

# 内湾におけるアサリ漁場造成効果調査に関する研究

水産工学研究所 水産土木工学部

山本正昭\*・川俣茂\*

共同調査機関：熊本県水産研究センター

調査実施年度：平成2年度～5年度

## 緒 言

アサリの生産量は漁場造成事業が行われているにも拘わらず全国的にみて生産は下降気味である。このため効果的な漁場造成をするには、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する解析手法を開発する必要がある。この研究では、内湾漁場におけるアサリ漁場を取り上げ、作濘、盛土・切土などの改変が種々の環境にどのような影響を及ぼすかをシミュレートし、アサリの漁場造成効果の事前評価方法を構築しようとするものである。

生物にとっては物理環境要因の平均レベルだけでなく、環境要因の変動速度が生物の適応性に大きく影響する。このような観点から、物理環境と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と福島県松川浦干潟の地温、地盤高変動、流動などを約1ヵ月づつ2年間に渡り観測するとともにその予測を行った。

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する。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その減耗要因、及び関係因子を列記する。

倉茂<sup>1)</sup>によれば、塩分耐性については、稚貝は比重1.005では7日で全滅、1.010では10～15日で1部斃死する。成貝はこれよりやや弱い。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%斃死する。DO濃度は1ml/lでは20日以上異常無しとの報告がある。水温については初期稚貝は水温37℃の場合5時間、40℃の場合1時間で全滅、成貝は40℃の場合4時間で半数斃死する。干出についても、それによってもたらされる周りの温度の上昇や低下が斃死の原因であろうと思われる。餌料については珪藻、デトリタス、プランクトンとされているが解明されていない。成貝の濾水量は1個体0.6～1.5l/時とされる。底質の移動に伴う土被りに対しては土被り厚さ10cmで3～10%、20cmで33～97%の個体が斃死したとの実験報告がある<sup>2)</sup>。出水時ヘドロを被ったときは殻長の2倍の堆積で斃死するとの意見もある。底質については、実験では泥のみ、砂のみ、れきのみ、軟岩の穴にも生息し得るが、ヘ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。アサリは餌をめぐるホトトギスなどの濾過食者や同種個体間でも競合するが、この供給量は発生量のみでなく平均流や波動流にも関係する。食害生物としては、稚貝期にはイシガニ、クルマエビ、シオマネキ、稚貝後期からはヒトデ、ツメタガイ、ハトエイ、カモ等が問題とされる。

アサリ増殖場造成事業の工種としては、地盤高の調整、濘の掘削、消波堤が主なものである。この調査では、地盤高が関係する物理的要素として地温を、濘の関係要素としては流速、水質、底質を、消波堤の要素として底質と底面の安定を取り上げた。

## 調 査 方 法

---

\* 開発システム研究室

表-1 アサリの主な減耗要因

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

調査項目	関連要素(関係因子)	計測項目(データ収集方法)	
干潟温度	海水温	地温測定(現場観測: Pt温度計)	
	水温	水温測定(現場観測: Pt温度計)	
	気温	気温測定(現場観測: Pt温度計)	
	日射	日射量(気象データ収集、一部実測)	
	蒸発	風速(気象データ収集)	
		湿度(気象データ収集)	
	干出時間	水温と地温記録から冠水時刻の逆算	
地盤高変動	湧水	水位・湧水量・水温(現場確認)	
	流動環境	砂面高測定(現場観測: 光電式砂面計)	
		潮位	潮位観測(潮位推算)
		流速	平均流速測定(現場観測: 超音波流速計)
波動	流速振幅(4年はデータ収集、5年は現場観測: 同上)		
底質	粒径分布(篩分け試験)		

図-2 現地調査項目・方法一覧

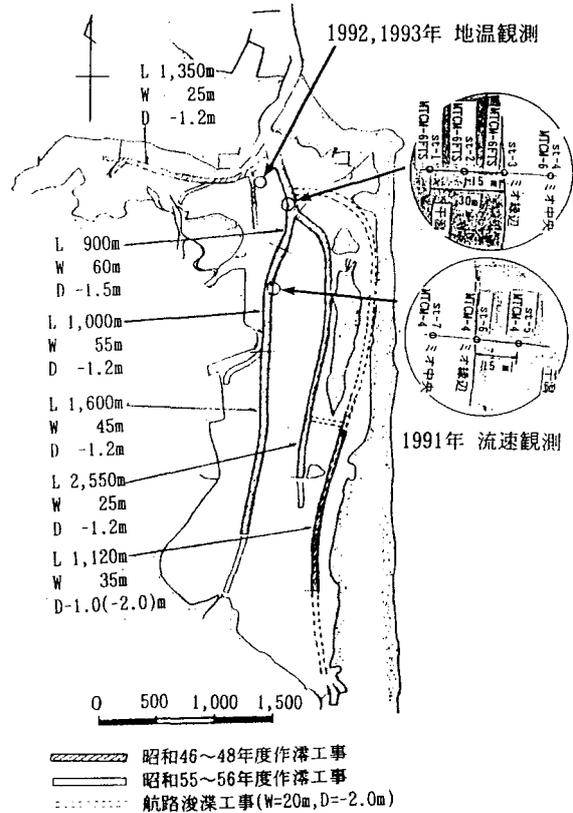


図-1 松川浦の作濬配置・規模と調査地点

### 1) 1990年松川浦調査

アサリ漁場の効果調査対象地区として閉鎖性内湾漁場である福島県松川浦をとり上げた。松川浦は福島県の東北部に位置し、総面積 6.46km<sup>2</sup>、海岸線 20.5km、湾口幅 76mをもち、東北では珍しい干潟を形成する浅い閉鎖性潟湖である。ここは福島県唯一のノリ、アサリ、カキの浅海増養殖場であるが、湾口通水断面面積が 200m<sup>2</sup>と小さいために外海水と内湾水との海水交流・交換は不活発であり、ノリ・アサリなどの生産は陸上の気象に左右されやすく、安定しなかった。そこで海水交流・交換の促進を図り、既存漁場の生産力の向上と未利用漁場の開発を目的として、昭和 46年度(1971)より3ヵ年計画、総工費4億5千万円で浦内の浅瀬の部分の作濬および浚渫事業が行なわれた。その後も作濬が進められた。その作濬の配置、規模は図-1の通りである。

