

干潟の物理環境（地温と地盤高の変動）の観測

山本正昭*・川俣茂**

1. 緒言

日本の干潟は今も減少傾向にあるが、最近では野性生物の生育場、水産生物の保育場、環境の浄化の場、或いはレクリエーションの場として、その重要性が目ざされ、その保存運動も高まっており、また、人工的に干潟を造ろうという動きも活発である。しかし、自然の干潟はどのような環境なのか、どのような干潟を造ればよいのかという情報は少ない。生物にとっては物理環境の平均レベルだけでなく、環境の変動速度が生物の適応性に大きく影響する。今回、干潟の代表的底生生物であるアサリとの関係を取り上げ、アサリ漁場となっている熊本県緑川河口干潟の地温、地盤高変動、流動などを約1ヵ月づつ2年間に渡り観測した結果を報告し、併せてその予測を行った。

アサリの生活環境は卵から着底までの浮遊期と砂中生活する底生期に分けられる。アサリは一般に春と秋に水中に産卵し、卵は表層に浮遊し、孵化後幼生は上下に運動し全水深に分布する。沖への逸散、塩分・水温等水質の不適、餌料不足などが減耗の要因となる。2～3週間の浮遊生活の後、0.2mm前後となった幼生は粗砂等に付着し底生生活に移る。また、底生期でも稚貝と成貝では環境に対する耐性も異なる。表-1にアサリの生息数

を規定する量と減耗要因、及びその関係要因を列記する。倉茂(1957)は、「初期稚貝は水温37°C・5時間、40°C・1時間で全滅、成貝は40°C・4時間で半数斃死する。実験では泥のみ、砂のみ、れきのみ、軟岩の穴にも生息しえる。浮泥については0.5%では障害はないが、2%では活力が落ち16日後20%斃死した。」と報告した。底質の移動に伴う土被りに対しては10cmで3～10%、20cmで33～97%斃死する(催,1963)とか、出水時へドロを被ったときは殻長の2倍の堆積で斃死するとの情報もあり、へドロ場で死ぬのは浮泥の巻き上げや埋没による窒息のためであろう。干出についても、温度の上昇や低下が斃死の原因であろうと思われる。その他、餌、食害、塩分、DOも流速や波動流などの物理環境に関係している。

表-1 アサリの主な減耗要因

	減耗要因	関係因子
浮遊期	沖逸散	潮流, 吹送流, 海水交換
	水質(水温/塩分)	河川流, 潮汐, 海水交換
	餌料	
	着底基質(砂/泥分)	砂輸送, 潮流, 波浪流
底生期	水質(水温/塩分/浮泥)	河川流, 潮流, 海水交換
	干出(地温/時間)	地盤高, 潮位変動
	餌料(デトリティクス/珪藻)	潮流, 河川流<供給源
	地盤高変動(貝の埋没/巻き上げ)	漂砂(<波浪), 流下土砂
	底質(粒径/泥分/固さ/硫化物)	漂砂(<波浪), 流下土砂
	棲み場の競合>最大棲息密度	餌料量, DO<流れ
	病気/寄生虫/食害	

