

干潟底生生物を対象とした物理応答モデルの構築とその試行

宇野 宏 司*・中 野 晋**

近年, 地球温暖化や人為的インパクトに起因する沿岸域生態系の劣化が懸念されており, 長期的な視野に基づいた管理計画の策定方法の確立が望まれている。本研究では, 干潟の底質生物の生態と底質粒度との関係に着目して, 平水時の潮汐流によって移動する底質移動量の評価方法を提案し, さらにこれを用いて将来予想される物理インパクトによって彼らの生息地適性度がどのように変化するのかを HSI (Habitat Suitability Index: 生息適性指数) モデルを用いて検討した。その結果, 吉野川河口域では, 地球温暖化による 5 cm の海面上昇よりも, 近年顕著になってきた河口部周辺の河床上昇の方が影響を与えることがわかった。

1. はじめに

沿岸域生態系の保全を考えるにあたっては, 現状や目の影響に対する施策ばかりでなく, 長期的な視野に基づいた管理計画の策定が必要とされる。中野ら (2002) によれば, 近年, 徳島近海では約 0.4 cm/y の速度で海面が上昇していることが明らかになっている。また, 吉野川では河口砂州周辺の濁筋を中心に河床が約 3 cm/y で上昇していることも示唆されている (中野・岡部, 2002)。生態系モデルを考える上で, こうした長期にわたる物理インパクトが沿岸生態系へ与える影響を的確に評価することが課題とされている。

一方, 著者らは, これまでに *Uca* 属の生活史を考慮した生息地適性評価手法として HEP (Habitat Evaluation Procedure: 生息地適性評価手法) のうちの HSI (Habitat Suitability Index: 生物環境適合度指数) モデルの構築をすすめてきた (宇野ら, 2003 a)。また, 潮汐流による底質移動特性についても検討を行ない, 移動限界粒径と堆積する粒度分布の関係について考察をおこなってきた (宇野ら, 2003 b)。

本研究では, とくに底質粒径と *Uca* 属の生態に着目した上で, HSI モデルを用いて平均海面の上昇や将来の地形変化等の物理インパクトが生息地の適性に与える影響を調べることを目的とする。

2. *Uca* 属の生息環境特性

本研究で対象とする *Uca* 属は, シオマネキ (*Uca arcuata*) およびハクセンシオマネキ (*Uca lactea*) の 2 種である。両種は, 三重県以南, 沖縄本島にまで分布するが, 生息場所である内湾・河口域の干潟が護岸工事, 埋立等の開発によって消滅が懸念されており, 旧環境庁のレッドデータブックでは, 準絶滅危惧種 (Near Threatened Species) に指定されている。

徳島県吉野川河口 (図-1) には, 両種が生息する干潟

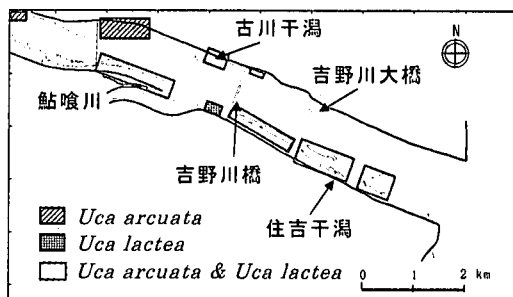


図-1 吉野川河口における *Uca* 属の生息分布状況

や砂州が点在する。この河口は, 有明海沿岸および宮崎県本城川河口について我が国三番目の規模を誇る *Uca* 属のハビタットとなっている。とくに, 河口から約 1.8 km 上流の住吉干潟では, 広大なヨシ原が茂り, まとまった個体群を容易に確認することができる。

著者らは, 1993 年以来, 両種の生息環境特性の把握を目的とした現地調査をおこなってきた。これまでの調査から, 両種の底質選好性には明瞭な違いがあることが確認できている。図-2 は, 住吉干潟の高度情報とシオマネキおよびハクセンシオマネキそれぞれの典型的な粒度分布を示したものである。シオマネキ (point 1) の場合, 粒径数 10 μ m 付近と数 100 μ m 付近に粒子の堆積がみられるのに対し, ハクセンシオマネキ (point 3) の場合は, 粒径数 10 μ m の微細粒子の堆積がみられない。この違いは, 巣穴の位置と植生の有無によって説明できる。一般にシオマネキの巣穴付近の底質は, ヨシ原に覆われて流れの影響を受けにくい。そのため, 平水時の潮汐によって輸送される微細粒子がこれらの植生によって捕捉され堆積しやすい。これに対し, ハクセンシオマネキの巣穴付近の底質は波浪の影響を受けやすい領域にあるため, このような微細粒子の堆積はみられない。