調査は、まず松川浦の物理的・化学的環境要因およびアサリ資源量などのデータの収集・整理を行った。また、平成2年8月31日~9月6日までの7日間、アサリ生息域である濬筋周辺を中心に、流向、流速、水温、塩分を測定し、データの補完を行った。その流況観測は図-1に示す調査区域の ST-1~3の3地点に電磁流速計を設置し、1時間毎に10分間(サンプリング時間0.48秒)の測定を、また ST-4~7の4地点にロータ式流速計及び電磁流速計を設置して5分毎に測定を行った。

### 2) 1991年の調査

水試等が観測した松川浦漁場造成前後からの経年物理環境データを整理するとともに、潮流のシミュレーションモデルを用いて、作濬による漁場内流動環境変化を推定した。また、アサリの生存限界環境を既存文献より整理し、これらよりアサリの減耗要因の推定を行った。

### 3) 1992年松川浦の干潟の温度観測

アサリ資源量の減少は作濬により潮差が増大して干潟の干出時間が増大し、底質の温度の変化が激しくなったためではないかという仮説をたて、干潟の干出と地温の関係を観測した。夏期には、空中、地盤高 DL+1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2mの各々の土中5cmと濬にPtセンサー温度計を設置し、水面上のデータロガーに接続して、地温測定、水温、気温を6月30日から7月29日まで自動記録した。冬季には、2月9日

から3月12日までの約1ヵ月間、地盤高 DL+1mの所で地表下1, 5, 10, 20cmの地温を夏季と同じ要領で測定した。

#### 4) 1992年緑川河口干潟の現地観測

調査項目としては図-2に示すように地温測定・地盤高変動測定と同時に水温測定、気温測定、平均流速測定を緑川河口干潟で実施した。干潟温度の予測モデルを作成し、検定するため、日射量、風速、湿度のデータを熊本気象台より収集するとともに、潮位変化を計算して干出時刻を求めた。観測は、図-3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時の干潮が最も低い。

- ① 地温観測は収録条件を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 地盤高変動は主に、砂面のセンサーが2.5cmステップの棒状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エ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 潮流も超音波式自記流速計を干潟上に配置し、底面上35cmの平均流速を1時間毎に検出した。

#### 5) 1993年緑川河口干潟の観測

底質移動に対する物理的な環境改善対策の実験として、下記の5区画の5m×5mの試験地が地盤高DL+0.5mの所(N32°43'35", E130°33'54")に造成された。

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 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12cm敷いた所 |
| 区画C：底面上(20cm)をノリ網3枚で覆った所     | 区画D：対照区(現状のまま)                                |
| 区画E：A, B, C, Dより300m沖側の比較試験区 |   |

この試験地で8月4日から8月30日までの約1ヵ月間、以下の方法で観測した。なお、8月3日、18日および9月2日前後が大潮である。

- ① 砂面高の変化：光電式砂面計による各試験区中央に各1点計5点自記計測した。
- ② 平面形状：レベル測量を各区画2mメッシュで観測期間の最初と最後に実施した。
- ③ 波動及び平均流速：超音波自記流速計1台を4試験区の中央、底面上35cm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解析した。
- ④ 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チューブでサンプリングし、篩い分け試験を行った。
- ⑤ アサリの生残率と生長：各試験区の大きさ別生残および籠入り生残率を比較した。
- ⑥ 波圧変動と砂利の沈下実験：円筒圧力容器中に細砂を厚さ1m詰め上に小砂利5cmを載せて、水を入れ現場程度の水圧変動を加えて小砂利の沈下状況を観察した。

## 調査結果と考察

### 1) 松川浦調査の環境変化

松川浦のアサリの漁獲量および種苗移植量の経年変化を図-4に示す。アサリの漁獲量は漁場造成事業が完了した昭和49年(1974)より伸び、稚貝の移植量も53年(1978)から急増したことも相まって、昭和54・55年(1979・1980)には600トンを記録しピークに達したが、この頃から稚貝の発生が急減し移入稚貝に依存せざるを得ない状況となってきた。その後生産量は激減し現在150トン前後の低水準となっている。

潮位調査結果によると、作漑とそれに続く湾口部の拡張により潮汐の出入り量が増え湾口の流量は大潮時で約1.13、小潮時で約1.03倍となっている。特に湾奥部の干潮位が下がった。図-5に示すように、アサリの生息限界と見られている4時間以上干出する面積が増えた。潮流については、作漑後の浦内の流速分布のシミュレーション結果から、流れは湾口から漑筋に沿ってまっすぐに奥まで流入していることが認められる。干満潮時における塩素量の距離的变化を図-6に示す。この図より、浦内の塩素量は浦奥に行くほど低下する。また、作漑前後で塩素量の距離的分布に違いのあることがわかる。すなわち作漑前は塩素量の満、干潮による変動幅は小さい。しかし、作漑後の満潮時における塩素量は湾口部にほぼ近い値であるが、干潮時には著しく低下し、その変動幅は大きくなった。このことは作漑後、浦奥部との海水交換作用が顕著になったことを示している。調査によると、作漑前(昭和42年)の1潮汐の平均交換率は0.14、