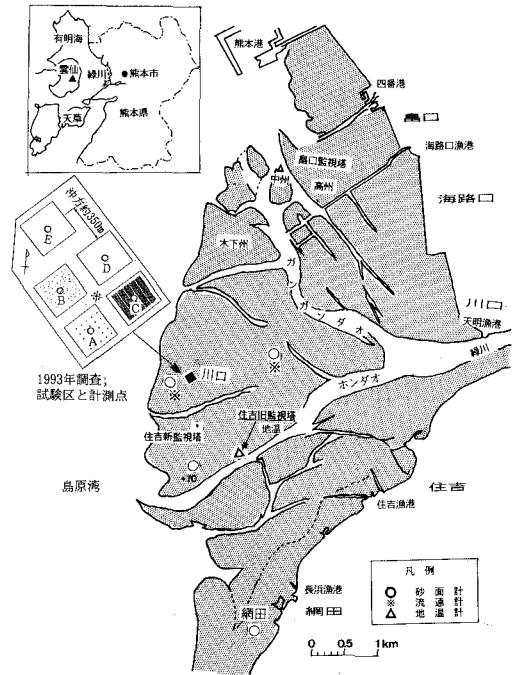


図-1 緑川河口干潟と計測位置

* 正会員 農博 水産庁水産工学研究所水産土木工学部
 ** 正会員 水産庁水産工学研究所水産土木工学部

2. 調査方法

2.1 1992年緑川河口干潟の現地観測

調査項目としては地温・流速・地盤高変動とした。この地温測定と同時に水温測定、気温測定を現場で実施した。干潟温度環境は日射、蒸発、干出時間などの要素により決まるので、日射量、風速、湿度は気象台観測データを借用した。干出時刻は潮位推算値を用いた。観測は、図一の熊本県緑川河口域で夏期8月26日から9月29日までの約1ヶ月間自動観測を行った。なお、8月28日15時半と9月28日3時の干潮が最も大きい。

- ① 地温観測：収録条件を10分間隔とし、温度計を地盤下2.5、5および10cmにセットした。
- ② 地盤高変動：主に2.5cmピッチの棒状の光電式砂面計を用い、干潟上に川口地区2カ所、住吉地区1カ所、網田地区1カ所、計4カ所配置し、1時間間隔(40日間記録可能)で測定した。網田地区はサンドウェーブが発達しており、川口の岸は地盤が柔らかい地区である。
- ③ 波動・潮流：メモリ式超音波式流速計を干潟上に配置し、底面上35cmの値を検出した。

2.2 1993年緑川河口干潟の観測方法

実験漁場として、(イ)流れや波を減衰させる方法、(ロ)底質上層を移動しにくいものにする方法、を考え、川口沖干潟の地盤高DL+0.5mの所に、以下の5区画(5m×5m)の試験地を作り、8月4日から8月30日までの約1週間、観測した。なお、8月3日、18日および9月2日前後が大潮である。

区画A：50cm間隔で格子状に竹杭を打った所

- 区画B：粗砂($\phi_{50}=1.1\text{mm}$)を厚さ16cm敷いた所
- 区画C：底面上(20cm)をノリ網3枚重ねて覆った所
- 区画D：対照区(現状のまま)
- 区画E：A, B, C, Dより沖の比較試験区

- ① 砂面高の変化：光電式砂面計(B・D：1cm, E：2.5cmステップ)による各試験区中央に各1点計5点配置した。
- ② 波動及び平均流速：超音波磁気流速計1台を4試験区の中央に設置して1時間間隔で1秒ごと3分間データを記録し、平均流速と波動流速を抽出した。
- ③ 底質変化：各試験区の底質を直径8cm長さ30cmのプラスチック円筒で採取し、篩分け試験を行った。

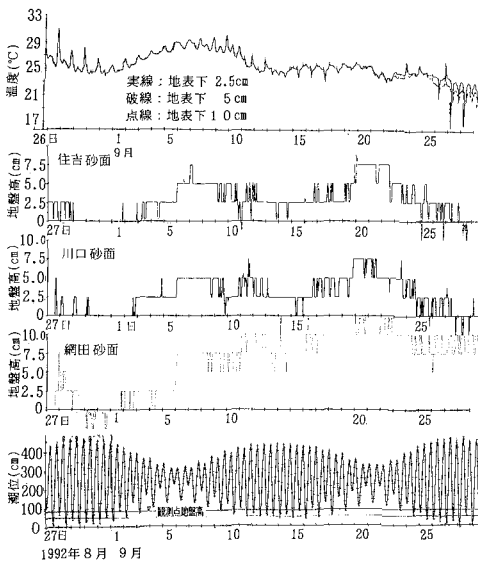
3. 調査結果と考察

3.1 地温調査結果

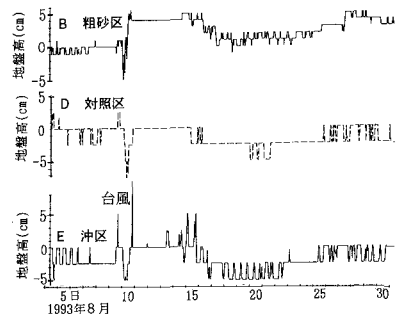
図二の1段目は観測結果の一例である。平均の温度は、大潮時には外海水の影響が大きくなり水温・地温は低下する。突起状の変化が現れているところは干出によるものであり、急激な変化は干出時刻に一致する。最高値は水温より4°C高い31°Cを示し、その時の上昇速度は3.5°C/時にも達した。その後、上げ潮の到達により急速に低下した。また、9月末早朝の干出時には急激な地温低下が計測された。これらの顕著な突起は大潮期と一致するが、その大きさはまちまちで気温など他の気象要素に左右されていることが推察される。