このような底質選好性は, 両種の口器顎脚形状の違いによるものとされ, シオマネキの場合, 粒径数 10 μ m の微細粒子を濾し取るために顎脚はブラシ状であるのに対し, ハクセンシオマネキはスプーン状の顎脚を有し, 粒

* 学生会員 修(工) 徳島大学大学院工学研究科マクロ制御工学専攻

** 正会員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科

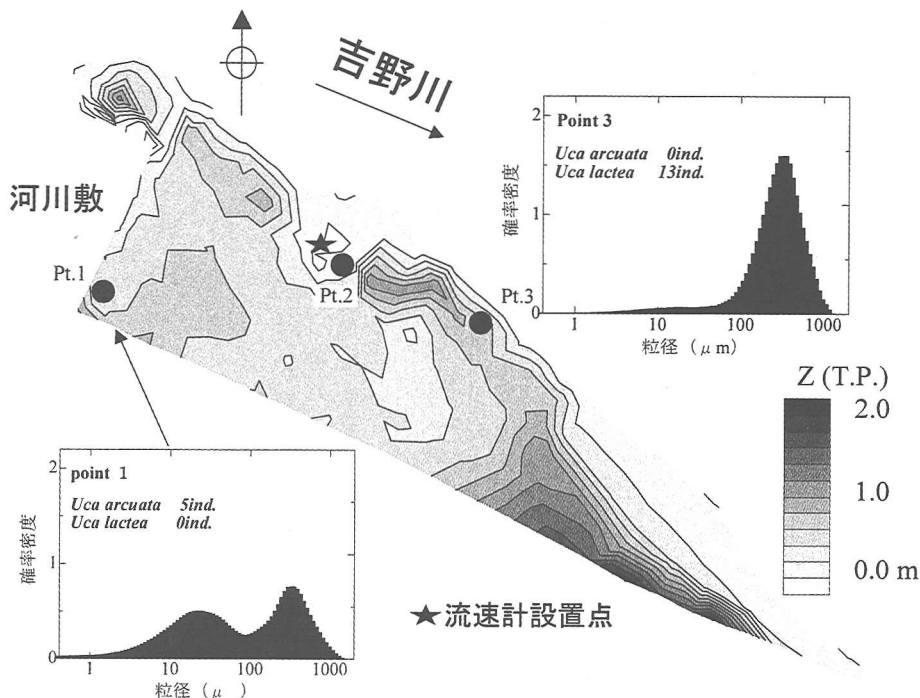


図-2 住吉干潟の高度情報と粒度分布

径数 $100\mu\text{m}$ の粒子を選択して摂餌活動をおこなっている (たとえば小野, 1995)。したがって、本種の保全を考えるにあたっては、こうした底質の粒度分布や移動特性を十分に考慮する必要がある。

3. 乱れを考慮した一冠水期間底質移動量の推算

著者らは、これまでに、平水時の河口干潟および砂州において一冠水期間流砂量の計測をおこなってきた。また、現地の流速データや平面2次元潮流シミュレーションでの計算値を用いて、一冠水期間流砂量の推算を試みている。しかし、これまでの手法では、波浪などの効果を考慮していないため、 $300\mu\text{m}$ 以上の底質の移動は再現できておらず、全体的に底質移動量が過小評価されていた。そこで、本研究では、現地観測で得られた流速データから、局所的な流れの乱れ成分を考慮することで、粒度分布の再現性の向上を試みた。

本研究で対象とする住吉干潟には、数 $10\mu\text{m}$ 以下の微細粒子が堆積している。これらの粒子の移動量計算には粘性性を考慮した解析が必要であるが、現在のところ粘性粒子の粒度変化を解析する手法は開発されていない。そこで、粒径別掃流砂量の算定には、次の芦田・道上式を用いて、その適応性について検討した。

$$q_{Bj} = 17 \tau_{*j}^{3/2} (1 - \tau_{*Cj}/\tau_{*j}) (1 - \sqrt{\tau_{*Cj}/\tau_{*j}}) \times p_j \cdots (1)$$

