

九十九里浜沿岸におけるサトウガイ *Scapharca satowi* (Dunker) の大量へい死現象について

清水利厚・目黒清美・佐藤 新・加瀬信明^{*}・村田靖彦^{**}

はじめに

1983年から1984年にかけて九十九里浜沿岸においてサトウガイが大量にへい死し、これに依存する沿岸漁民に大きな影響を与えた。著者らは1983年5月から1985年3月の間、へい死の実状を調査し、へい死原因を推定したので報告する。なお生物調査は清水，目黒，佐藤が行い，環境調査は加瀬が，細菌検査は村田が担当した。

サトウガイは水深30m以浅の砂底に生息するアカガ

イに近縁の二枚貝で，九十九里浜沿岸は分布（鹿島灘から九州）の北限に近い。漁獲は貝桁網で行われている。農林統計によると，最近15年(1969～1983年)の平均漁獲量は898トンである。1982年には約150隻の操業で2,449トンの漁獲があったが，大量へい死現象によって1984年以降は出漁がない状況となった。

I. へい死の経過

資料と方法

1982年5月から1985年3月の間に図1に示す調査点

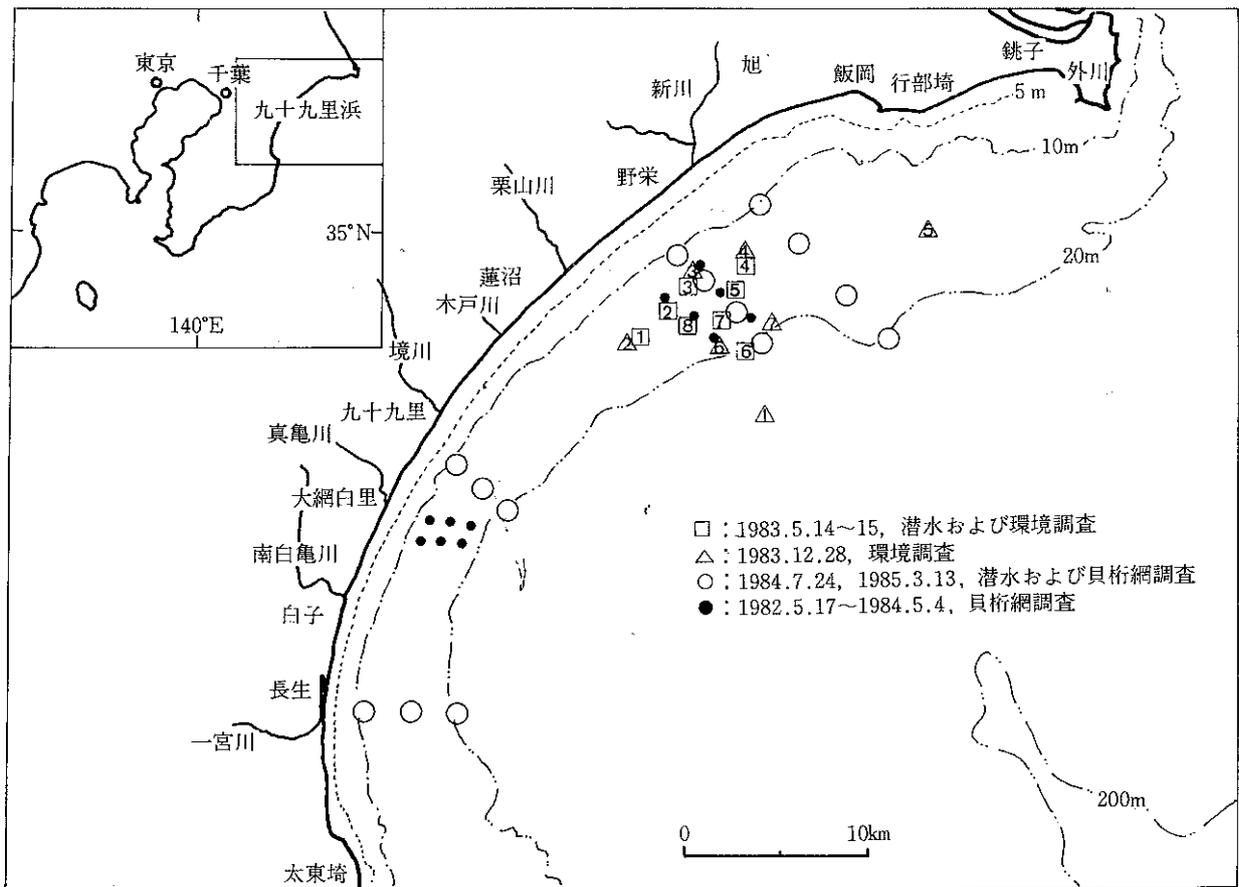


図1. 調査位置図

*現中央保健所

**現千葉県内水面水産試験場

で行った生物・環境調査の結果とサトウガイの資源生態に関する既往の調査結果および聞取調査等によるへい死に関する情報を資料とし、この間のサトウガイへい死の経過を整理した。なお顕著なへい死現象のみられた1983年5月と12月には現場の調査（潜水調査および環境調査等）を行ったので、その結果は後章で詳述する。

結 果

サトウガイへい死の経過を表1に示す。

1982年8月に空殻が刺網に目立ってかかるという情報があった。また聞き取りによると、木戸川以北の9尋(13.5m)以深の漁場で、貝桁網の漁獲物中にへい死貝が3~4割混入してそれらを選別し、海中に投棄す

表1 サトウガイのへい死経過

| 年・月 | 記 事 |
|-----------|--|
| 1982.8 | 北部漁場で漁獲物中にへい死貝が3~4割混入したという情報があった。 |
| 1982.10 | 試験採捕調査の結果、へい死貝は空殻も含めて5%程度であった。 |