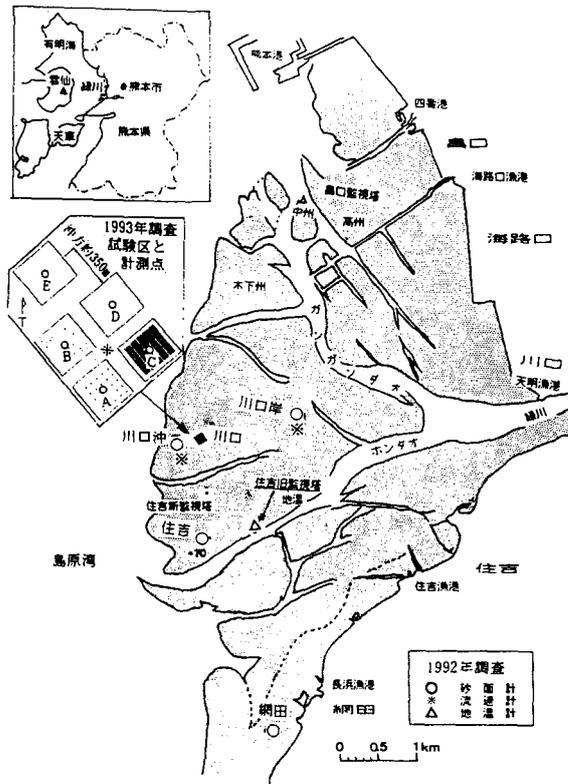


図-3 緑川河口干潟と調査地点

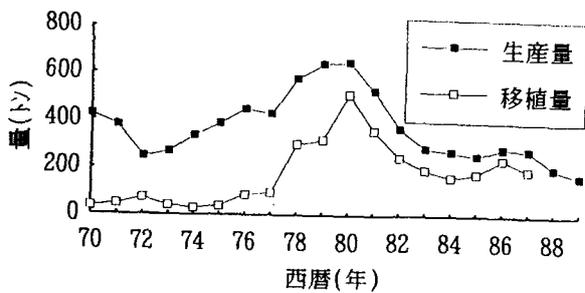


図-4 松川浦のアサリ漁獲量と種苗移植量の推移

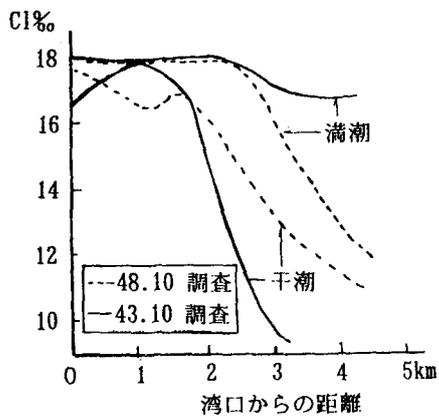


図-6 松川浦における干満潮時塩素量の距離的变化 (柳井ら)

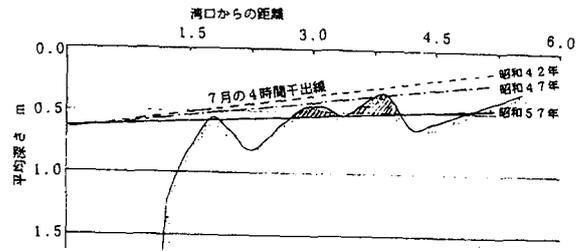


図-5 松川浦地盤高と干出時間の作滞前後の比較

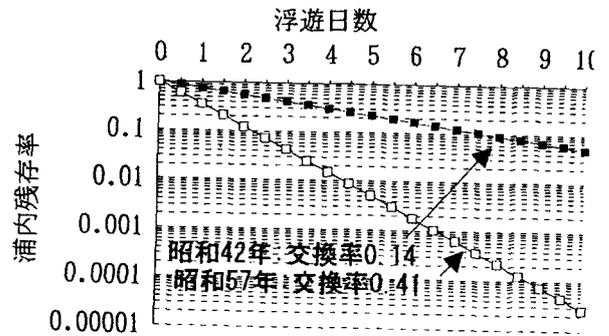


図-7 海水交換率と浮遊卵・幼生の拡散

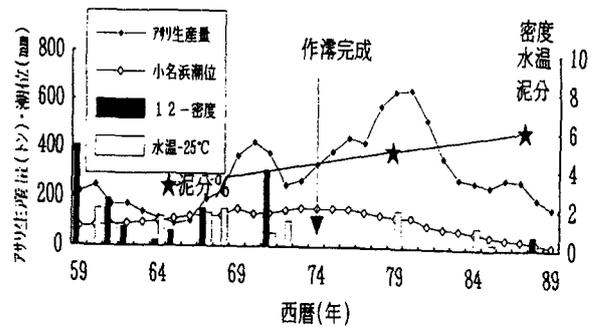


図-8 松川浦の物理環境経年変化

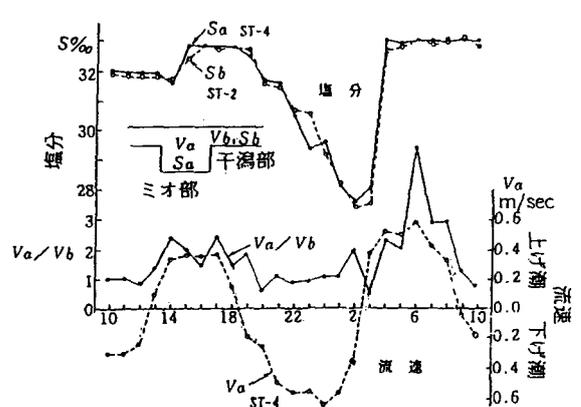


図-9 1973年の松川浦における塩分・流速調査結果 (10月1日,大潮)

作滯後（昭和57年）の交換率は0.41と報告されており、浮遊幼生の浦内残存率は図-7に示すように日とともに急激な低下が予想される。

一方、環境の経年変化については、底質は図-8の星印のように、湾口近傍で泥場化が進んでいることがわかる。また危険な低塩分の発生は激減しており、出水による低塩分がすみやかに復旧できることを示している。

特に泥化と密接に関係すると思われる流況の変化について、1973と1990年に調査した調査結果を図-9、10に示す。流れは潮時、季節、調査点によって大いに異なるのでこれより流れの経年的変化を論ずるのは無理があるが、流速、塩分結果より推察すれば、作滯直後の流速と比べると近年浦内の流速は小さくなってきているのではないかと思われる。

## 2) 地温調査結果

図-11は観測結果の一例で、1段目は8月26日からの緑川の地温である。平均の温度は下降しているが、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、急激な変化の生起時刻は測定地点の干出時刻に一致する。最高値は水温より4°C高い30°Cを示し、その時の昇温速度は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月末の早朝の干出時には急激な地温低下が計測された。

7月に福島県松川浦で1ヶ月間の干潟地温の計測を行った結果（図-12）では、松川浦の夏期の地温は干出直後から急激に上昇し、7月30日の場合13時ごろには水温より7°C上がった。松川浦での地表下5cm位置での最高地温は、地盤高DL+100cmでは27°C、その最大昇温速度は1.4°C/時、DL+40cmでは23.5°C、気温は30°Cに達した。この時、内陸部は晴であったが海岸部は薄い霧がかかり日射は弱かった。

1991年2月からの観測では、3月9日早朝に最低気温-3.8度を記録したが、最干時刻が前夜の10時であったため地表で+1.3°C、地表下5cmで+4.4°Cに留まった。

この年は暖冬で水温も高く、アサリに障害になるような低温は記録されなかった。典型的冷却現象を呈している2月18日から20日の地温変化を図-13に示す。

顕著な上下の突起部が発生するのは大潮期と一致するが、その大きさはまちまちで気温や日照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) 地盤高観測結果

