泥底の生息種 (肥後・後藤 1993) である．石狩湾沿岸の浅海底では，二枚貝類に対するタマガイ科の捕食が著しいことを示している．

第2のタイプはアクキガイ科によるもので，小さな円形で，細い筒状の穿孔をなし，*Oichnus simplex* という生痕種に同定される (Bromley 1981；Kabat 1990). チヂミボラ *Nucella freycineti* やオオウヨウラク *Ceratostoma inornatum* によるものと考えられる．ムラサキイガイ，アズマニシキガイ，ウチムラサキガイが，この捕食を受けている．岩礁海岸では，岩礁種へのアクキガイ科の盛んな捕食が認められる．

また，穿孔性多毛類の住い跡が認められ，これはU字型ポーチ状の穿孔で，*Caulostrepsis* isp.という生痕種に該当する (Bromley and D'Alessandro 1983). スピオ科の *Polydora* 属によるものであろう．コベルトフネガイ，イガイ，ホタテガイ，マガキ，ビノスガイ，エゾタマガイ，コシタカガンガラに認められた．石狩湾沿岸の浅海底では，多毛類の活発な穿孔が伺われる．

さらに，穿孔性海綿動物による住い跡が認められた．これは多数の入口と部屋をもつ複雑な穿孔で，*Entobia* isp.という生痕種に該当する (Bromley and D'Alessandro 1984). センコウカイメン科の *Cliona* 属によるものであろう．マガキ，チヂミボラ，ヒメエゾボラなどに認められた．石狩湾沿岸の浅海底では，死殻に対する海綿動物の穿孔が著しいことを示している．

次に，岩石では穿孔性二枚貝による住い跡が顕著に認められた．泥岩や砂岩に穿孔するこれらはカモメガイ科 (Pholadidae) の二枚貝によるものである (田島・近藤 2003). これはフラスコ状の穿孔をなし，*Gastrochanolites* isp.という生痕種に該当するが，穿孔痕を形成した二枚貝の種類によって形態に違いがある (Kelly and Bromley 1984). 望来海岸では，カモメガイ，ニオガイなど種類によって，その穿孔痕の形態に違いが認められた．

また，泥岩には穿孔性多毛類による住い跡 (Bromley, 1992, 1994) が認められた．これは，*Caulostrepsis* isp.という生痕種である (Bromley and D'Alessandro 1984). 一方，石灰質団球には穿孔性多毛類による住い跡 (Bromley 1992, 1994) が認められた．これは複雑なネットワーク状の穿孔からなり，*Maeandropolydora*？isp.という生痕種に該当する (Bromley and D'Alessandro 1984). 望来海岸では，岩石に対する多毛類の活発な穿孔活動が認められる．

一方，木材では穿孔性二枚貝による住い跡が多数認められた．これらはフナクイムシ科によるもので，木材基質を特徴づけるチューブ状の *Teredolites* isp.という生痕種に該当する (Bromley et al 1984).

(2) 次に両産地での生物侵食の特徴について検討する．なお，木材については，大きな相違はみられなかったので，特に貝類と岩石に着目した．

石狩浜は，典型的な砂浜であることから，漂着物として貝殻や流木は普通にみられる (鈴木 2003). しかし，岩石の漂着は，軽石や石炭を除けば，小礫サイズの堆積岩類がまれに打ち上げられるに過ぎない．このため，貝類や木材への生物侵食は普通に認められるが，岩石を対象としたものはわずかであった．

貝類への生物侵食に注目すると，タマガイ類の捕食痕が非常に多く認められた．これは浅海域にツメタガイやエゾタマガイが多数生息していることを指示しており，浅海底の二枚貝類であるウバガイやバ

カガイなどが捕食の主要な対象となっている．このような捕食痕の存在から，浅海域での捕食-被食関係を確認することが可能となる（Bishop 1975；Kabat 1990）．

また，マガキや巻貝類の厚い貝殻も多毛類や海綿動物の穿孔を受けたものが多い．これは死殻がすぐに堆積物中に埋もれることなく，これらの棲み場所として再利用されていることを示している（Boekschoten 1966；Warme 1975）．

一方，望来海岸は砂浜に加えて，岩礁海岸が発達する．このため，漂着物として，貝殻や流木に加え，各種の岩石が普通に見られる（鈴木 2005）．

まず，貝類への生物侵食では，タマガイ類に加え，アクキガイ類の捕食痕が認められた．これは浅海岩礁域に多数のチヂミボラが生息していることと関連しており，二枚貝のムラサキイガイやウチムラサキガイなどが捕食の対象となっている．これも浅海域での捕食-被食関係を確認する一例である（Bishop 1975；Kabat 1990）．

また，マガキや巻貝類などの厚い貝殻も多毛類や海綿動物の穿孔を受けたものが多い．これも死殻がすぐに堆積物中に埋もれることなく，棲み場所として盛んに利用されていることを示している（Boekschoten 1966；Warme 1975）．望来海岸では沖合に岩盤が露出し，海底の堆積物が乏しいことに関連しよう．

岩石にみられる生物侵食に注目すると，多様な穿孔が多数認められる．まず，岩石穿孔性二枚貝類である．これは岩礁域にカモメガイやニオガイが多数生息していることを指示している．望来海岸では，海食崖に中新統望来層が露出しており，多量の漂着礫が供給され，これらは比較的軟質の泥岩や砂岩が多いことによる．また，石灰質団球もあり，これにはしばしば多毛類や海綿動物の穿孔を受けたものがある．このような特徴から，岩礁海岸での生物侵食の著しい影響を認定することができる（Gibert et al. 1998；鈴木・疋田 2005）．