| 1983.3 | 茨城県鹿島灘南部で大量へい死の報告があった。 |
| 1983.4 | 底引網にサトウガイが混獲された貝桁網に10~20%のへい死貝が混入したとの情報があった。 |
| 1983.5 | 潜水調査等を行った結果、 ●成貝の50%がへい死貝であった。 ●へい死貝は死亡直後のものから貝殻だけのものまで様々の状態であった。 ●稚貝のへい死はなかった。 ●生貝を水槽飼育したところ、外套膜から出血がみられ、ほとんどへい死した。 ●成貝の生息密度は0.24個体/m ² であった。 |
| 1983.6~11 | 試験採捕の結果、へい死現象はほとんどみられなかった。漁獲水準は前年に比べ低かった。 |
| 1983.12 | 新たにへい死現象が発生したという情報があった。 |
| 1984.1 | 試験採捕調査等の結果、 ●成貝の20%がへい死貝であった。 ●空殻(殻皮付き)が多数採集された。 |
| 1984.7 | 潜水調査等の結果、 ●へい死現象はみられなかった。 ●生息密度は成貝が0.0009個体/m ² で稚貝が0.03個体/m ² であった。 |
| 1985.3 | 潜水調査と試験採捕調査の結果、サトウガイの生息分布はみられなかった。 |

るのにかなり手間がかかるとのことであった。へい死貝は、死亡直後と思われるものから、軟体部が腐敗しているもの、さらには空殻のみのものまで、さまざまであるとのことであった。

10月に北部漁場を調査したがへい死貝は少なく、空殻も含めて全体の約5%であった。

1982年の年間漁獲量は2,449トンで、1曳網あたり平均漁獲量は30.3kgであった。漁場を2km升目に区分した年間の漁場分布は、図2に示すようにほぼ九十九里全域にわたっていた。北部漁場の栗山川沖から新川沖は分布密度が高く、最高88.3kg/曳網であった。

1983年3月に茨城県鹿島灘南部でサトウガイの大量へい死が報告された。茨城県水産試験場の情報によると、底引網に大量に入網(18隻で約7トン)し、そのほぼ半数がへい死貝であった。へい死貝はすべて身付きで、貝殻を開いた状態で漁獲されたが、腐敗臭はなく、多くは殻皮がはげ落ちていた。また鹿島灘では釣りひっかけ漁で漁獲されるのが通常で、底引網に混獲されたのは初めての現象である。