3.2 地盤高観測結果

図二の2~4段目は、1992年緑川河口干潟の3地区(住吉、川口(沖)、網田)での約1ヶ月間の地盤高変化を示している。移動平均すると上2つの地区では8月29~9月1日と9月13日~15日、28日からの大潮期には地盤高は低く、9月6~8日および9月20日~22日の小潮期には高い。網田地区でも変化傾向は同様であるが、変動幅は他地区より大きく10cmに達している。一方、地盤高の短期的変動としては12時間周期で2.5cm程度の波形状の変化が卓越しており潮流によって変動す



図一 地温・地盤高の観測値と潮位 (1992年)



図二 地盤高の観測値 (1993年)

ることが推定される。

図-3に1993年干潟の地盤高変化を、記録できたB, D, Eの3実験区について示した。地盤高が大潮期に低下するとともに2 cm程の半日変動を繰り返すことは前年と同様であるが、大潮小潮の変動幅は前年の半分程度である。これは地盤が前年より締まったためと思われる。また、この年は台風時の地盤変化は、8月10日前後に現れているように、一旦上がって急激に5から7.5 cm沈下した。台風通過後は元の地盤高かそれより2.5 cm上昇している。一か月後のレベル測量結果ではA~Eの各試験区で、+0.7, +1.7, +5.4, -1.4, -1.0 cmの変化となった。のり網をかぶせた試験区Cには泥分の堆積が認められた。また、粗砂区は現地の細砂で覆われていた。

3.3 潮流と波動

1992年に観測した平均流は川口岸区干潟（高さDL+1 m）では下げ潮の露出直前（南流）と上げ潮の水没直後（北流）に50 cm/sのピーク流速を記録した。図-4には1993年に観測した平均流速（上段：平常は潮流）と波動流速（下段：有義値のベクトルと周期（○））を示した。平均流速は上げ潮時には東流、下げ潮時には西流を示し、最大40 cm/sを、振動成分は8月10日の台風による波で65 cm/sを記録している。

3.4 底質の変化

試験開始後80日後の粒径分布を図-5に示す。現地の砂の粒径は対照区で代表される中央粒径0.21 mmの細砂であり、粒径0.125 mm以下の細砂やシルトは除去されている。竹区の砂もこれと変わらない。網区の砂は0.25

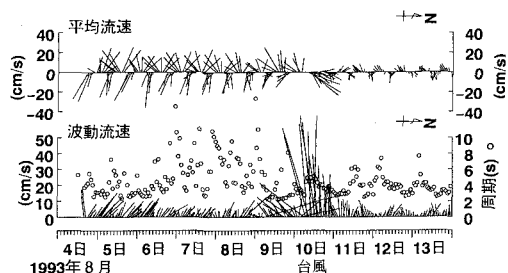


図-4 干潟上の流速観測値（1993年）

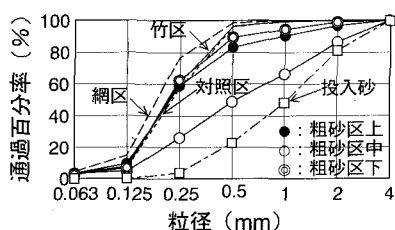


図-5 干潟試験区ごとの粒度分布

mm以下が増えており、明らかに泥の堆積が多かった。□印で示した中央粒径1.1 mmの粗砂を敷いた粗砂区は上から8 cmずつに分けて篩った結果、中層、表層、下層の順に粗かった。現地（対照区）の砂と混合したと仮定すると表層は83%、中層は35%混合した場合と符合するが、混合した砂は対照区のものより細かったようである。なお、同時に移殖したアサリはツメタガイの食害に遭い2カ月後にほとんど全滅した。従って、試験区の流動に対するアサリの効果を確かめることは出来なかった。