このような生物侵食の違いは，砂浜海岸と岩礁海岸という地形的特徴の違いが大きいといえる．さらに浅海底での水深・底質・水流などの環境的な差異が生物侵食にも反映されているのであろう．

謝　辞：小論をまとめるにあたり，野外調査においてご協力いただいた北海道教育大学大学院生の平中伸英氏，越高大輔氏に御礼申し上げる．また，本研究には日本学術振興会科学研究費（基盤研究C：課題番号17540440）を使用した．

引用文献

Bishop G. A. 1975. Traces of predation. In: Frey, R. W. (ed.), The Study of Trace Fossils, Springer-Verlag, New York, 261-281.

Boekschoten, G. J. 1966. Shell boring of sessile epibiontic organisms as palaeoecological guides (with examples from the Dutch Coast). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **2**: 333-379.

Boekschoten, G. J. 1967. Palaeoecology of some mollusca from the Tielrode Sands (Pliocene, Belgium). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **3**: 311-362.

Bromley, R. G. 1978. Bioerosion of Bermuda Reef. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **23**: 169-197.

Bromley, R. G. 1981. Concepts in ichnotaxonomy illustrated by small round holes in shells. Acta Geologica Hispanica, **16**: 55-64.

Bromley, R. G. 1992. Bioerosion: eating rocks for fun and profit. In: Maples, C. G. and West, R. R. (ed.), Trace Fossils, Short Courses in Paleontology, 5, Paleontological Society, Knexville, Tennessee, 121-129.

Bromley, R. G. 1994. The palaeoecology of bioerosion. In: Donovan, S. K. (ed.), The Palaeobiology of Trace Fossils, John Wiley and Sons, Chichester, 134-154.

Bromley, R. G. and Asgaard, U. 1993. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. Geologische Rundschau, **82**: 276-280.

Bromley, R. G. and D'Alessandro, A. 1983. Bioerosion in the Pleistocene of southern Italy: Ichnogenera *Caulostrepsis* and *Maeandropolydora*. Revista di Paleontologia e Stratigrafia, **89**: 289-309.

Bromley, R. G. and D'Alessandro, A. 1984. The ichnogenus *Entobia* from the Miocene, Pliocene and Pleistocene of southern Italy. Revista di Paleontologia e Stratigrafia, **90**: 227-296.

Bromley,R. G.,Pemberton, S. G. and Rahmani,R. A. 1984. A Cretaceous wood-ground: the *Teredolites* ichnofacies. Jour. Paleontology, **58**: 488-498.

Edinger, E. N. 2001. Bioerosion. In: Briggs D. E. G. and Crowther, P. R. (ed.). Palaeobiology II, Blackwell Publishing, Oxford, 273-277.

福田芳生．2000．生痕化石の世界．344pp.，川島書店，東京．

Gibert, J. M, Martinella, J. and Domenech, R. 1998. *Entobia* ichnofacies in fossil rocky shores, lower Pliocene, northern Mediterranean. Palaios, **13**: 476-487.

Kabat, A. R. 1990. Predatory ecology of naticid

gastropods with a review of shell boring predation. Malacologia, 32 : 155-193.
垣見俊弘．1958．5万分の1地質図幅「石狩」および同説明書．47pp.，地質調査所，東京．
Kelly, S. R. A. and Bromley, R. G. 1984. Ichnological nomenclature of clavate borings. Palaeontology, 27, 793-807.
肥後俊一・後藤芳央．1993．日本及び周辺地域産軟体動物総目録，693pp.，エル貝類出版局，八尾．
今島　実．1994．第Ⅲ章　海綿・刺胞動物，その他．奥谷喬司編，水産無脊椎動物Ⅱ　有用・有害種各論，恒星社厚生閣，東京，274-346．
奥谷喬司．1994．第Ⅰ章　軟体動物．奥谷喬司編，水産無脊椎動物Ⅱ　有用・有害種各論，恒星社厚生閣，東京，1-192．
鈴木明彦．2002．打ち上げ貝類から見た石狩浜の貝類相．環境教育研究，5：59-62．
鈴木明彦．2003．北海道石狩湾沿岸における打ち上げ貝類．漂着物学会誌　1：7-12．
鈴木明彦．2005．北海道望来海岸の打ち上げ貝類とその生態学的意義．環境教育研究，8：27-34．
鈴木明彦・疋田吉識．2005．穿孔性生物と硬質基質生痕相：北海道の穿孔性生痕化石の例．化石研究会会誌，38：8-11．
Stearley, R. F. and Ekdale, A. A. 1989. Modern marine bioerosion by macroinvertebrates, Nortern Gulf of California. Palaios, 4 : 353-367.
田島知幸・近藤康生．2003．ニオガイ科二枚貝の機能形態と穿孔基質の関係．化石，no. 73：5-19．
Taylor, P. D. and Wilson, M. A. 2003. Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities. Earth-Science Reviews, 62 : 1-103.
Trenhaile, A. S. 1997. Coastal dynamics and landforms. 366pp., Clarendon Press, Oxford.
Warme, J. 1975. Boring as trace fossils, and the process of marine bioerosion. In: Frey, R. W. (ed.), The Study of Trace Fossils, Springer-Verlag, New York, 181-227.

(Received July 18, 2006; accepted Aug.21, 2006)