

波による二枚貝の輸送モデルと漁場形成機構

中村 義治*・三村 信男**・秋元 義正*

1. ま え が き

ウバガイ *Spisula sachalinensis* は東北、北海道ではホッキガイと呼ばれ浅海砂浜底に生息する寒海性の成長の早い二枚貝である。分布域は日本沿岸では北海道から本州太平洋岸の範囲で南限は茨城県鹿島付近といわれている。本種の福島県沿岸における最近5カ年の年間平均漁獲量は約1000トンで北海道に次ぎ全国2位の漁獲実績をあげる重要水産資源である。しかし、昭和48年頃から漁業者による漁業管理が実施されてきたにもかかわらず資源変動は非常に大きく(図-1)、生産の安定につながっていない。困難性の背景には、産卵後約1ヵ月間における浮遊幼生の不安定な移流分散及び着底後約半年間における急激な初期減耗が存在している。

このうち、本研究では着底後の稚貝生残過程に焦点をあて、①現場調査・実験結果を整理し、ウバガイの漁場形成に関連する稚貝の生態的要因及び海底環境特性の解明、②従来もっぱら現象の紹介だけに終っていた初期資源量分布の動態(高丸, 1981; 林, 1988)に対して、波による稚貝の輸送と減耗という視点を持ち込み、この効果を組み入れたモデル化等について検討した。

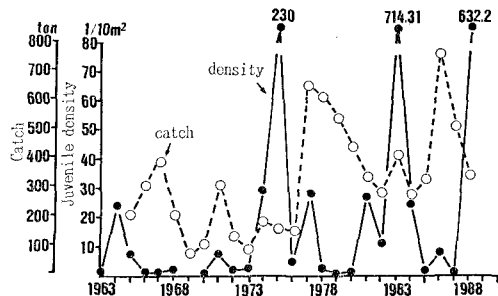


図-1 ウバガイの漁獲量及び稚貝発生密度の年次推移(磯部漁場)

2. ウバガイ 稚貝の資源生態学的特性と漁場環境要因

2.1 稚貝の資源学的特性

* 福島県水産試験場

** 正会員 工博 茨城大学助教授 工学部都市システム工学科

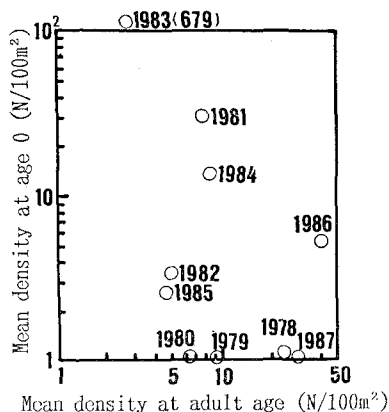


図-2 ウバガイの再生産関係(磯部漁場)(産卵期前の母貝密度と発生稚貝密度の関係)

産卵数は母貝密度に依存していると思われるが、その後の初期生残率の変動性が非常に大きい。ウバガイ、コタマガイ *Gomphina melanaegis*, チャウセンハマグリ *Meretrix lamarckii* 等の外海性の二枚貝は産卵母貝数と稚貝発生数との間における再生産関係(図-2)は不確定であり、卓越年級群が不規則に出現する場合が多い(福田, 1976; 小沼, 1976)。また、発生稚貝の初期生残率は年次別にも、海域別にも、水深別にも変化し複雑であるが、殻長が10mm~20mmを超えると生残率が向上し、稚貝分布の移動も大局的には安定してくる。そして、この時点で2年~3年先に漁獲対象資源へ添加する量がおおよそ予測できるようになり、ウバガイのライフサイクル(図-3)の中で産卵後の半年が資源学的に重要な期間である。

2.2 稚貝の形状と潜砂深度及び沈降速度

福島県沿岸ではウバガイは毎年4月から5月にかけて産卵し、約1ヶ月間の浮遊幼生期間をえて、260 μ m~280 μ mの大きさで稚貝として着底する。以後、底生生活期に入り着底後半年で殻長は10mmから20mmの大きさに成長する。この期間中の殻長の変化は図-4に示したように年度及び地域によっても異なる。なお、殻長変化に伴い湿重量は増加するが、稚長の比重は1.9から1.3へ減少する傾向がみられる。また、稚貝が砂に潜

