

氏名(本籍)	かね 金	こ 子	けん 健	じ 司
学位の種類	博	士	(農	学)
学位記番号	農	博	第	577号
学位授与年月日	平	成	11年	3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
研究科専攻	東北大学大学院農学研究科水産学専攻 (博士課程)			
学位論文題目	仙台湾の砂浜潮間帯におけるマクロベントスの生活史と 砂浜斜面利用に関する研究			
論文審査委員	(主査)	教授	大森	迪夫
		教授	森	勝義
		教授	谷口	旭

# 論文内容要旨

## 第1章 序論

近年、砂浜海岸沿いの浅海域と砂浜潮間帯の生物生産過程が相互につながっていることが明らかにされ、浅海域の生物生産機構を解明する上で砂浜潮間帯の研究を行うことが重要であると指摘されている。しかし、これを明らかにするために必要な碎波帯より陸側に生息する個々の生物の生活の実態は明らかにされていない。砂浜潮間帯では、斜面に沿った温度、乾燥等の強い無機的環境条件勾配が観察されるとともに、その季節あるいは潮汐周期による変動も水中とくらべて大きい。このような砂浜潮間帯に生息する生物は潮汐周期的、季節的に生息場所を変えるのみならず、生活周期や発育段階によっても、異なった生息場所の選択を行っていることがいくつかの種について報告されている。したがって、砂浜潮間帯の生物生産過程を具体的な種間の関係として捉えるためには、各生物による生息場、食物などの生活資源の利用の仕方を季節的、日周的にはもちろん生活周期や発育段階と関連づけて明らかにしていく必要がある。

本研究では以上のような考えに基づき砂浜潮間帯での生息場と食物をめぐる種間の関係を日周期的、潮汐周期的、季節的変動の中で明らかにし、さらに主要なマクロベントスの生活史及びその特色を砂浜斜面の利用の仕方と関連づけて明らかにする。

## 第2章 仙台湾砂浜斜面のマクロベントス相

仙台湾の砂浜斜面から出現した主なマクロベントスはアミ類の *Archaeomysis kokuboi*、*A. japonica*、等脚類の *Excirrolana chiltoni*、端脚類の *Platorchestia platensis*、*Haustorioides japonicus* であった。仙台湾の砂浜の開放度を McLachlan (1982) に従って求めると、北部はスコアが10以下の閉鎖的な砂浜、南部は11以上の開放的な砂浜に類別された (Fig. 1)。 *P. platensis*、*H. japonicus* は仙台湾北部での密度が高いのに対し、*A. japonica* は南部での密度が高かった。 *E. chiltoni*、*A. kokuboi* は調査したほとんどの砂浜で出現し、北部から南部にかけてほぼ同じ密度であった。鉛直的な構造としてみた場合、海藻などの打ち上げ物が多い砂浜の潮上帯で *P. platensis* が高密度で分布し、潮間帯では *A. kokuboi*、*E. chiltoni* の2種が閉鎖的な砂浜から開放的な砂浜まで出現する主要なマクロベントスであり、閉鎖的な砂浜ではこの2種に *H. japonicus* が加わる。さらに、潮下帯に分布の中心を持つ *A. japonica* が一部の砂浜で潮間帯から出現する。