ここで、 p_j は粒度階級 j 番目の粒度の混合割合である。また岩垣式により、平均粒径に対する限界摩擦速度 u_{*cm} を求めた後、Egiazaroff 式から粒径別無次元移動限界掃流力 τ_{*Cj} を求めた。一方、粒径別無次元掃流力 τ_{*j} は現地観測で得られた流速データから対数則を用いて計算された摩擦速度から評価した。なお、粒径分布は計算、実測ともに $2 \sim 2000\mu\text{m}$ の範囲を 92 の階級に分けて解析をおこなった。

本研究で用いた流速データは、図-2の住吉干潟の point 2 付近で河床より 26cm 上方の地点において、一冠水期間、 1s 間隔で計測されたものである。局所的な乱れの程度を調べるために、1分間の移動平均流速に対する個々の流速データの変動成分 u' を求めた。ここでは、 u' を1分間の移動平均流速 U で除して無次元化したものを無次元流速変動 u'/U と呼ぶことにする。さらに、この無次元流速変動が正規分布で仮定できると考えて、次のような確率密度関数を定義した (図-3)。

$$f(u'/U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u'}{\sigma U}\right)^2\right] \cdots \cdots (2)$$

ここに、 σ は無次元流速変動の標準偏差で、今回は流速データから得られた $\sigma = 0.532$ 値を用いた。

前回の手法 (宇野ら, 2003b) では、総掃流砂量を求め

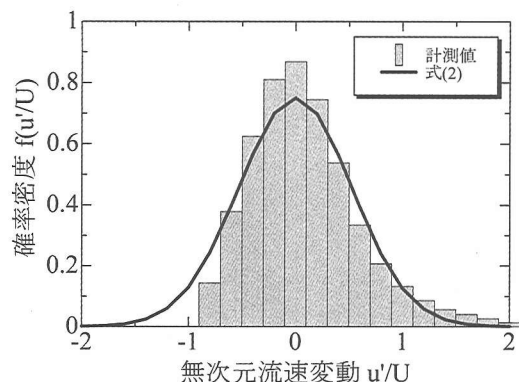


図-3 流速計による流速変動の頻度図

る際に、全階級の q_{Bj} の総和にセジメントトラップの断面積 $A (=13.85 \text{ cm}^2)$ を乗じて算定した。しかし、前回の計算では、移動平均流速を用いて流れの乱れ成分を考慮していないため、観測期間中の最大摩擦速度に対応する移動限界粒径以上の粒子サイズの移動が再現できていなかった (図-4)。そこで、今回は上述した無次元流速変動の標準偏差が正規乱数のそれに等価であると仮定して、1 分間移動平均流速データに対し、60 個の正規乱数を発生させて、これらを毎秒の流速データとした。

図-5 に住吉干潟の point 2 における、底質移動量の実測値と推算値を示す。凡例中の () 内の数値は、一冠水期間中にセジメントトラップに堆積した底質の総乾燥重量をあらわす。前回の方法に比べて、 $300 \mu\text{m}$ 以上の底質の移動を表現することができた。しかし、非粘着性底質を対象とする本解析手法では、 $40 \mu\text{m}$ 以下の微細粒子の移動量の再現が依然として課題である。

次に、観測期間中の最大摩擦速度より岩垣式を用いて算定した移動限界粒径が、底質代表値としてもつ物理的意味合いを考察した。河口干潟や砂州の底質は一般に図-5 に示すように、平水時の潮汐によって輸送される細粒分集団と、局所的な流速の乱れ成分によって輸送される粗粒分集団の堆積によって形成される。両集団のそれぞれの中央粒径を計算したところ、移動限界粒径と堆積した底質の細粒分中央粒径がほぼ一致することがわかった。両者がほぼ一致する理由については、現時点では明らかでない。しかし、岩垣式から求められる移動限界粒径を知ることが細粒分の粒度特性を知る手がかりになると考えている。このことは、*Uca* 属の生息環境を考える上でとくに重要である。前節でも述べたように、*Uca* 属の生息には、口器サイズに見合う粒子の堆積が必要であり、細粒分の中央粒径は摂餌環境を表す指標となりえるからである。すなわち、流量や潮汐、あるいは地形条件を変えて潮流シミュレーションを行い冠水時最大摩擦