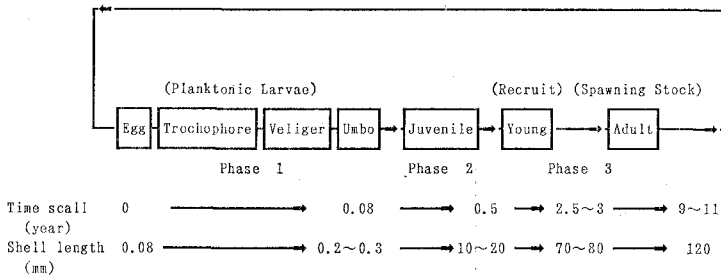


図-3 ウバガイの生活史

っている深さ（水管の長さ）はほぼ殻長程度とみなすことができ（図-5），mm サイズ貝は潜砂していても漂砂によって容易に移動させられると予想される。稚貝の海

水中における沈降速度を測定した結果（図-6）によると，10 mm 以下の貝はほぼ一定値に近いと思われる。

2.3 漁場の地理的条件と漁場生産性

福島県沿岸におけるウバガイの漁場は水深が 5 m~10 m の浅い砂浜域に形成されている（図-7）。但し，同図に示されるどの砂浜海岸でも好漁場が成立しているわけではなく，主に県中以北の比較的緩勾配の海岸が漁場としての利用価値が高い。県内の砂浜海岸における 5 m~10 m 水深帯の海底勾配，面積及びウバガイ漁獲量等を整理し，海底勾配と漁場生産性（単位面積当りの年間平均漁獲量：ton/ha）の関係を 図-8 に示した。同図には比較のため，北海道の漁場例（北海道栽培漁業振興公社，1988）も併せてプロットした。両海域とも緩勾配海岸ほど高い生産性をあげていることが認められる。

2.4 底質環境と稚貝の生残率

採泥調査より得られた地点ごとのウバガイ稚貝数とシルト含有率とは負の相関関係がみられる（図-9）。

また，県内三海域で同時期に実施された調査結果から水深とシルト含有率の関係並びに海域別の稚貝生残曲線を比較検討すると，稚貝の生息に対して，高いシルト含有率が大きな制限要因となることが示唆された。