## 第3章 主要マクロベントスの分布の季節的、日周的な変化と食生活

### 【1】主要マクロベントスの分布の季節的な変化

砂浜潮間帯斜面における主要生物の干潮時の分布を周年にわたって観察した結果、春から秋に潮上帯か

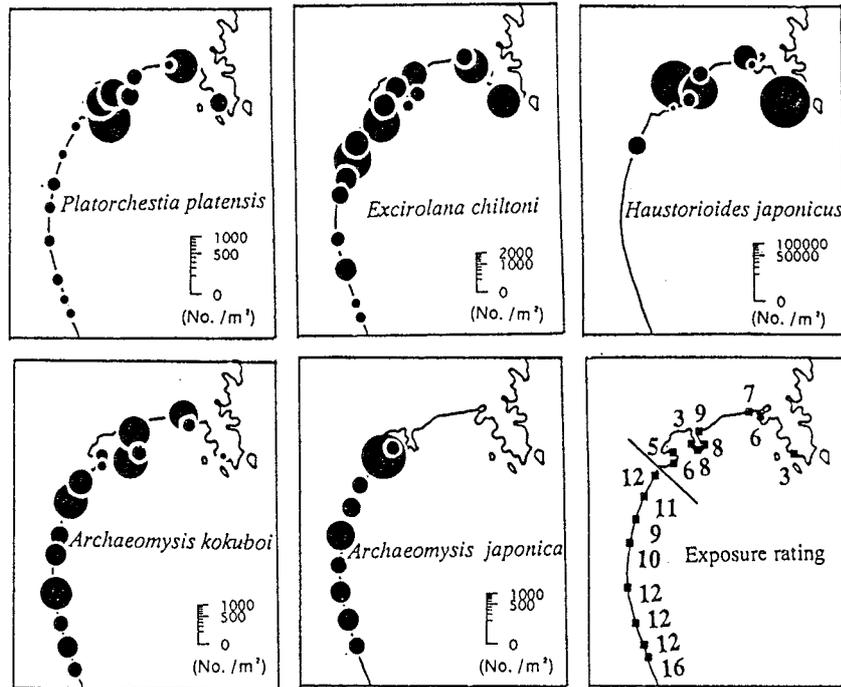


Fig. 1. Density maps of dominant macrobenthic species. Exposure ratings of sandy beaches of Sendai Bay are given in the bottom-right figure.

ら潮下帯にかけて帯状分布構造が観察された (Fig. 2)。しかし、冬には潮間帯上部に分布していた *E. chiltoni* が海側に移動し、潮間帯上部よりもより陸側からマクロベントスは採集されなくなった。潮間帯上部より陸側の砂中温度が冬に低下することによるものと考えられる。また、冬の潮間帯における主要マクロベントスの密度は低下した。これは密度そのものの減少に加えて、冬にそれらの生物が潮間帯から沖側の水域に移動することによるものと考えられる。潮間帯の底質の粒度組成をみると、秋から冬にかけて極細砂の割合の低下と中央粒径値の増大が観察されることから冬に波浪の影響が強まったと考えられ、このことも潮間帯のマクロベントスの沖側への移動と関係していると考えられる。

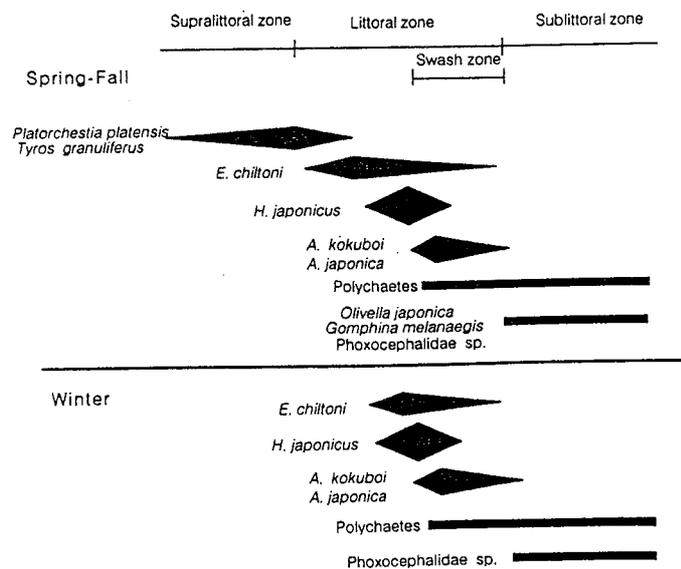


Fig. 2. Schemes of distribution of macrobenthic animals by season in sandy beaches of Sendai Bay.