4月には九十九里浜でも小型底引網にサトウガイが混獲されて、銚子港に水揚げされた*。貝桁網漁では4月の解禁当初、漁獲物中に10~20%のへい死貝が混じっており、その後次第にへい死貝の割合が増え始め、下旬には大量にへい死貝が混獲されたという情報があった。

そこで5月に北部漁場の潜水調査を行った。結果はⅡで詳しく述べるが、このとき、稚貝のへい死はなく、成貝は各年齢ともおよそ半数がへい死していた。へい死貝は、死亡直後のものから軟体部の腐敗が進んで原形をとどめないものまでさまざまであった。殻皮のついた空殻だけのものもあった。生貝のなかには活力の衰えたものが半数以上あって、飼育観察の結果、外套膜からの出血がみられ、ほとんど死亡した。

6月から11月の間、新たなへい死現象はみられず、前年より漁獲水準は低かったものの、サトウガイ漁の操業も行われた。

12月になって新たなへい死現象が発生したという情報があった。

そこで1984年1月に潜水調査を行った。結果の詳細はⅢに述べるが、このとき、成貝の20%がへい死貝であった。また2歳貝の空殻(殻皮付き)が多数採集された。

7月に九十九里全域を対象に14地点の潜水調査を行

*漁政課の調査によれば99隻で7.5トンが水揚げされた。

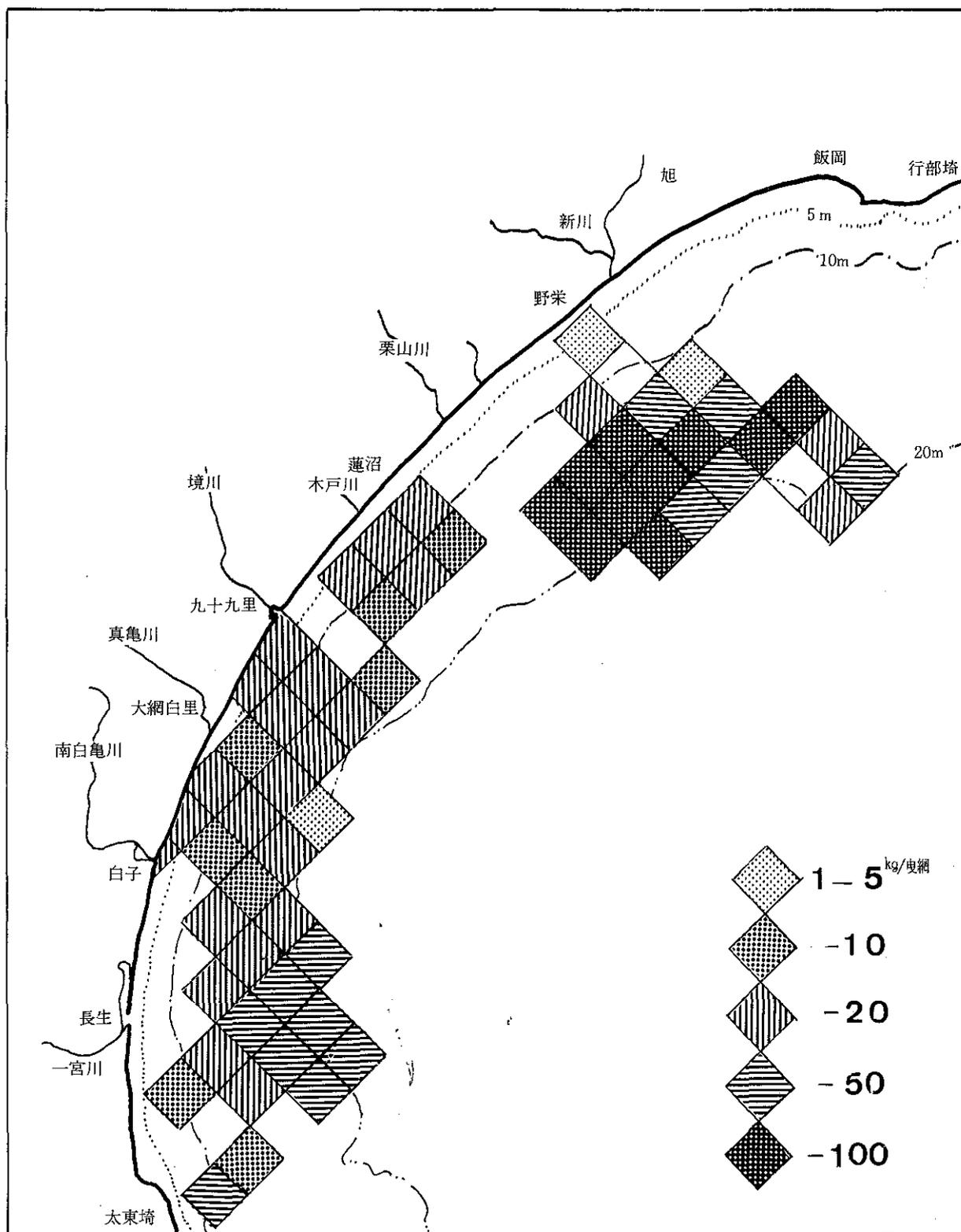


図2. 1982年サトウガイ漁場(1曳網あたり漁獲量の分布)

った。サトウガイ生息密度は0.0009個体/m²(成貝)で、前年5月の1/200程度に減少していた。北部漁場の底層水温は、平年の年間最低水温(2月12.8℃)を下回る10~11℃であった。サトウガイの肥満度の値は例年に

比べて小さい9.4であった。

1985年3月にはサトウガイの生息分布はみられなかった。

1982年4月から1985年3月の間のサトウガイの分布

表2 サトウガイの生息密度

| 年. 月. 日 | 貝桁網による | | 潜水調査による | | | 備考 |
|------------|--------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-----|
| | kg/曳網 | kg/m ² | 個体/m ² | | kg/m ² | |
| | | | 稚貝 | 成貝 | | |
| 1982. 5.17 | 4.70 | 0.00839 | | | | 白里沖 |