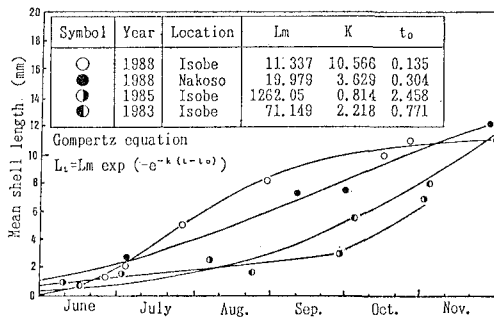


図-4 ウバガイの稚貝の殻長変化（図中の記号 L_m , k , t_0 は稚貝の成長式（Gompertz 式）における各パラメータである）

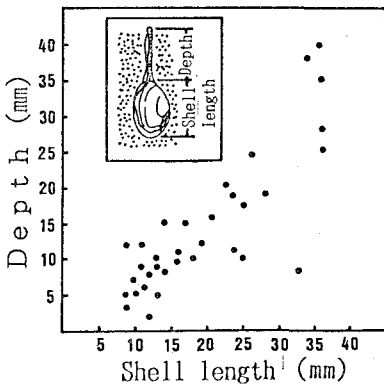


図-5 ウバガイ稚貝の潜砂深度

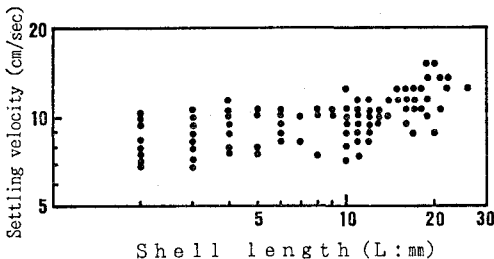


図-6 ウバガイ稚貝の殻長別沈降速度

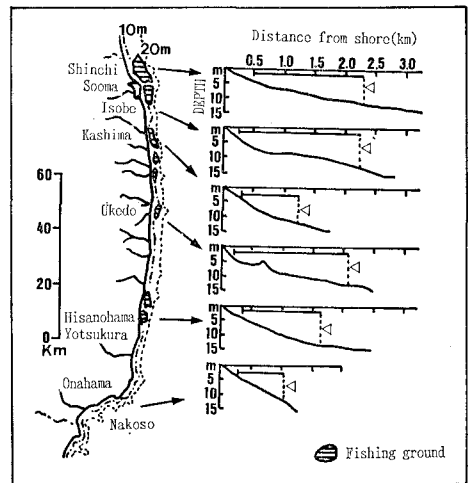


図-7 福島県沿岸のウバガイ漁場と漁場水深限界

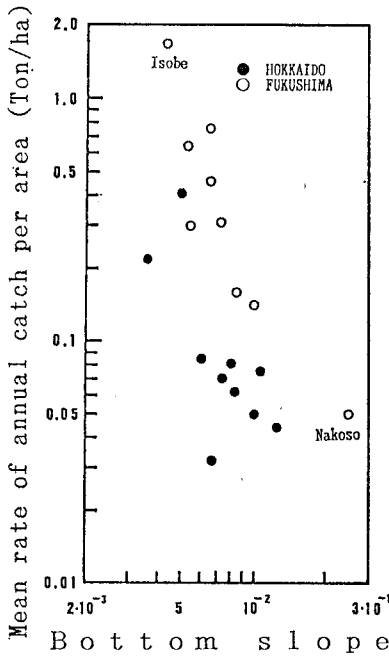


図-8 海底勾配と漁場生産力の関係

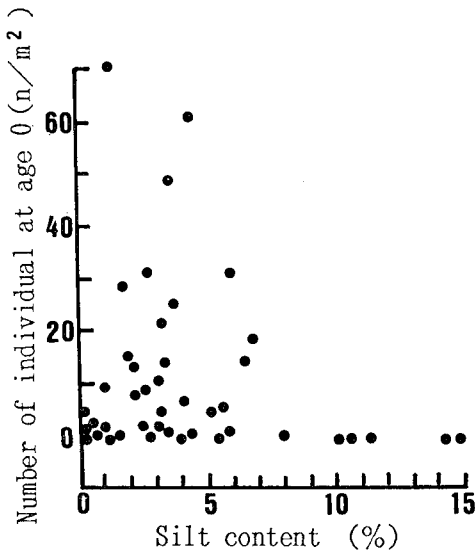


図-9 ウバガイ稚貝の出現数とシルト含有量の関係

2.5 漁場形成についての仮説

以上示した諸特性から推定されるウバガイ稚貝の漁場形成について仮説を要約すると次のようになる。

- シルト含有率の大きい海底では稚貝の減耗が大きい(港内や水深の大きな海域では生息できない)。
- 漂砂量の激しい碎波帯付近では稚貝は定位できない(浅すぎる海域でも生息できない)。
- 従って、稚貝の安定して生息できる水深帯が存在することになり、その帯域幅の広さ、いいかえると

海底勾配の緩やかさが漁場の評価基準になる。

これらの仮説の妥当性を検証するため、波による稚貝の岸沖輸送モデルを作成し、これに基づいて漁場形成の機構について、定性的な解釈を試みた。

3. 稚貝輸送量の算定

3.1 資源動態方程式

成長を考慮した二枚貝資源個体数の時空間的変動については中村ら(1988)のモデルを拡張した式(1)で与える。

$$\frac{\partial N(l, x, t)}{\partial t} + \frac{\partial U(l, t) \cdot N(l, x, t)}{\partial l} + \frac{\partial q_{wn}(l, x, t)}{\partial x} = -M(x) \cdot N(l, x, t) \quad (1)$$

ここで、 $N(l, x, t)$ は貝の殻長 l 、岸からの距離 x 、時間 t に依存した単位面積当りの稚貝個体数、 $U(l, t)$ は貝殻長の成長速度、 q_{wn} は岸沖方向の稚貝輸送量、 $M(x)$ は稚貝の自然死亡係数である。

上式の左辺第2項は成長にともなって変化する殻長組成の変化、同第3項は波の作用による岸沖方向の稚貝フラックスの変化、さらに右辺は貝の死亡による減耗項である。

なお、本計算では稚貝の殻長組成を単一殻長に仮定しているため、式(1)の左辺第2項は省略され、時間の経過にともなう稚貝殻長の成長は図-4に示す Gompertz の式で与えられる。