【2】 主要マクロベントスの分布の日周的な変化と食生活

潮汐周期に対応した移動が観察されたのは波の打ち上げ範囲付近に分布する *H. japonicus*、*A. kokuboi* であり、*A. kokuboi* は夜間に波の打ち上げ範囲から消失し、潮下帯に生息域を拡げるという日周性をも示した (Fig. 3)。 *E. chiltoni* の昼夜、潮汐周期に対応した移動は観察されなかった。 *H. japonicus*、*A. kokuboi* は表層に潜砂していたのに対し、*E. chiltoni* は深くまで潜砂していた。胃内容物を調べると、*E. chiltoni* は満潮時に *A. kokuboi*、*H. japonicus* 等の砂浜斜面の潜砂性マクロベントスを主に摂食しており、メイオベントスなどの間隙生物は消化管から殆ど出現しなかった。 *A. kokuboi* は夜間に遊泳行動を行い主にカイアシ類等のプランクトンを摂食し、*H. japonicus* は打ち上げ波により運ばれてくるデトライトス状の物質やカイアシ類などを摂食していた。したがって砂浜斜面では Fig. 4 のような潮汐周期に対応したマクロベントスの移動による食関係が形成されていることが考えられる。すなわち、海水中的のカイアシ類等の動物プランクトン → *A. kokuboi*、*H. japonicus* → *E. chiltoni* という食関係が成り立っており、砂浜斜面のメイオベントスなど間隙生物とは直接的な食関係は見られないと考えられる。また、これらの食関係は *E. chiltoni* に摂食される *A. kokuboi*、*H. japonicus* の斜面に沿った日周期的、潮汐周期的な移動により形成されると考えられる。

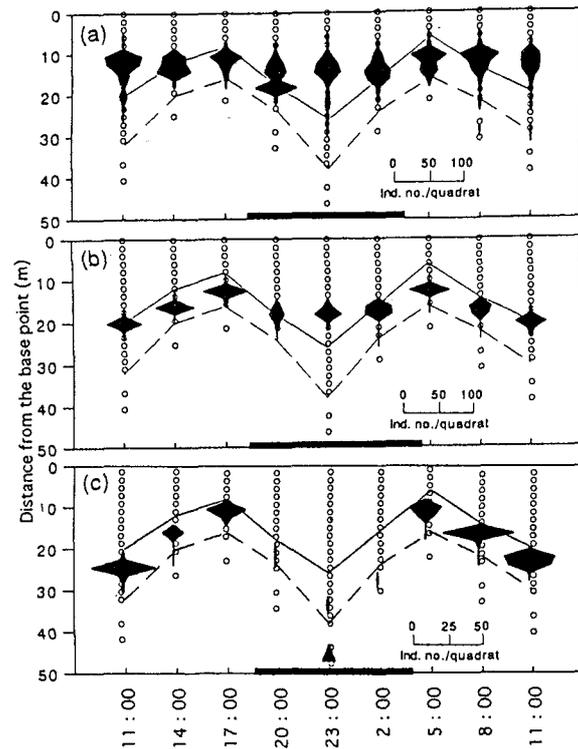


Fig. 3. Diel changes in distribution in *E. chiltoni* (a), *H. japonicus* (b) and *A. kokuboi* (c) in Shobuta Beach, 3-4 October 1997. Open circles denote sampling stations. The horizontal bars denote nighttime. Solid and broken lines denote upper and lower limits of the swash zone, respectively.

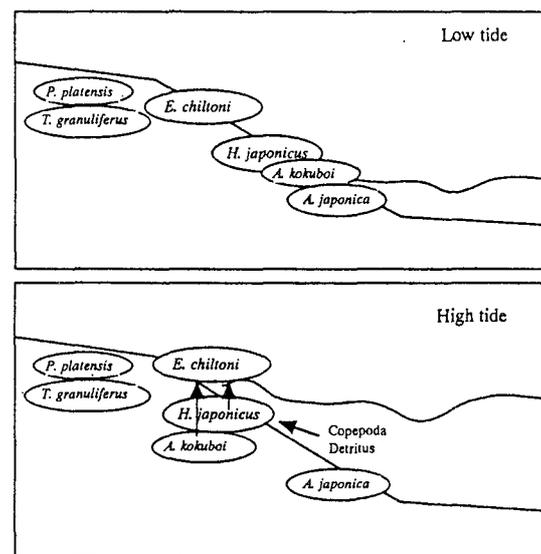


Fig. 4. Tidal migration of major species and feeding relationships among them in Shobuta Beach. Arrows denote predator-prey relations.