図-11の2, 3, 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。全体を見ると上2つの地区では8月29～9月1日と9月28日からは地盤高は低く、9月6～8日および9月20日～22日は高い。9月13日～15日は相対的に低い。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。この変動周期は15日か30日である。またこれらの変動は、大潮時が地盤高の低い時期に、小潮時は地盤高が高い時期に符合する。一方、地盤高の短期的変動としては、1時間に2.5cm程度の波形状の変化であり、急激な侵食や堆積は生じていない。ここでは12時間周期が卓越しており潮流によって変動することが推定される。

図-14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。大潮期には低下するとともに2cm程の半日変動を繰り返すことは昨年と同様であるが、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ていたためと考えている。また、この年は台風時の様子も捉えることができた。その時の地盤変化は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7.5cm沈下した。台風通過後は元の地盤高かそれより2.5cm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, -1.0cm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を被っていた。

## 4) 潮流と波動

平均流を観測した1992年の川口（岸）区干潟（高さDL+1m）では引き潮の露出直前（南流）と上げ潮の水没直後（北流）に0.5m/sのピーク流速を記録している（図-15）。

図-16には1993年観測流速を平均流速（上段：平常は潮流）と変動流速（下段：波浪成分）に分けて示した。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40cm/sを記録している。振動成分は8月10日の台風による波で65cm/sを記録している。このように今回の観測は厳しい流動環境を取得

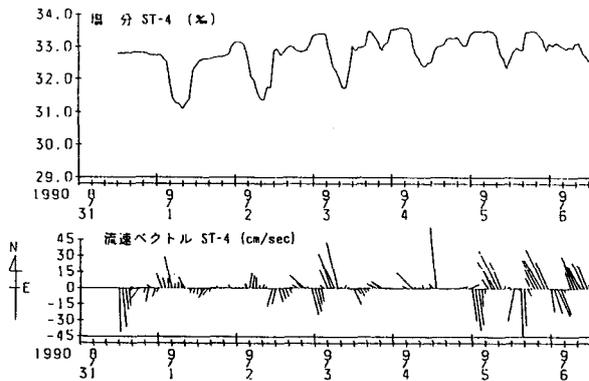


図-10 1990年の松川浦における塩分・流速調査結果 (8月31日～9月6日)

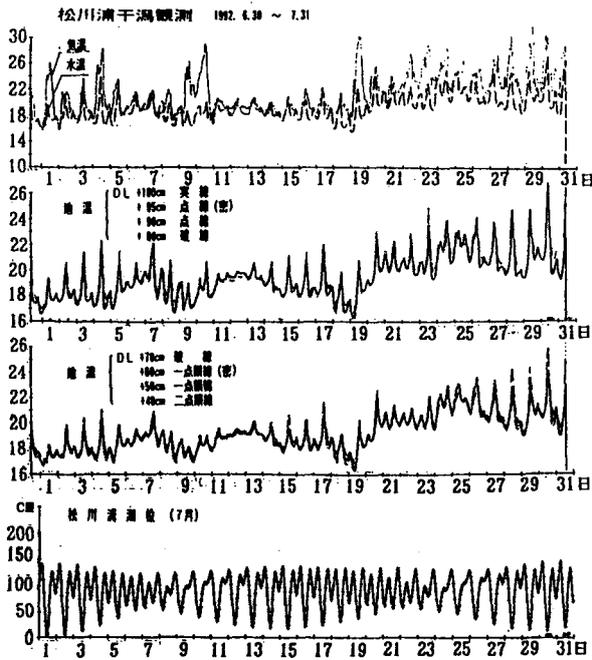


図-12 松川浦干潟の夏季の地盤高別地温観測値 (1992年6月30日～7月30日)

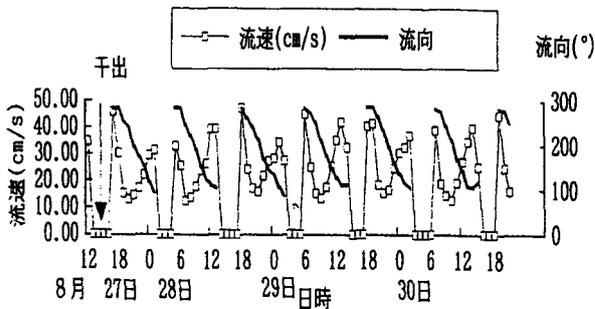


図-15 1992年緑川河口干潟上の平均流速観測値 (川口岸測点)

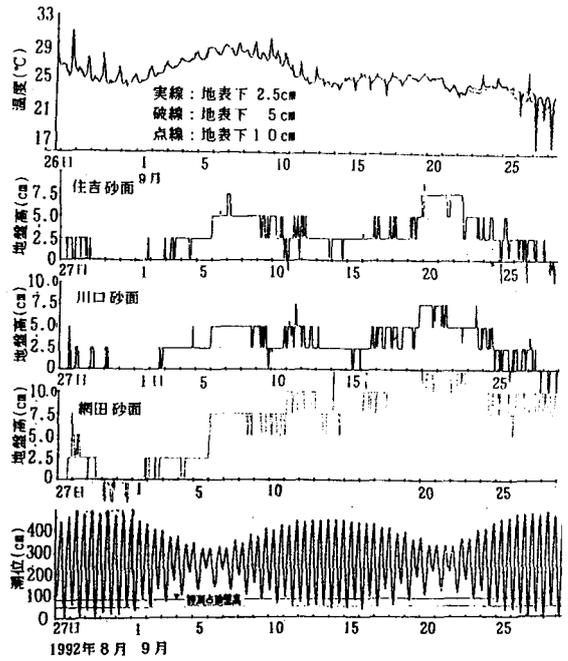


図-11 緑川河口干潟での地温・地盤高の観測値と潮位変化 (1992年)

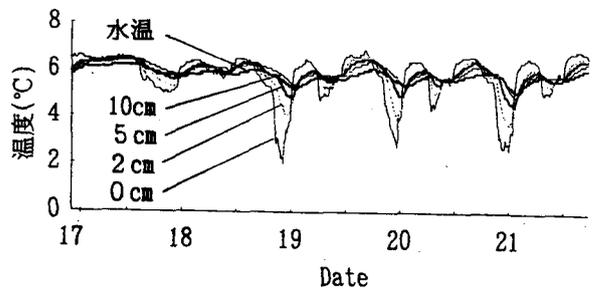


図-13 松川浦干潟の冬季の地中深さ別地温観測値 (1993年2月17日～2月21日)