3.5 底層の変動と流動環境

地盤高変動の半日平均速度は、平常時は大潮で粗砂区1 cm/hr以下、小潮時は0に近くなっている。台風時には波浪流も加わって粗砂区2.5 cm/hr、対照区2 cm/hr、沖区4.5 cm/hrとなった。図-6に示すように生の変動速度を粗砂区と対照区で比べると、計測器の分解精度が異なる（粗砂区1 cm、対照区2.5 cm）ためか、明確な差異は現れなかった。また、隣接する両区で変化の方向（堆積と侵食）が逆の場合も多々認められる。

図-7~図-9は12時間2乗平均の平均流速（主に潮流）、波動流速振幅（有義値）、波・流れ合成流速（平均流速の半値と波動流速振幅のベクトル和）と地盤高の12時間平均変動速度（2乗平均；ただし検出棒周りの局部

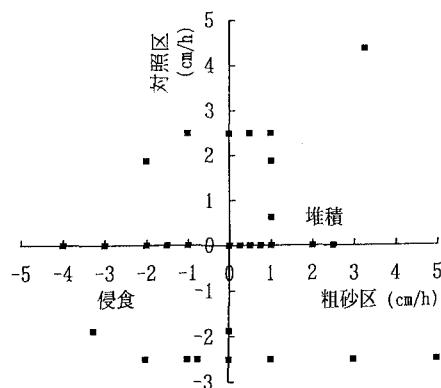


図-6 粗砂区と対照区の地盤高変化の相関

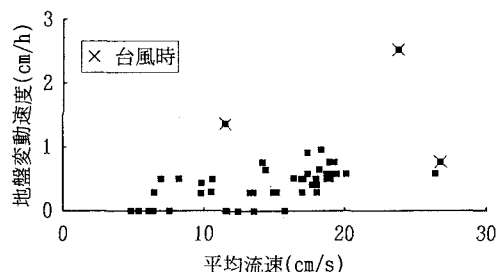


図-7 平均流速と平均地盤変動速度の関係

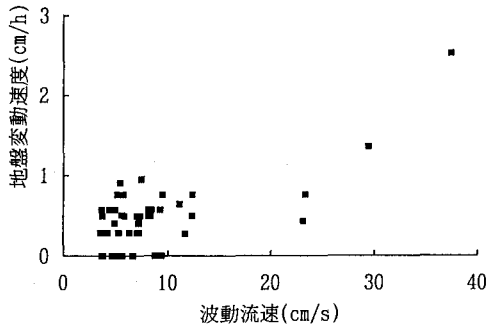


図-8 波動流速と平均地盤変動速度の関係

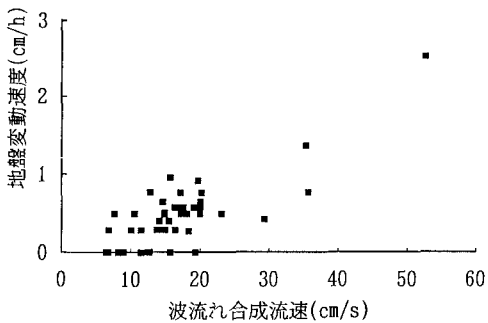


図-9 流れ合成流速と平均地盤変動速度の関係

洗濯も含む) の関係を表している。図-7, 8 は明瞭でないが、図-9 は、流速に比例して地盤の変動が激しくなり、縦方向へ分布が拡がる傾向が読み取れる。

4. 干潟の温度予測

4.1 モデルの概要

干潟の温度変化モデルの構造は、深さ方向に1次元の土層を想定し、その表面に海水があり、それが日射や風で加熱あるいは冷却されて、地中に伝達されるものとした。モデルの構成及び概略の流れ図は図-10 に示すように、土層条件、初期値および境界値として時間毎の雲量、気温、水温、風速、湿度、潮位などを入力し、これより水面に対する放射、逆放射、潜熱など熱量の授受計算ならびに熱伝導差分式を計算し、一定時毎に、土の深さ毎の温度を出力するものである。水理公式集 (1985) に示すように、この水面での熱収支 Q_n は、日射量 Q_s と同反射量 Q_{sr} 、長波放射量 Q_a と同反射量 Q_{ar} 、長波逆放射量 Q_{br} 、蒸発潜熱量 Q_e 、熱伝達顕熱量 Q_c により次式で求められる。

$$Q_n = (Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar}) - (Q_{br} - Q_e + Q_c) \dots (1)$$