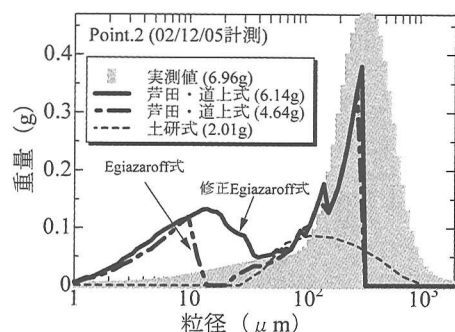


図-4 従来の一冠水期間流砂量計算

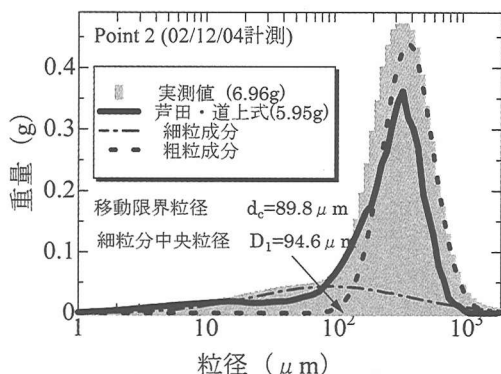
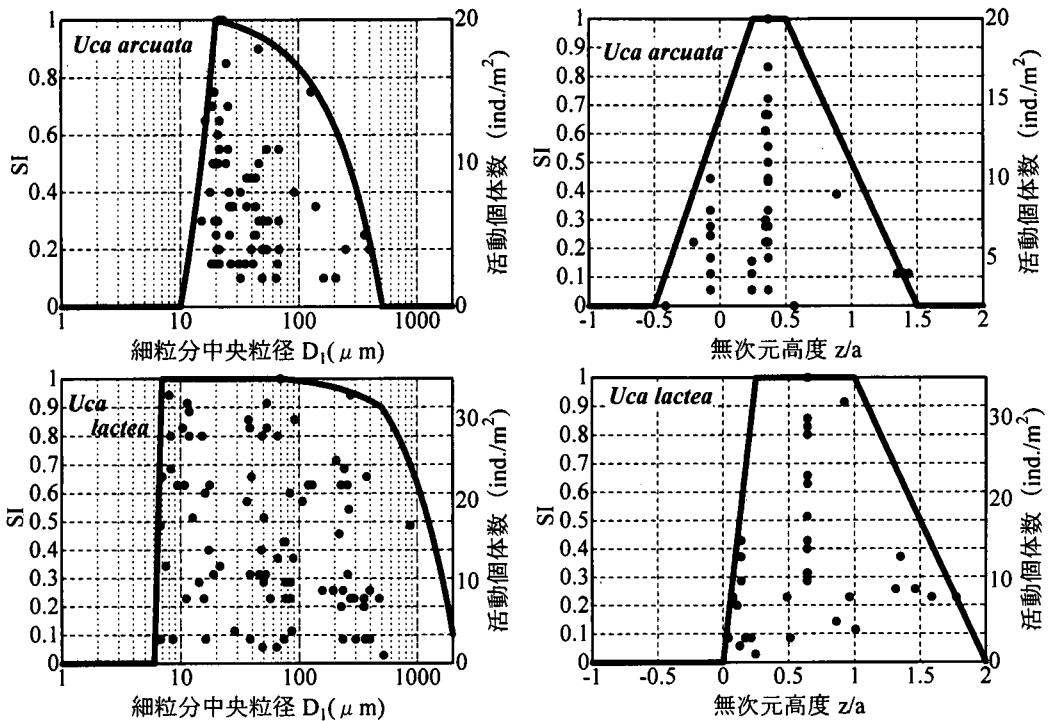