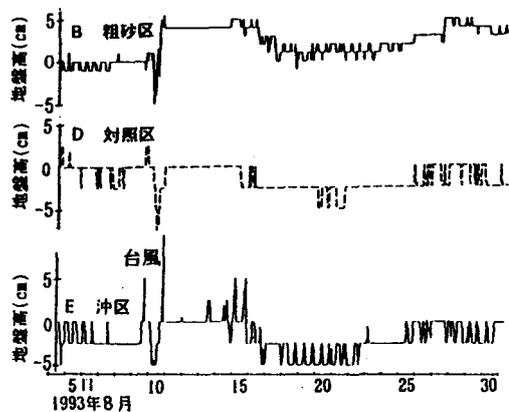


図-14 緑川河口干潟での地盤高変化の観測値 (1993年8月)

できた。

## 5) 底質の変化

流れの抑制や敷き砂を行った試験区の試験開始後80日後の粒径分布を図-17に示す。現地の砂の粒径は対照区で代表され中央粒径0.21mmの細砂である。粒径0.125mm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0.25mm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1.0mmの粗砂を敷いた粗砂区は上から8cmづ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図-18に示すように表層は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。下層にも粗砂が8%混入しており投入砂の83%が区画内に残存していた。室内実験での被覆小砂利の沈下現象確認実験では、圧力変化による吸い出し現象に類似した現象で細砂が吹き上がり小砂利が沈下したが、細砂が砂利の空隙に充填された後は沈下現象はほぼ止まった。

なお、移植したアサリはツメタガイの被害に遭い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認することは出来なかった。

## 6) 底層の変動と流動環境

地盤高変動の平均速度は図-19に示すように、平常時は大潮で粗砂区1cm/h以下、小潮時は0に近づいている。台風時には波浪流も加わって粗砂区2.5cm/h、対照区2cm/h、沖区4.5cm/hとなった。粗砂区でも5cmほど下がった。

図-20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1cm、対照区2.5cm)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-21は12時間平均の平均流速(主に潮流)、波動流速、波・流れ合成流速と地盤高の平均変動速度(2乗平均)の関係を表している。従来の知見からは、流速に比例して地盤の変動が激しくなり、縦方向へ分布が広がるはずであるが、図-21上段からはその傾向が明確に現れているとは認め難い。中段の図の波動流速との関係では波動流が大きい点は少ないが、その傾向が読み取れる。これらの流速を2乗して合成した流速は、砂の動き易さの指標として使われており、これも同様の傾向を示す。しかし、数点では、合成流速が小さいにも拘らず、地盤高が変化しているケースが観測されており、さらに検討する必要がある。

## 7) 干潟の温度予測

### (1) モデルの概要

夏期及び冬季に干潟高位部の稚貝の急激な減少が認められるという報告から地温が関係している可能性が高い。そのため、どのような条件の時の程度の温度になるか推定するため干潟の温度変化シミュレーションモデルを製作した。モデルの構造としては、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-22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。

### (2) 必要な入力データ

定数データの定義として、砂泥密度=2.65g/cm<sup>3</sup>、海水密度=1.03g/cm<sup>3</sup>、砂泥比熱=0.19cal/g/K、海水比熱=1.0cal/g/K、日射の反射率 $\alpha = 0.05$ 、長波の反射率 $\alpha = 0.03$ を用いた。

場所と日時データの入力； 緯度、経度、計算時間間隔 $\Delta t$ 、計算土層厚 $\Delta Z$ 、計算開始月、日、時刻、元日よりの経過日数、計算日数など。

時間変化データ 雲量、気温、風速、湿度、海水温などの気象水象を1時間または3時間間隔で入力する。また、時間毎の日射量が観測されている場合はそれを用いる。

砂層組成データ、初期温度； 図-22の右図のようにスリットに切った各土層ごとの土粒子の容積率、含水率、初期温度を入力する。そのデータから各層の土の密度 $\rho$ 、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