#### 第4章 主要マクロベントスの生活史と斜面利用

##### 【1】 *Archaeomysys kokuboi* の生活史

*A. kokuboi* の体サイズ組成の解析では5-9月の高水温期に発生したコホートの追跡はできなかったが、秋に生まれて大型化し春先に産卵する長期世代と、春から夏の水溫上昇期から高水温期に生まれて小さいサイズで産卵する短期世代という世代構造が明らかにされた (Fig. 5)。また、抱卵個体の出現状況から、抱卵期は3-12月の10ヶ月間続くことが明らかになった。飼育実験により成長を追跡すると、高水温ほど初期の成長が速く、漸近サイズが小さくなる傾向がみられ、高水温期には生後3-4週間で産卵に加わる。同一個体が多数回の産卵を行うことが報告されていることから考え、高水温期には同一個体による多数回産卵と短い時間間隔での新産卵個体の補給という形で再生産を行っていることが考えられる。また、

*A. kokuboi* の成熟・抱卵個体は昼間には波の打ち上げ範囲に分布し、潮汐に伴い移動するのに対し、幼体は常に沖側に分布していた。成長するにつれて潮汐周期に伴い移動する傾向が強まるので、満潮時には潮下帯から潮上帯に向かって幼体、未成熟個体、成熟・抱卵個体という形で帯状に分布していることになる。

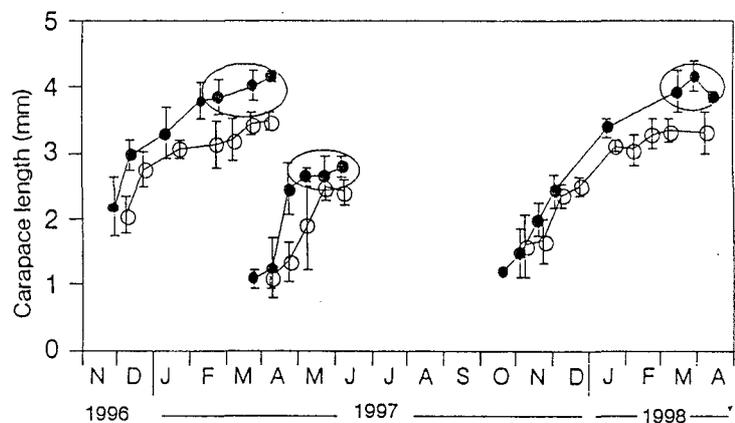


Fig. 5. Growth curves of *A. kokuboi* in Shobuta Beach. ●: female, ○: male. Vertical bars denote one standard deviation. Enclosed portions show ovigerous females.

##### 【2】 *Archaeomysys japonica* の生活史

*A. japonica* は潮間帯で採集される個体のほとんどが成熟・抱卵個体であり、幼体や未成熟個体はほとんど採集されなかったため、本種の成長過程は明らかにすることはできなかった。しかし、*A. kokuboi* と同様に春に大型の個体、高水温期には小型の個体が抱卵していることから、*A. kokuboi* と同様の世代構造、すなわち春から秋に出現する小さいサイズで成熟・産卵を行う短期世代と秋から春に出現する大きいサイズで成熟・産卵を行う長期世代で構成されていると考えられる。また、*A. kokuboi* と同様に発育・成長とともに陸側に生息域を移すが、その生息域は *A. kokuboi* より沖側であった。