この際、日射の反射率 $a_s = 0.05$ 、長波の反射率 $a_a = 0.03$ を用いた。蒸発に伴う潜熱量 Q_e (cal・cm⁻²・min⁻¹) は(2)式となる。

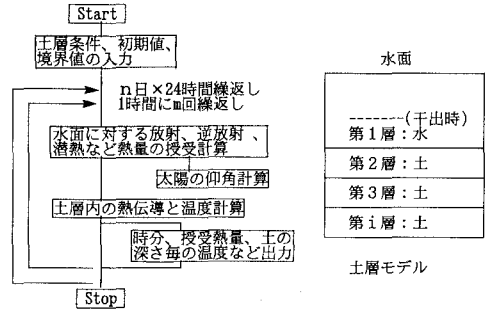


図-10 干潟の温度変化モデルの流れ図

$$Q_e = L \cdot E \dots (2)$$

ここに、 L : 蒸発に伴う潜熱量 (=585 cal/g), E : 蒸発速度で Hefner 湖の実験式を用いた。

表面水温の計算は下げ潮、干出、上げ潮の3通りに区分した。まず、下げ潮の場合は干潟上の水塊は均一で、その量が水深 z_1 から z_2 に減ると仮定し、その間の熱量収支 Q_{sum} は Q_n に水位変化率を乗じて(3)式とした。

$$Q_{sum} = Q_n \cdot 2 \cdot z_2 / (z_1 + z_2) \dots (3)$$

干出時、干潟には小さな起伏があり水溜まりが多いこと、並びに土の含水率が飽和状態から砂の場合20%までは水面での蒸発と同程度と見なせることから、干出時も干潟の表面に1 cm 以上の水深を仮定した。上げ潮では、沖の水温 H_{off} の海水が新しく供給されたと仮定すると、この流入による水温上昇量 ΔH_a は(4)式、 Δt 後の水温 H_2 は、(5)式となる。

$$\Delta H_a = (z_2 - z_1) \cdot (H_{off} - H_1) / z_2 \dots (4)$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_a + Q_{sum} \cdot \Delta t / z_2 \dots (5)$$

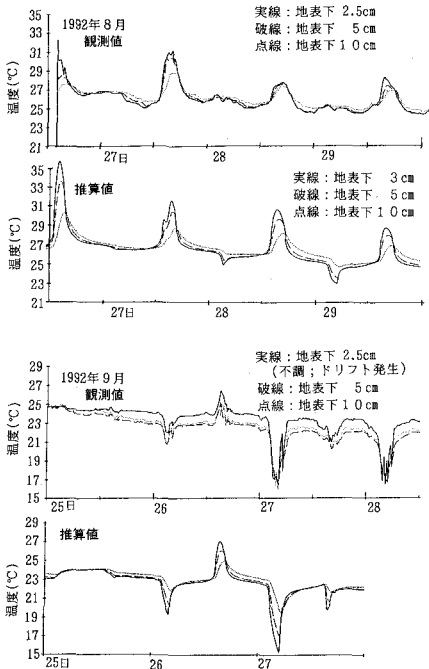
下層への熱伝導は差分化した(6)式を用いた。

$$u_i^{n+1} = \frac{k_i}{c_i \rho_i} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) + u_i^n \dots (6)$$

スリットに切った各土層ごとの土粒子の容積率、含水率から各層の土の密度 ρ 、比熱 C 、熱伝導率 $K/C\rho$ を計算した。その際、土は水と土粒子の混合物と仮定し、比熱は構成比によるそれぞれの加重平均とした。熱伝導率は鉱物組成や間隙率、含水率により大きく異なるが、アサリ生息場の干潟では飽和に近い状態と考え、砂の飽和状態での一般的な値として 5.4×10^{-3} cal/(cm・sec・°C) を用いた。また、砂泥密度 = 2.65 g/cm³、海水密度 = 1.03 g/cm³、砂泥比熱 = 0.19 cal/g/K、海水比熱 = 1.0 cal/g/K とした。