3.2 稚貝の波による岸沖輸送モデル

a) モデルの前提

ウバガイには既に述べたように潜砂能力があり、砂の動きとは独立して砂層中を上下に移動できる。しかし、ここではウバガイ稚貝も受動的な底質と捉え、漂砂移動モデルを拡張することによって稚貝の波による岸沖輸送をモデル化することを試みた。モデル化の過程で砂と異なる要因として考慮したものは、①粒径、比重、形状などの物理的特性が異なること、②海底が全てウバガイで構成されているのではなく、ごく表面の砂層の中にウバガイ稚貝が分布しているということである。

b) 移動モードと移動方向・移動限界

従来、ウバガイの波による移動を実際に観察した研究はきわめて少ない(渡辺, 1982; 坂本, 1987)。この中で、渡辺(1982)の実験結果を、砂村(1982)と同様にアーセル数 u_r とハーレマイヤーの ϕ とを用いて再整理し、稚貝の波による移動の特性を検討した。この結果(図-10)から稚貝も砂と同様に移動限界、移動方向が判別できることがわかる。

稚貝の沖向き輸送は、実験において底面上に砂漣が形成されている状態の下で生じており、砂漣背後の浮遊砂雲の中にとり込まれることによる稚貝の沖向き輸送と判断される。現地の波浪条件を用いた試算では、おおむね

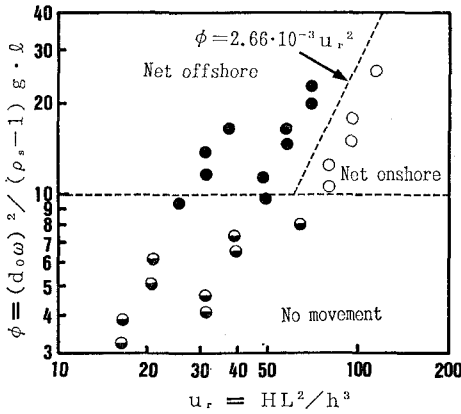


図-10 ウバガイ稚貝の輸送方向 (渡辺, 1982 の実験値より作成)

沖浜帯は砂漣の形成される領域に入っており, このモードによる稚貝の輸送が卓越すると考えられる。

一方, 移動限界条件をみると稚貝の移動限界は砂より小さく $\phi=10$ で, 限界シールズ数に換算すると, 殻長が 10 mm の場合 0.069 になる。モデルの中では, 稚貝の移動方向は 図-10 により判定し, 移動限界シールズ数は 0.069 に固定した。

c) 波による稚貝の輸送量

次に砂漣のある場での稚貝の波による岸沖輸送量 (漂貝量) の定式化を考える。そのために, 渡辺 (1985) の漂砂量式を次のように変形する。

$$q_w = A_w(u_*^3 - u_{*c}^3)u_* \\ = [A_{w1}(u_*^3 - u_{*c}^3)][A_{w2}u_b] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで, q_w は漂砂量 (体積), u_* , u_{*c} は各々波による摩擦速度と限界摩擦速度, u_b は底面における軌道流速の振幅であり, A_w , A_{w1} , A_{w2} は係数である。式 (2) は, パワーモデル型の式を [波の作用で移動状態になる底質の量] と [底質の平均輸送速度] との積で与えられるフラックス型に書き直したものになっている。砂を対象にした式 (2) を稚貝に適用するためには, 上の 2 つの構成要素に修正が必要である。まず, [移動状態になる稚貝の量] には, 稚貝が底面のところどころにしか分布していないことを反映させる必要がある。

これにはある大きさの貝が単位面積の海底面に完全に覆うのに要する個体数 R とその時の稚貝密度 N との比をとり, 式 (2) 右辺第一項に乗じた。一方, [稚貝の平均輸送速度] には稚貝の粒径, 比重, 形状の差, すなわち沈降速度の差が影響を与える。図-11 に模式的に示したように, 砂漣背後の渦に捕捉された砂及び稚貝が着底までの時間内に輸送される距離を各々 L_1 , L_2 とすれば, 砂と稚貝との [平均輸送速度] の比は L_2/L_1 で与えられる。これらの修正を式中に含め, 更に稚貝一個の体積 V で除して個数ベースの漂貝量 q_{wn} を求めると次のよう