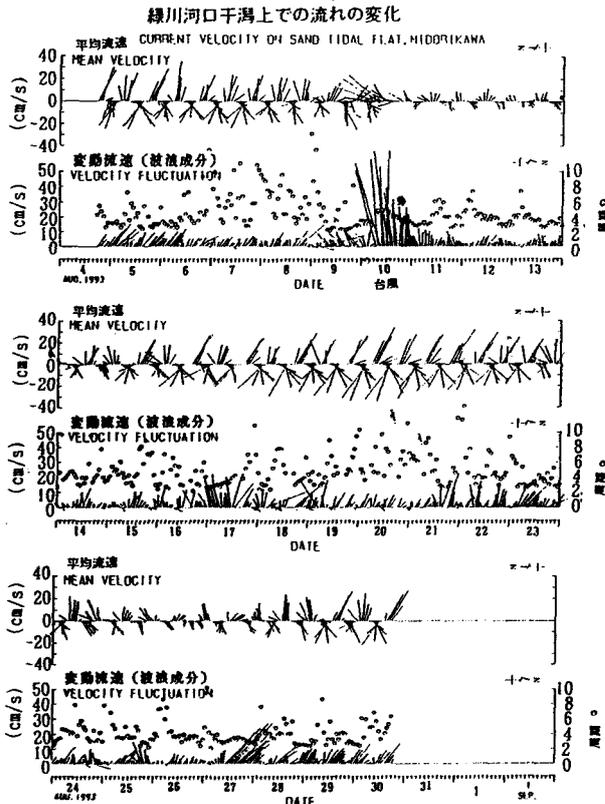


図-16 1993年緑川河口干潟上の流速  
(平均流速・波動流速) 観測値

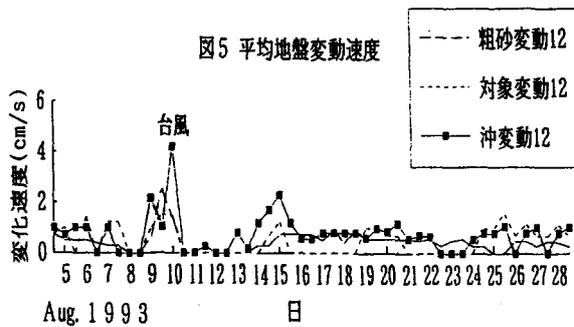


図-19 緑川河口干潟における地盤高変動平均速度

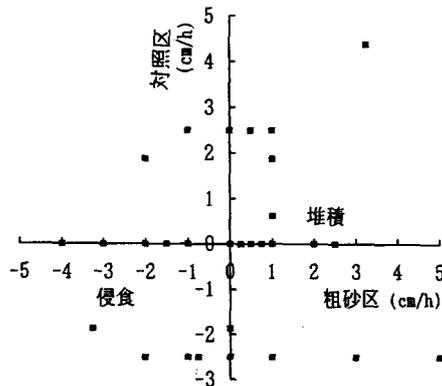


図-20 粗砂区と対照区の地盤高変化の相関

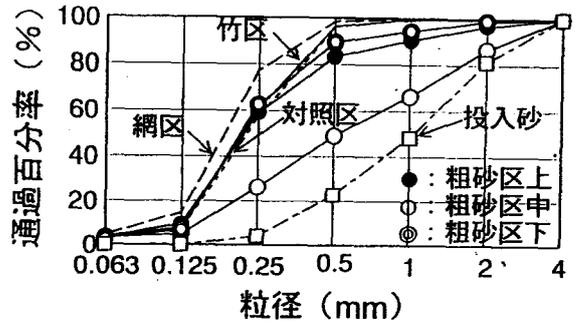


図-17 緑川河口干潟試験区ごとの底質粒径分布

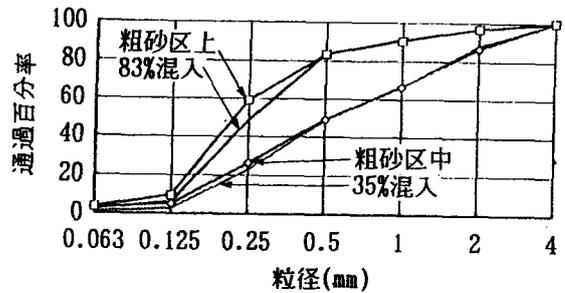


図-18 緑川粗砂区の粒径混合の推定

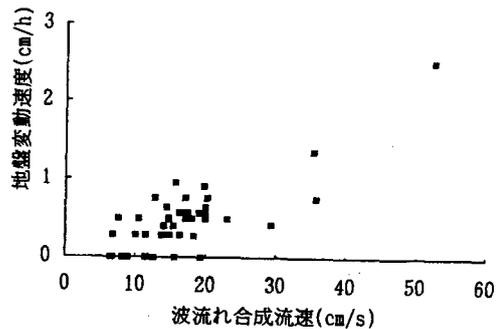
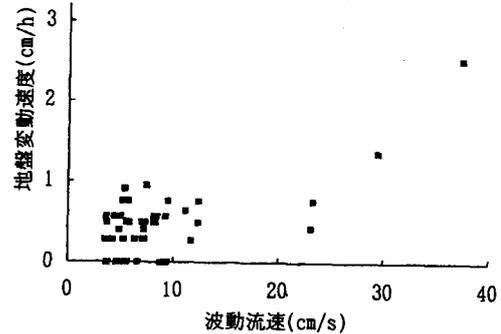
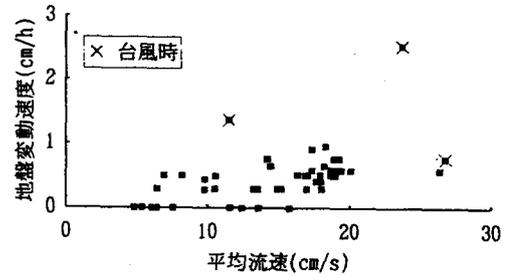


図-21 流動と平均地盤変動速度の関係

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 $5.4 \times 10^{-3} \text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C})$ を用いた。1)

### (3) 水面の熱収支式

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1cm以上の水深を設け，この水面に対する放射，逆放射，潜熱など熱量の授受計算を行う。水面での熱収支量 $Q_n$ は，海面での日射量 $Q_s$ と同反射量 $Q_{s,r}$ ，長波放射量 $Q_a$ と同反射量 $Q_{a,r}$ ，海面の逆放射量 $Q_{b,r}$ ，蒸発潜熱量 $Q_e$ ，熱伝達頭熱量 $Q_c$ により次式で求められる。

$$Q_n = (Q_s - Q_{s,r} + Q_a - Q_{a,r}) - (Q_{b,r} - Q_e + Q_c) \quad \dots(1)$$

海面での日射量は大気中の透過率及び透過距離，その雲量 $n$ に左右され(3)式によって，また，この反射量は，(4)式で得られる。

$$Q_s = I_0 \cdot A^{1/\sin\theta} (1 - a \cdot n^b) \quad \dots(3)$$

$$Q_{s,r} = \alpha_s Q_s \quad \dots(4)$$

ここに  $I_0$ : 大気外日射量 $=1.98 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ ， $A$ : 大気中の吸収散乱による平均透過率 $=0.65$ (6,7,8月平均)， $\theta$ : 太陽仰角， $0 < n < 1$ : 雲量， $a, b$ : 定数，Kimbalの値  $a=0.71, b=1.0$ ， $\alpha_s$ : 短波反射率，水面で0.05，湿った砂面で0.09。大気よりの長波放射 $Q_a$ 及びその水面での反射量 $Q_{a,r}$ は(5)及び(6)式となる。

$$Q_a = \sigma \theta_a^4 (c + d \cdot e_a^5) \quad \dots(5)$$

$$Q_{a,r} = \alpha_a Q_a \quad \dots(6)$$

ここに， $\alpha_a$ : 水面の長波反射率 0.03， $\theta_a$ : 気温 $T_a$ の絶対温度， $e_a$ : 大気圧の水蒸気圧， $c=0.44, d=0.081$ 。水面からの長波逆放射量 $Q_{b,r}$ は(7)式となる。

$$Q_{b,r} = s \sigma \theta_w^4 \quad \dots(7)$$

ここに， $s$ : 黒体と水面との放射比率 0.97， $\sigma$ : ステファンボルクマン定数 ( $=1.335 \times 10^{-12} \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}/\text{k}^4$ )， $\theta_w$ : 水温 $T_w$ ( $^\circ\text{C}$ )の絶対温度。