| 10.26 | 69.98 | 0.12496 | | | | 下総沖 |
| 11.24 | 47.90 | 0.08554 | | | | 〃 |
| 1983. 5.11 | 41.00 | 0.07321 | | | | 〃 |
| 5.14~15 | | | 5.79 | 0.24 | 0.019 | 〃 |
| 7.20 | 0.55 | 0.00098 | | | | 全域 |
| 11.22 | 1.00 | 0.00179 | | | | 〃 |
| 1984. 1.13 | 0.33 | 0.00059 | | | | 下総沖 |
| 5. 4 | 0.22 | 0.00039 | | | | 全域 |
| 7.24~25 | 0.28 | 0.00050 | 0.03 | 0.0009 | 0.0008 | 〃 |

※曳網面積を網開口幅(3.5m)×曳網距離(160m)=560m²とした。

密度は表2に示すように推移した。

この間、九十九里浜沿岸(20m層)の水温は、1982年8月が7月より4.2℃も低かったことや1983年5月(12.6℃)から9月(25.6℃)に13℃もの大幅な水温上昇があったこと、1984年7月は11.3℃で平年の最低水温(2月12.8℃)を下回ったことが特異的であった。

II. 1983年5月の状況

材料および観察・実験方法

1983年5月14~15日に図1に示す北部漁場の8地点(水深12~18m)について環境調査と潜水調査を行った。

環境調査の採水は、表層水は船上からバケツを用いて、底層水は北原式A号採水器でそれぞれ行い、採泥は、ダイバーが潜水して海底で底土を11cm径のスチロール容器に採取した。調査項目と分析方法は表3のとおりである。

潜水調査では、幅3ないし4m長さ20mの範囲をダイバー2名で1地点につき30分間程度水中観察するとともに、サトウガイの発見に努力し、生貝、へい死貝、空殻をとわずすべて採集した。また、5月11日に漁業者が8地点について貝桁網でサトウガイを採捕し、水産試験場に持ち込んだものも材料とした。採集したサトウガイはその状態を観察し、殻長、体重を測定した。さらに殻長組成と貝殻表面にみられる輪紋の数により各個体の年齢^{*}を推定し、 $10^2 \times (\text{軟体部重量}) / (\text{殻長})^3$ として肥満度を計算した。一部の貝は水槽飼育して観察した。