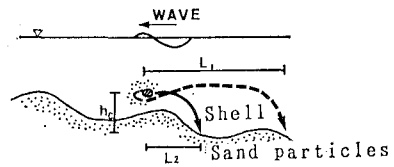


図-11 砂と稚貝の沖向き輸送模式図

になる。

$$q_{wn} = \frac{1}{V} \left[\left(\frac{N}{R} \right) A_{w1}(u_*^3 - u_{*c}^3) \right] \left[\left(\frac{L_2}{L_1} \right) A_{w2}u_b \right] \\ = \frac{1}{V} \left(\frac{N}{R} \right) \left(\frac{L_2}{L_1} \right) q_w \quad \dots\dots\dots (3)$$

現地条件によるシミュレーションにおいては, 前節で示した, 貝の粒径, 比重, 沈降速度を用いた試算に基づいて $A_w = A_{w1} \cdot A_{w2}$ を 0.014 に, L_2/L_1 を 0.3 に固定して用いた。

d) 岸向き輸送と碎波帯の取り扱い

波の条件によっては沖浜帯で岸向き輸送が現われる。この時の漂貝量は岸向き, 沖向きの漂砂量がほぼ同じ形で与えられるとした利穂ら (1981) の結果に従い, 式 (3) で与えられるとした。一方, 碎波帯では急激な移動による減耗 (転動, 破損等) を考え通常より大きな自然死亡係数を与えた。

4. 福島沿岸における計算

4.1 計算の対象と条件

本モデルを福島沿岸の二つの漁場, 優良漁場である磯部海岸 (海底勾配: 1/230) と生産性の低い勿来海岸 (海底勾配: 1/40) とに適用し, ウバガイ稚貝の資源変動をシミュレーションした。計算期間は 1988 年 8 月 1 日より 100 日間である。

① 計算の対象は 5 mm~12 mm の稚貝で稚貝の成長は Gompertz の式 (図-4) に従うとした。

② 自然死亡係数 M は次のように与えた。

$$M(x) = \begin{cases} 10M_0 & (\text{碎波帯内}) \\ M_0 & (\text{シルト含有率} \leq 7\%) \\ M_0 + \alpha(\text{シルト含有率} - 7\%) & (\text{シルト含有率} > 7\%) \end{cases}$$

ここで, $M_0: 5 \cdot 10^{-2} \text{ (day}^{-1}\text{)}$, $\alpha: 3 \cdot 10^{-3} \text{ (day}^{-1}\text{)}$

シルト含有率は両海岸の実測値をあたえた。

③ 入射波の条件は, 相馬港 (磯部海岸), 小名浜港 (勿来海岸) での有義波実測値を時系列データとして与えた。各地点での底面軌道流速は微小振幅波理論, 底面剪断応力は Jonsson の方法によって計算した。

④ 式 (1) の数値計算には逐次過緩和法を用いた。計算領域は離岸 200 m~1 500 m の範囲で格子間隔は $\Delta x = 40 \text{ m}$ とした。初期稚貝分布は 図-13 に示すよう

に、磯部は沖合 1500 m まで、勿来は沖合 1000 m までを一様密度に設定し、岸側の境界では稚貝の補給は考えなかった。

4.2 稚貝分布の時間変化

計算期間中の波高変化及び稚貝の成長と比重の変化について 図-12 に示した。また、稚貝分布の時間変化を 図-13 に示した。9 月中旬に発生した台風による高波の影響で 60 日目の稚貝分布には離岸 420 m のところに局所的な凹がみられるが、80 日目には消えている。そして 100 日目に磯部海岸では岸から 400 m の地点で稚貝の集積による飽和点が現れており、その沖側は緩やかな減少傾向が続いている。一方、勿来海岸でも同じ地点に極大点が見れているが、その沖側の減少傾向は急で離岸 600 m より沖側では殆ど分布していない。両海岸での稚貝分布の拡がりには大きな違いがあり、この差が漁場形