図-5 乱れを考慮した一冠水期間流砂量計算

速度を知ること、間接的に細粒分中央粒径の河道内分布が把握でき、これより *Uca* 属の生息地適性評価が可能になると考えた。

4. HSI モデルによる *Uca* 属の生息地適性の将来予測

著者らは、*Uca* 属の生息地とその機能を評価するために HEP (Habitat Evaluation Procedure: 生物生息環境評価手順) のなかの HSI (Habitat Suitability Index: 生物生息環境適合度指数) による生息地適性評価を実施してきた。従来の研究では、現状の干潟に対する評価にとどまり、将来の影響予測に適用することはできなかった。しかし、前節に述べたように現地観測の結果から、河口干潟や砂州の移動限界粒径は、現地底質の細粒分集団の中央粒径と一致することがわかっており、これにより将来予測地形での細粒分粒径の空間的な把握の可能性が示唆された。また、これまでの *Uca* 属の生態調査から、細粒分集団の中央粒径はとくに摂餌上の重要なパラメータになることがわかっており、HSI モデルの変数のひとつになっている。したがって、将来予想される外力条件で数値シミュレーションをおこなえば、その条件下での細粒分粒径の空間分布が把握でき、*Uca* 属の生息適性度が

図-6 *Uca* 属の SI 曲線 (高度・細粒分中央粒径)

評価できる。

ところで、著者らの研究によれば、近年、徳島近海では約 0.4 cm/y の速度で海面が上昇していることが明らかになっている。また、吉野川では河口砂州周辺の滞筋を中心に河床が約 3 cm/y で上昇していることも示唆されている。したがって、本研究で考察するのは、①地球温暖化による海面上昇、②地形変化の 2 点であり、これらのインパクトが *Uca* 属の生息地適性にどのような影響を及ぼすのかを検討した。地球温暖化による海面上昇では、現在の地形と将来予測された地形のそれぞれで、5 cm の海面上昇があった場合について、地形変化については現況地形と短期将来予測地形について検討をおこなった。なお、ここで用いた短期将来予測地形は、中野・岡部 (2002) が旧建設省が実施した定期横断データをもとに EOF 解析およびトレンド解析をおこない得たものである (中野・岡部, 2002)。これによると、2005 年には現況地形と比較して河口砂州周辺のみお筋を中心に河床上昇がある可能性が指摘されている。

HSI スコアの算出は次の手順によった。まず、それぞれの地形データに対し、平面 2 次元 FEM 潮流シミュレーション (助走計算: 半潮汐, 本計算: 1 潮汐) をおこなう。本計算時には、各節点において、冠水時に Manning 式よりエネルギー勾配を評価して、摩擦速度を計算した。さらに、各節点における摩擦速度の最大値を冠水

時最大摩擦速度とし、岩垣式を用いて移動限界粒径を求めて、細粒分の中央粒径とした。これを著者らがこれまでの現地観測データ (図-6 の黒丸) を用いて構築した細粒分中央粒径 SI 曲線 (図-6 の実線) に代入し、細粒分中央粒径の SI スコアを算出した。一方、高度についても、それぞれの地形データに対し、高度 SI 曲線を用いて、SI スコアを算出した。ここで、図-6 の高度 SI 曲線において、横軸の z は地盤高さ (T.P.m), a は大潮差の振幅 (吉野川の場合、0.62 m) である。したがって、 $z/a = -1.0, 0.0, 1.0$ はそれぞれ地盤高さが低潮線、平均海面、高潮線にあることを表している。今回、細粒分中央粒径と高度以外の物理条件は現時点では予測が困難であるため、現状と変わらないとした。したがって、生息適性度指数 HSI は次式で求められる。

$$HSI = SI_{\text{細粒分中央粒径}} \times SI_{\text{高度}} \quad \cdots \cdots (3)$$

このようにして算出される HSI は、節点ごとの情報であるため、このままでは生息可能面積を算出することができない。そこで、それぞれの三角形要素に対し、各節点の HSI 値を用いて平均値を算出し、これをその要素の代表 HSI 値とした。このようにして、河道内の HSI スコアの空間分布を計算し、シオマネキで $HSI > 0.6$ 、ハクセンシオマネキで $HSI > 0.4$ の領域を生息可能として、生息可能面積を算出した。