細菌検査の試料は1983年5月14日に潜水によって採集された生貝14検体とへい死貝11検体および5月11日に貝桁網によって採集された生貝死貝あわせて92検体である。衰弱している生貝はすでに細菌感染していると仮定して、中腸腺からの細菌分離を試みた。また、生貝およびへい死貝の軟体部表面の細菌叢を検査した。分離培養にはB T B ティーポール寒天培地およびB H I 寒天培地を用いた。検査の方法は医学細菌のマニュアルおよび魚病細菌検査手法⁶⁾による。細菌の分類は海洋微生物の従属栄養細菌の同定図^{6), 7), 8)}を参考にした。さらに、潜水採集したサトウガイ生貝について顕微鏡下で寄生虫学的な観察を行った。

表3 各調査項目とその分析法

| 水質項目 | 分 析 法 |
|--------------------|-----------------------------------|
| 気象・海象 | 海洋観測指針 ¹⁾ |
| 水 温 | 棒状水銀水温計で測温 |
| 塩 分 | T-Sサリノメーター |
| D _o | ウインクラール・アジ化ナトリウム変法 |
| NH ₄ -N | インド・フェノール法 |
| NO ₂ -N | ストリックランド・パーソンズ法 |
| NO ₃ -N | 〃 |
| PO ₄ -P | ドニゼ変法 |
| COD | 水温汚濁調査指針 ²⁾ ・アルカリ・ヨウ素法 |
| SS | JIS.K 0102による重量法 |
| 底質項目 | |
| 乾 泥 率 | 水質汚濁調査指針 ²⁾ の方法 |
| 強熱減量 | 〃 ただし強熱温度は500℃ [*] |
| 粒度組成 | 土質試験法 ³⁾ の方法 |
| COD | 水質汚濁調査指針 ²⁾ の方法 |
| 全硫化物 | 検知管法 |

※貝殻片の多い砂質土は550℃以上でCaCO₃→CaO+CO₂↑の減量が起るため、強熱温度を500℃とした

※年齢の表記は産卵期(7, 8月)~12月までを0歳貝、翌年1~12月を1歳貝、以下同様とした。

結果と考察

1. 漁場環境

1) 水質

水質分析の結果を付表1に示す。

水温は表層がほぼ15℃台で、底層が12~14℃台であり、表層と底層の温度差は1.5~2.5℃あった。

塩分(実用塩分)は表、底層とも33.3~33.8台で、沖側が高い傾向にあった。

DOは表層が9~12mg/l、底層が8~9mg/lであった。酸素飽和度は表層が117~153%、底層が94~115%となる。

栄養塩のうちNH₄-Nは表層が0.04mg/l以下で、底層が0.02mg/l以下であった。NO₂-Nは全ての調査点で検出限界(0.001mg/l)未満であった。NO₃-Nは表層が0.004~0.013mg/lで、底層が0.004~0.021mg/lの範囲であった。PO₄-Pは表層が0.001~0.003mg/lで、底層が0.005~0.01mg/lの範囲であった。

CODの値は表層が2mg/l台で、底層が1.73~2.48mg/lであった。

SS(懸濁物量)は表層が7.1~10.5mg/lの範囲にあり、底層が6.3~45.3mg/lであった。SSの主成分は、波浪などの影響で浮遊したとみられる微細砂であった。

前年(1982年)5月と比較すると、底層水温は1~2℃低い、その他の水質分析値は差がないかむしろ低い。また1971年5月の環境調査結果と比較しても差がない。したがって水質環境は通常の状態であると考えられる。

2) 底質

底質の分析結果を付表2に示す。

物理的性状は乾泥率が75.3~78.3%の範囲で、強熱減量の値は1.43~2.11%の範囲であった。また、粒度組成は0.074~0.105mmの細砂が、69.9~88.1%を占めていた。粒度組成中の泥分の百分率は4.2~14.7%であった。

化学的性状はCODが1.4~1.7mg/g乾泥の範囲で、全硫化物が検出限界の0.001mg/g乾泥未満から0.007mg/g乾泥の範囲であった。

前年5月と比較して底質の物理的・化学的性状に差はない。CODの値が20~30mg/g乾泥を超えると底土の汚濁が著しいとされている。また、全硫化物が1mg/g乾泥を超えると底生生物の生息が困難になるとされている。観測値はこれらの値を大きく下回っているため底質環境は通常の状態と考えられる。