蒸発に伴う潜熱量 $Q_e$ ( $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ )は(8)式となる。

$$Q_e = L \cdot E \quad \dots(8)$$

ここに， $L$ : 蒸発に伴う潜熱量 ( $=585 \text{ cal}/\text{g}$ )， $E$ : 蒸発速度 $= (A+B \cdot W) \cdot (E_w - E_a)$  ( $\text{mm}/\text{day}$ )， $W$ : 風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )， $A=0, B=0.13$ (Hefner湖実測値)， $E_w, E_a$ : 水及び大気の水蒸気圧

熱伝達頭熱量 $Q_c$ は(9)式となる。

$$Q_c = R Q_e, \quad R = C(T_w - T_a)/(E_w - E_a), \\ C = 0.66(\text{mb}/^\circ\text{C}) \quad \dots(9)$$

表面の水が下げ潮で減少する場合，水深が殆どない場合及び，上げ潮で水深が増大する場合の3通りに区分した。まず，下げ潮の場合は干潟上の水そのものは入れ替わらず，ただその量が水深 $z_1$ から $z_2$ に減るのみで，その間の熱量収支 $Q_{s,um}$ は $Q_n$ に水位変化率を乗じて(10)式とした。

$$Q_{s,um} = Q_n \cdot 2 \cdot z_2 / (z_1 + z_2) \quad \dots(10)$$

潮位が干潟面より下がった場合は潟上に水深が1層分だけ残るものとした。

上げ潮で干潟上の潮位が増す場合，その分の水は干潟外から新しく供給されたと仮定し，沖の水温 $H$ ，増加水位を $\Delta z$ とすると，この流入による水温上昇量 $\Delta H$ は(11)式とした。従って， $\Delta t$ 後の水温 $H$ は，(12)式となる。

$$\Delta H_a = \Delta z \cdot (H_{o,r} - H_1) / z_2 \quad \dots(11)$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_a + Q_{s,um} \cdot \Delta t / z_2 \quad \dots(12)$$

### (4) 熱伝導の偏微分方程式

熱伝導率  $k$ ，物体の比熱を  $c$ ，その密度を  $\rho$  とすれば，熱伝導の式は(13)となる。これを(14)のように差分化して数値計算を行った。

$$c \rho \frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad \dots(13)$$

$$u_i^{n+1} = \frac{k_i}{c_i \rho_i} \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) + u_i^n \dots(14)$$

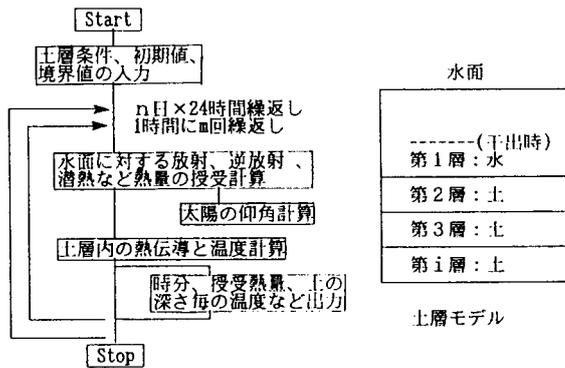


図-22 干潟の温度変化モデルの流れ図

表-2 地温モデルの試験条件

条件	雲	気温	風速	湿度	干出	水温	時期	深部
通常夏季(熊本)	25%	30°C	2m/s	65%	4時間	25°C	7月下	20°C
厳しい条件	0	35	0	90	6	28	6月下	25
通常冬季(福島)	48%	※	3.5	62	6	5.3	2月上	5
			最高 8.4°C, 平均 3.5°C, 最低-1.0°C					

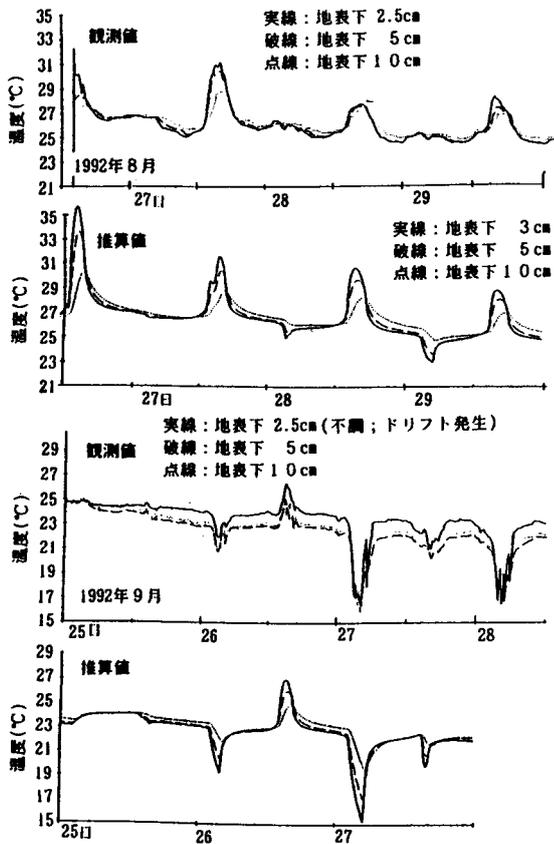


図-23 干潟の温度の観測値と推算モデルの比較

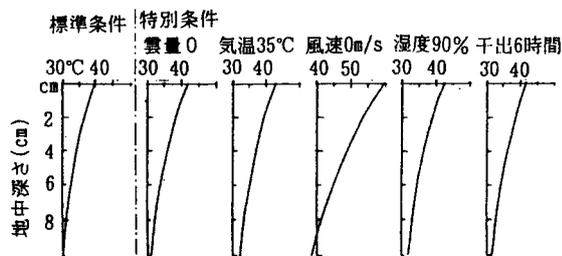


図-24 気象要素ごとの干潟の最高地温鉛直分布

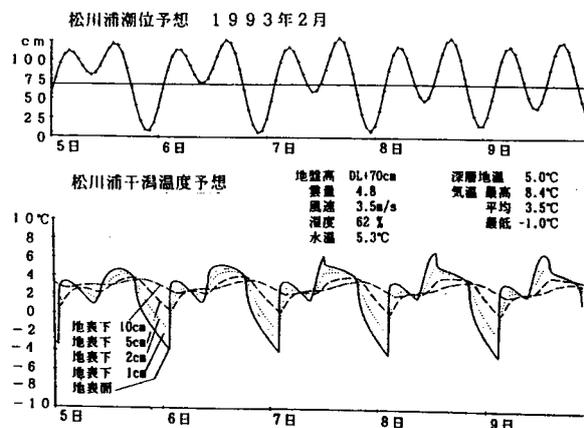


図-25 松川浦干潟冬季の地温変化推算値

## (5) 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-23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、海水の浸潤とともに急激に元に戻っている。この状況は現地観測結果と符合している。しかし、その大きさは変化の格差が大きい時は良く合っているが、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であるという特徴があり、その原因としてはセンサ上に砂が積もったのではないかと推察される。下2段の図は早朝の干出時の冷却現象が現われ始めた時である。この時のシミュレーションもその現象をほぼ表わしていると判断した。