図-7 は、最干潮時の干出地形とシオマネキの生息可

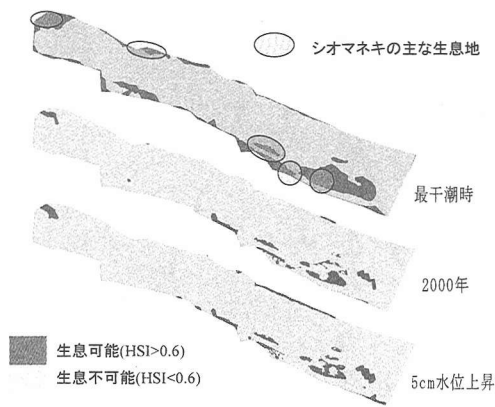
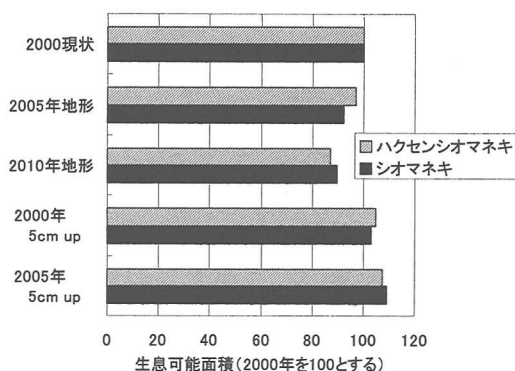


図-7 最干潮時の干出領域とシオマネキの生息可能地

図-8 *Uca* 属の生息可能地

能地の分布図（現状と現地形で水位が5 cm 上昇した場合の2 ケース）である。図から明らかなように、シオマネキにとっては、とくに河口部周辺に生息可能に適した領域が多いことがわかる。また、現時点と5 cm の海面上昇があった場合とを比較すると、生息可能領域が幾分移動していることがわかる。図-8 は、シオマネキ、ハクセンシオマネキの現時点の生息可能面積を100 とした場合に、地形変化や海面上昇といったインパクトが生息可能面積の増減に与える影響を調べたものである。両種とも5 cm の海面上昇に対しては数%の生息可能地の増加が確認されたが、短期将来予測に基づく地形変化では、

10 年後にはシオマネキで約10%、ハクセンシオマネキで約15%の生息地消滅の可能性が示唆された。したがって、吉野川河口域の *Uca* 属保全にあたっては、近年顕著になってきた河口部周辺の河床上昇の要因をまずは検討する必要がある。

5. ま と め

本研究では、干潟の希少生物 *Uca* 属の生態と底質粒度との関係に着目して、平時の潮汐流によって移動する底質移動量の評価方法を提案し、さらにこれを用いて将来予想される物理インパクトによって彼らの生息地適性度がどのように変化するかを HSI (Habitat Suitability Index: 生息適性指数) モデルを用いて検討した。その結果、吉野川河口域では物理的インパクトによって、*Uca* 属生息環境に大きな影響が出ることが示された。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 C-2, #13650569 代表: 中野晋) の補助を受けて実施された。また、地形データは国土交通省四国地方整備局徳島工事事務所から、さらに干潟高度データの一部は徳島県都市道路整備局から提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 芦田和男・道上正規 (1972): 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第286号, pp. 59-70.
- 井口利枝子・田島正子・和田恵次 (1997): 吉野川河口域周辺におけるシオマネキとハクセンシオマネキの分布, 徳島県立博物館研究報告, 第7号, pp. 69-79.
- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司 (2003 a): 重み付き評価指標を用いたシオマネキ生息地適性評価, 水工学論文集, 第47巻, pp. 1075-1080.
- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司 (2003 b): 河口干潟および砂州の底質に及ぼす潮汐流の効果, 河川技術論文集, Vol. 9, pp. 281-286.
- 中野 晋・岡部健士 (2002): 吉野川下流域の長期地形変動, 河川技術論文集, 第8巻, pp. 207-212.
- 中野 晋・田所真路・宇野宏司・藤本雅彦 (2002): 日本沿岸の潮位に見られる長周期変動と温暖化の影響, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1351-1355.
- 山口隆男 (1970): ハクセンシオマネキの生態 (I), CALNUS, NO.2 pp. 5-30.
- 小野勇一 (1995): 干潟のカニの自然誌, 平凡社自然叢書 29, 271 p.