##### 【3】 *Excirolana chiltoni* の生活史

*E. chiltoni* の体サイズ組成の解析から、Fig. 6のような成長が推定され、世代構造は1年1世代で寿命は2

年であった。抱卵個体は4月後半から9月下旬に出現し、この時期が繁殖期であると考えられる。繁殖期の前半は2歳群、後半は1歳群が繁殖を行い、繁殖期の長さと同卵期間の長さから判断して、*E. chiltoni*は1歳群、2歳群ともに1繁殖期に1回、生涯に2回の産卵をしていると推定される。*E. chiltoni*は5月上旬から9月下旬の繁殖期には潮間帯の上部から下部に向かって2歳群、1歳群、幼体という形で発育、年齢により生息場所をずらし、抱卵個体は常に斜面の最上部に分布していた。

#### 【4】 *Haustorioides japonicus*の生活史

*H. japonicus*の体サイズ組成は周年単峰か2峰からなり、夏に生まれて冬を越す長期世代、春から夏に生まれる短期世代で構成されていた (Fig. 7)。抱卵個体は4月後半から8月前半に観察され、抱卵個体のサイズ組成からこの繁殖期の前半は長期世代、後半は短期世代が産卵していると推察された。*H.*

*japonicus*は成体と幼体の間に明確な分布の違いはみられなかったが、砂浜斜面で再生産を行っているという点は他の2種と同じであった。

#### 第5章 総合考察

仙台湾の砂浜潮間帯においては*A. kokuboi*、*E. chiltoni*の2種が閉鎖的な砂浜から開放的な砂浜まで出現する最も主要なマクロベントスであ

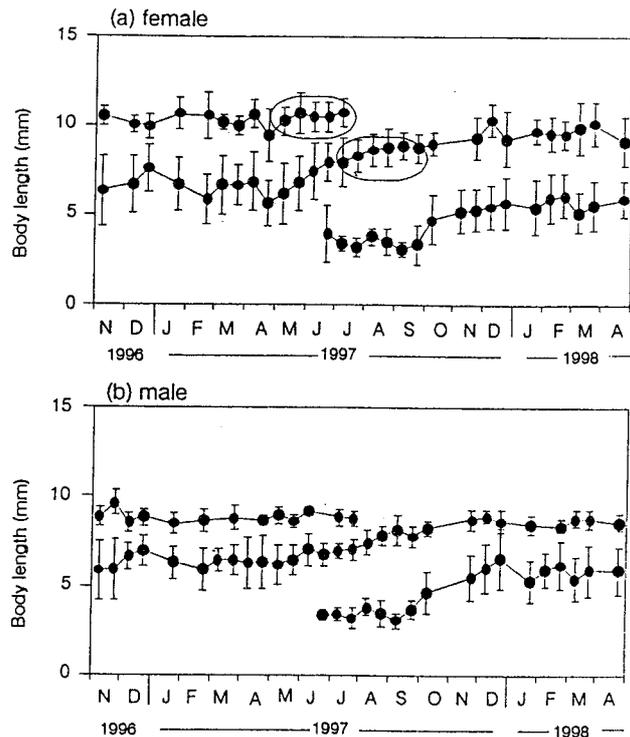


Fig. 6. Growth curves of *E. chiltoni* in Shobuta Beach. (a): female, (b): male. Vertical bars denote one standard deviation. Enclosed portions in (a) show ovigerous females.