## (6) 干潟温度の推定

夏の干潟を想定し、気象要素を厳しい(A)、普通(B)に分け、厳しい要素を一つずつ折り込んで表-2の条件でテストした。干出時刻による影響を調べるため、潮位は平均潮位100cm、潮差を200cmとする12.5時間周期の余弦曲線として毎日1時間ずつ遅らせた。従って、地盤高50cmで4時間、100cmで6時間の干出となる。また、松川浦の冬季の条件でも計算した。

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-24に示すように、夏季晴天時の標準条件で、干潟表面で4.0°C、土中1cmで3.8°C、しかし、土中5cm深さで3.4°Cになる。影響が最も大きいのは無風の場合で、地表で6.0°Cにもなる。他の項目の厳しい条件の場合の地表温度上昇量は、気温が5°C上昇すると+3°C、雲量が2減ると+2°C、湿度が25%上がると+2°C、水温が3°C上昇すると+0.4°C、6月では+1.5°C、干出時間が2時間増すと+0.2°C、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。図-25に冬季松川浦の平均的気象条件での推算値を示す。冬季は、気温、水温、湿度が低く、風速が大きいという夏季と反対の条件で地温は更に低下する。

## 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体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5mm以下の稚貝の移動の可能性は高い。時化時には4cm/時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。

これらのシミュレーションモデルは、アサリ漁場の評価ならびにアサリ漁場の造成時における造成地盤高並びに水路の配置・規模について有効な示唆を与えるものとなろう。また、この手法はアサリのみならず、干潟域の生物にとって、その環境を推定あるいは予測する手段として有効であろう。

なお、現地調査は福島県水産試験場松川浦分場ならびに熊本県水産研究センターと共同で実施したもので、ご協力いただいた福島県の天神僚、水野拓治、渡辺博之の各氏ならびに熊本県の平田満、南部豊揮、石田宏一、平田郁夫、平山泉の各氏ならびに、松川、網田、住吉、川口の各漁協に厚く御礼申し上げます。

## 摘 要

干潟に棲息するアサリは全国的にみて生産量は下降気味である。このため効果的な漁場造成をするには、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する解析手法を開発する必要がある。この研究では、内湾漁場におけるアサリ漁場を取り上げ、作濘、盛土・切土などの改変が種々の物理環境にどのような影響を及ぼすかをシミュレートし、アサリの生息環境として適切か判断しようとするものである。

### 1. 調査の成果

1)閉鎖性湾での作業者前後の物理環境のデータを収集し整理すると共に、潮流シミュレーションモデルを用いて、作業者による漁場内流動環境の変化を推定した。その結果、海水交流量の増大は潮差の増大即ち、干出時間の増大をもたらす。また、交換率・量の増大は出水後の早期塩分回復(外海化)を促し、浮遊卵稚仔・内湾性餌料の域外流出を促進することが示唆された。

2)幼生の逸散、水質、餌料、着底、干出、地盤高変動、底質、場の競合、食害を含めたアサリの生残量全体骨格モデルを提案した。

3)アサリ漁場を造成する時、その地盤高は重要な設計条件となる。この漁場地盤高と干潟温度との関係を推定するため、深さ方向に1次元の土層を想定し、気温、雲量、湿度、水温、時期、潮位をインプットし、日射や風による熱が地中に伝達される構造とした数値モデルを制作した。これと平行して干潟の温度を現地計測し、この結果からモデルが妥当であると判断した。この結果、干出時間3時間を超えると夏場の干潟表面は40℃以上の高温となる確率が高くなる。このため、緑川河口の地盤高0.5m以上では稚貝の減耗が激しいと推定された。

4)流れによる餌や幼生の分布収支モデルを試作した。

5)内湾においても砂の表面が動くことが多く、5mm以下の稚貝の移動性は高いと考えられる。緑川河口では通常の大潮時1cm/時前後の地盤高変動が生じている。また、時化時には4cm/時の地盤高変動が生じた。粗粒分で盛土した場合は細粒分の堆積を防ぐ対策が必要がある。

## 2. 成果の活用・普及

これらのシミュレーションモデルは、アサリ漁場の評価ならびにアサリ漁場の造成時における造成地盤高並びに水路の配置・規模について有効な示唆を与えるものとなる。また、この手法はアサリのみならず、干潟域の生物にとって、その環境を推定あるいは予測する手段として有効であろう。なお、成果の一部は関係学会に発表した<sup>6)7)</sup>。

## 3. 残された問題点

今後は、生残量モデルの各要因、特に、流亡に対する逃避行動など生理生態に関する現場データを数値化し、各要素に対する生残率を定量化し、総合生残モデルを構築していく必要がある。

また、アサリの減耗要因と目される要素についてその推定手法を構築したが、これらの中での種々の仮説並びにモデルの精度良否を確認する現地データが殆どないことである。例えば、

- ① D状幼生の落下・上昇速度並びに昼と夜の鉛直分布、
- ② アサリの濾過流量(大きさ・水温別)
- ③ アサリの潜砂・上昇速度(大きさ・水温別)等のデータを収集する必要がある。

## (参考文献)

- 1)倉茂英次郎,1957:アサリの生態研究,特に環境について,水産学集成,東京大学出版会,pp.611-655
- 2)相良順一郎,1977:貝類養殖における干潟の利用について,水産土木13(2),pp.17-20
- 3)農業気象ハンドブック編集委員会,1974:農業気象ハンドブック,養賢堂,p.164
- 4)土木学会編,1985:水理公式集-昭和60年版-,p.98-99
- 5)正野重方,1960:気象力学,岩波書店,pp.1-246
- 6)山本正昭・川俣茂,1993:干潟の温度変化(観測と予測),日本水産工学会学術講演会,pp.25-28
- 7)山本正昭・川俣茂・石田宏一・平山泉,1994:干潟の流動環境と砂面変動,日本水産工学会学術講演会,pp.51-54