4.2 現地データでの検証

現地の気象データを用いたシミュレーション結果を地温観測値と共に図-11 に示す。この図では干出直後から8月の昼間は急上昇、9月下旬の早朝は急降下を示している。その大きさは変化の格差が大きい時は良く合っ



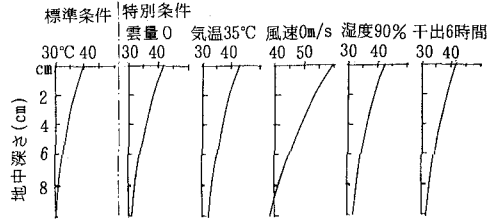
図一11 干潟の温度変化 (観測値と推算値)

いるが、8月29日は3°C程外れている。この時の観測データは3層とも地温に大差がなく、かつその変化が緩やかなことから砂を被ったのではないかと推察され、このモデルは現地の現象をほぼ表わしていると判断した。

4.3 モデルの感度試験

夏の干潟を想定し以下に示す気象要素の標準的条件A及び厳しい条件Bを1要素づつ折り込んで試験した。条件 雲 気温 風速 湿度 干出 水温 時期 深層
 A 25% 30°C 2m/s 65% 4hr 25°C 7月 20°C
 B 0% 35°C 0m/s 90% 6hr 28°C 6月 25°C
 潮位は平均潮位 100 cm, 潮差を 200 cm とする 12.5 時間周期の余弦曲線として毎日 1 時間づつ遅らせた。従って、地盤高 50 cm で 4 時間, 100 cm で 6 時間の干出となる。

この結果、分かったことは、熊本のように大潮の干潮が 15 時の場合、図-12 に示すように、標準の条件で、干潟表面で 40°C, 土中 1 cm で 38°C, しかし、土中 5 cm 深さで 34°C になる。影響が最も大きいのは無風の場合で、地表で 60°C にもなる。他の項目の厳しい条件の場合の地



図一12 気象要素ごとの最高地温鉛直分布の推算値

表温度上昇量は、+3°C/気温 5°C, +2°C/(雲量 - 2), +2°C/湿度 25%, +0.4°C/水温 3°C, 6月で +1.5°C, +0.2°C/干出時間 2 時間増, 程度であった。また、正午ごろ干潮になる地域では更に 2°C ほど上昇することが予想される。

5. 結 言

効果的な干潟を造成するには、環境の改変が物理環境、生物環境および相互に及ぼす効果を総合的に把握し、予測する必要がある。今回、干潟に棲息するアサリを中心に、流動と地盤変動および底質、地盤高と温度について調査した。潮流が大きい砂質の干潟では、表面の砂は潮汐に応じて小さく変動し、中期的には干潟全面が、大潮で潮流が速くなると削られ、小潮時堆積して、動的安定を保ちながら徐々に堆積しているようである。また、強い潮流は河川よりの出水時に溜まるヘドロを洗い流す効果もある。潮流が大きいと 5 mm 以下の稚貝の移動の可能性は高い。時化時には 4 cm/h の地盤高変動が生じた。また、干潟の温度観測するとともに、それを推定するモデルを作った。その推定結果から、干潟の地表近くは夏高温、冬低温となるため、そこを生息場とする稚貝にとっては非常に厳しい温度条件となることが予想された。

最後に、現地調査は熊本県水産研究センターと共同で実施した。ご協力いただいた平田満, 南部豊揮, 石田宏一, 平田郁夫, 平山泉の各氏ならびに、網田, 住吉, 川口の各漁協に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

倉茂英次郎(1957): アサリの生態研究, 特に環境要素について, 水産学集成, 東京大学出版会, pp. 611-655.
 催 相(1963): アサリの移動について, 水産増殖, 11 (1), pp. 13-24.
 土木学会編 (1985): 水理公式集, pp. 98-99.