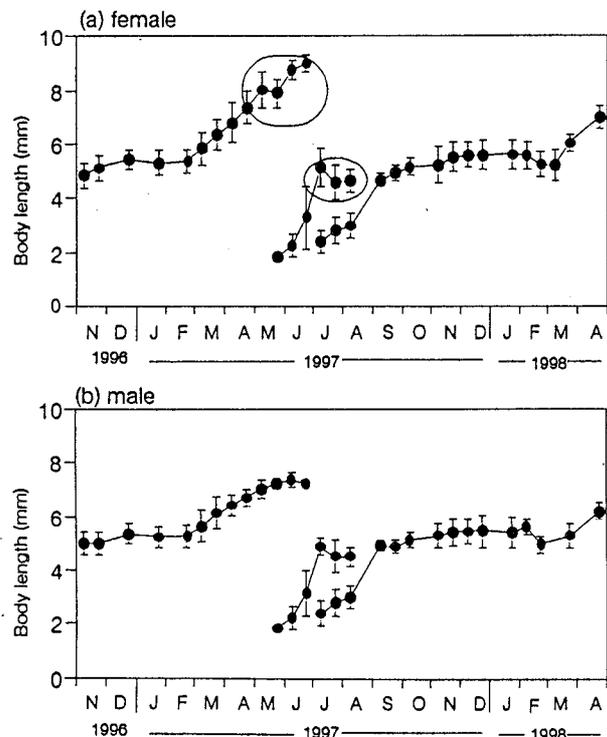


Fig. 7. Growth curves of *H. japonicus* in Shobuta Beach. (a): female, (b): male. Vertical bars denote one standard deviation. Enclosed portions in (a) show ovigerous females.

Table 1. Summary of life histories of major macrobenthic species of sandy beaches in Sendai Bay.

generation	<i>E. chiltoni</i>	<i>H. japonicus</i>		<i>A. kokuboi</i>	
		long-term	short-term	long-term	short-term
Longevity (months)	24	12	4	6	3
Breeding season	May-Sep.	Apr.-Jun.	Jul.-Aug.	Apr.-May	May-Dec.
Age at maturation (months)	12	8	1	5	1
Egg weight (mg)	0.17	0.012	0.012	0.028	0.028
Reproductive allocation (%)	34.4	12.1	13.3	27.5	-
No. of eggs per female	30-60	50-90	3-15	40-120	10-40
No. of brood per life cycle	2	1	-	2-3	2-3

り、閉鎖的な砂浜ではこの2種に加えて*H. japonicus*が出現した。Table 1にこれら3種の生活史をまとめた。*E. chiltoni*は、寿命が2年と長く、体サイズが大きくなる。産卵は1繁殖期に1回、少数の発育の進んだ大きいサイズの子供を産む。このような生活史は、乾燥や大きな温度変化などにさらされる潮間帯の上部で比較的深く潜砂することができ、乾燥・被食などを避けるのに適している。捕食者との関係で見た場合、潜砂能力を増すため大型化し、潜砂能力を身に付けたことは、鳥や陸上動物からの逃避能力を身に付けたことを意味する。逆に潮間帯の下部の波の打ち上げ範囲付近に分布し、*E. chiltoni*、魚類や鳥などからの強い摂食圧を受けると考えられる*A. kokuboi*は小さいサイズで成熟し、同一個体が繁殖期に繰り返し産卵するという多数の子供を産む再生産様式であり、分散に対応した生活の仕方を選択していると考えられる。*H. japonicus*の生息場所は波の打ち上げ範囲の上限付近であり、波浪の影響は大きい。しかし幼体のサイズは最も小さいにもかかわらず、成体と同じような生息場所に分布している。したがって、*H. japonicus*は小さいサイズの幼体でも放出直後から潮間帯に加入することができるような閉鎖的な砂浜での生活に適していると考えられる。

*A. kokuboi*、*A. japonica*、*E. chiltoni*は成長につれて、特に抱卵個体が砂浜斜面の陸側に移動すること、*H. japonicus*も砂浜斜面に抱卵個体が分布することから、これらの潜砂性甲殻類は全て砂浜斜面、特に陸側を再生産の場所として利用していると考えられる。

仙台湾の砂浜斜面のマクロベントスは間隙生物との間の直接的な食う食われる関係はうすく、海水中の動物プランクトンを摂食する*A. kokuboi*と*H. japonicus*を*E. chiltoni*が斜面上部で摂食するという形の連鎖が形成されていた。この食関係は、砂浜斜面上をマクロベントスが潮汐や日周期に伴って移動し、満潮時に分布が重なることによって成り立っていることが明らかになった。