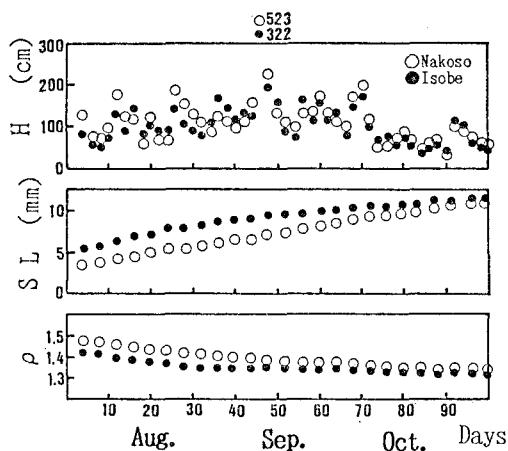


図-12 計算期間中の波高 (H), 稚貝殻長 (SL), 稚貝比重 (ρ) の変化

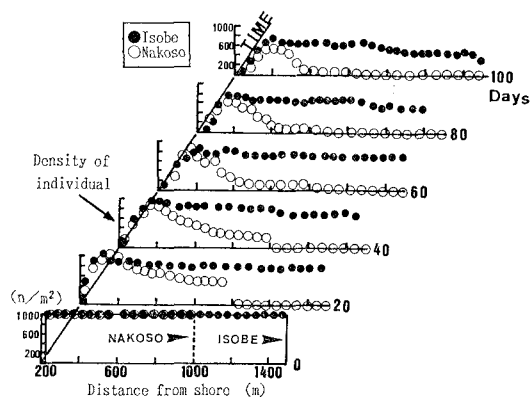


図-13 ウバガイ稚貝分布の時間変化 (計算結果)

成における安定性の優劣を示していると云える。稚貝分布密度の高い水深帯は、5 m ~ 10 m に相当し、実際の漁場水深 (図-7) と一致している。その他に、水深帯別の稚貝密度の時間変化も検討したが、減少傾向が実測値とよく対応していることも確認されている。

5. 結 語

波による稚貝の岸沖輸送量について資源動態方程式を構成し、その数値シミュレーションを実施することにより、ウバガイの漁場形成機構に関する仮説の検証をおこない次の結果を得た。

- ウバガイ稚貝は波による輸送によって水深が 7 m ~ 8 m 付近に集積され、それ以浅は移流効果によって定位することが難しい。
- それに対して 8 m より深い海域における稚貝の減耗過程は海底勾配の大きさとシルト含有量の分布に支配され、緩勾配海岸では稚貝の分布範囲が急勾配海岸に較べて広いことが実証された。
- 港内域等を除き一般自然海岸ではシルト含有量も水深の関数として与えられると仮定すれば、着底稚貝の漁場形成は着底後約半年間の波浪出現状況と 5 m ~ 10 m 水深の海底勾配に依存していることが類推される。

最後に、本研究を行うにあたり碎波帯の生態学について貴重な討議を頂いた水産庁水産工学研究所の日向野純也技官に対し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 小沼洋司 (1976): コタマガイの成長と大発生年, 茨城水試報, (21), pp. 9~16.
- 坂本伸一 (1987): 波による底質砂と二枚貝の輸送に関する実験, 茨城大学工学部卒業論文.
- 砂村継夫 (1982): 浅海域の岸沖漂砂量に関する実験的研究, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 239~243.
- 高丸 好 (1981): ホッキガイの移動について, 北水試月報, 38 (7), pp. 222~233.
- 中村義治・平山信夫・秋元義正 (1989): 動的モデルによるウバガイ資源変動の解析方法, 日本水産学会誌, 5 (3), pp. 417~422.
- 林 忠彦 (1988): 天然漁場におけるホッキガイ稚貝の発生, 分布, 減耗, 水産土木, Vol. 24, 2, pp. 45~52.
- 福田英雄 (1976): 鹿島灘チョウセンハマグリ of 生態について-1, 茨城水試研報, pp. 9~16.
- (社)北海道栽培漁業振興公社 (1988): 特定海域沿岸漁場等開発事業推進調査報告書 (資料編), pp. 387~455.
- 利徳吉彦・渡辺 晃・堀川清司 (1981): 二次元海浜変形と岸沖漂砂, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 217~221.
- 渡辺栄一 (1982): 波浪によるホッキガイの減耗に関する実験的研究, 土木試験月報, No. 351, pp. 3~15.
- 渡辺 晃 (1985): 地形変化の計算, 海岸環境工学, 東京大学出版会, pp. 274~283.