# 論文審査結果要旨

砂浜潮間帯は斜面に沿った温度、乾燥などの強い無機的環境勾配が観察され、それが日周期的、潮汐周期的、季節的に大きく変動する環境下にある。このような砂浜潮間帯に生息する生物は季節的に斜面上の生息場所と変えるのみならず、生活周期や発育段階によっても、異なった生息場所の選択を行っていることが幾つかの種について報告されている。本研究では、砂浜潮間帯のマクロベントスの生物生産過程を具体的な種間関係として捉えるため、生息場、食物などの生活資源をめぐる種間関係を日周期的、潮汐周期的、季節的環境変動の中で明らかにし、さらに主要な種の生活史及びその特色を斜面利用の仕方と関連づけて明らかにしたものである。

著者は、はじめに、仙台湾の砂浜斜面の主なマクロベントスがアミ類の *Archaeomysis kokuboi*, *A. japonica*, 等脚類の *Excirologa chiltoni*, 端脚類の *Platorchestia platensis*, *Haustorioides japonicus* であり、開放度の低い仙台湾北部と高い南部ではマクロベントス相が異なることを明らかにした。さらに、潮上帯から潮下帯にかけてのマクロベントスの帯状分布構造の詳細な記載に基づき、冬季には潮上帯から生物が出現しなくなり、*E. chiltoni* が潮間帯中部に分布域を移し、夏季とは異なった帯状構造を示し、それが斜面上部の砂中温度の低下によるものであることを示唆した。

次に、満潮時の波の最高到達点付近に分布する *E. chiltoni* は潮汐周期に応じた分布域の変動を示さないが、swash zone に生息する *H. japonicus*, *A. kokuboi* は潮汐による swash zone の変動に応じた斜面の昇降を行い、斜面上部に分布する *E. chiltoni* と生息域が重なる満潮時前後に *E. chiltoni* により食われること、*H. japonicus* は波により運ばれるプランクトンや粒状有機物を摂食し、*A. kokuboi* は主に夜間に潮下帯の水中でプランクトンを摂食することを明らかにした。この様に、砂浜斜面では海水中の動物プランクトン ⇒ *A. kokuboi*, *H. japonica* ⇒ *E. chiltoni* という食関係が成り立ち、メイオベントスなどの間隙生物とは直接的食関係は見られず、その様な食関係がそれぞれの種の潮汐周期的、日周期的な移動と摂食行動により形成されていることを示した。

最後に著者はそれぞれの種の生活史の特色と発育段階による帯状分布構造について解析している。*E. chiltoni* は寿命が2年と長く、体サイズが大きくなり、潜砂深度が深い。産卵は1繁殖期に1回で、少数の発育の進んだ大サイズの子供を産む。一方、*A. kokuboi* は秋に産まれて春先に産卵する長期世代と、春から夏の水温上昇期から高水温期に出現し、生後3, 4週間で産卵に加わる短期世代、という世代構造を持ち、体サイズは小さく潜砂深度は浅い。又、高水温期には同一個体による多数回産卵と短い時間間隔での新産卵個体の補給という形で再生産を行う。*E. chiltoni* とは異なり、産み出された幼体は潮下帯の水中に分布する。前者の生活史の特色は魚や鳥などによる捕食者からの逃避と乾燥への耐性を増大させることに対応し、後者の生活史は、1個体が多数の子供を産むという点で魚による高い被食圧に対応し、幼体の分散を容易にするものと考えられることを示した。

以上のように、本研究は砂浜潮間帯に生息するマクロベントスの生息場と食物をめぐる種間関係を環境条件の日周期的、潮汐周期的、季節的変動との関係の中で具体的に明らかにし、さらに、主要な種の生活史の特色をそれぞれの種の生息場の環境特性との関係で明らかにしたもので、砂浜潮間帯における生態学的研究の基盤を築いたものと考えられる。したがって、審査員一同は、本論文の著者に対して、博士（農学）の学位を授与するに値するものと判定した。