2. サトウガイの状態

1) 潜水観察

水中撮影によるサトウガイの状況を写真1, 2に示す。

成貝(2歳貝以上)は1個体ずつ点在して生息している場合が多く、1か所に集中している場合でも5個体程度であった。これに対してへい死貝および空殻は10~15個体が集中している例が多かった。直径25cm深さ5cm位の海底の窪みに、へい死貝、空殻が13個体集積し、その下の砂中に生貝3個体が埋生していた例や、同様の窪みに多毛類の棲管を中心にしてへい死貝、空殻が多数重なっていたことも数例あった。かたまっていた生貝は互いの貝殻に足糸を絡みつかせている状態であった。へい死貝および空殻はほとんどの場合砂上にでているか、あるいは半ば砂上にでていた。生貝も53.7%の個体が砂上にでているか、半ば砂上にでていた。へい死貝の状態は、軟体部が原形をとどめないほど崩壊して、腐敗分解が進行し、異臭を放つものから、体筋が硬直して斧足の先端が左右に波うっているもの、開殻してはまだ腐敗臭のないもの、体筋に紫赤色の斑紋のみられるものなどさまざまな段階であった。両殻揃った、殻皮のはげ落ちていない空殻もかなりの数があった。

稚貝(1歳貝)はスゴカイイソメの棲管に付着しているものが多数採集された。スゴカイイソメは多いところで4~5個体/m²が採集された。

へい死貝の状態から、へい死が極めて短期間に起きたとは考えにくい。砂上にでていた生貝は衰弱しているものとみられる。水槽中での飼育例(写真3)では、サトウガイは殻の後縁を海底面に接するようにしてほぼ全体を砂中に埋めて生活しており、通常砂上にでていることはない。へい死貝が集中していた現象は、足糸を互いに付着させている状態で漁獲されることがあるので、通常の状態であるかも知れない。しかし、操業中に入網したへい死貝が選別後まとめて海中に投棄されていたことから、投棄されたものである可能性もある。

2) 飼育観察

潜水採集したサトウガイに、貝殻が破損したり軟体部が負傷するなどの外傷はまったくみられなかった。また殻皮もはげ落ちていなかった。なお貝柵網による採集物には貝殻に損傷のあるものが12.8%あったが、漁具の爪などによって損傷する貝がでるのが通常で、比較的殻の薄い2~3歳貝が漁獲の中心である近年は35%程度(1982年)が傷貝である。

生貝は衰弱しているとみられる貝が多かった。それ



№.1. サトウガイ生貝2
個体とスゴカイイ
ソメ.

1個体はほぼ埋生しているが、1個体は半分しか埋っていない。
(1983.5.14)

№.2. サトウガイのへい死
状況.

貝殻だけのものから軟体部のあるものまで多数あった。
(1983.5.14)



№.3. 水槽中での生息状況.

2個体は完全に埋生し、外套膜の一部で形成する偽水管がみえる。1個体は $\frac{1}{2}$ 程水中にでている。

らは、外套膜縁の厚さが薄いものや外套膜縁の色調が色あせて黄色を呈している、外套膜縁が退縮している、退縮した外套膜の貝殻への付着部に血液が浸出している、鰓が細分裂している、通常暗赤色の鰓が充血して鮮紅色を呈す、体壁表面が部分的に充血している、外套腔中に砂があるなどの異常のどれかまたはいくつかが観察された。外套腔中に砂が入っているのは生貝の半数以上(潜水採集の53.5%、貝桁網採集の73.7%)にみられた。

衰弱貝を、外套腔中の砂を海水で洗い流した後、流水で飼育観察したところ、外套膜縁の貝殻への付着部位(貝殻の外套線付近)から血液が浸出する貝が72.2%あった。そのほか鰓が鮮紅色に充血するものが11.1%、粘液物質を顕著に分泌する貝が13.9%あった。これらの貝は10日以内に90%以上が死亡した。

3) 分布密度

潜水調査によるサトウガイの採集数は生貝が2873個

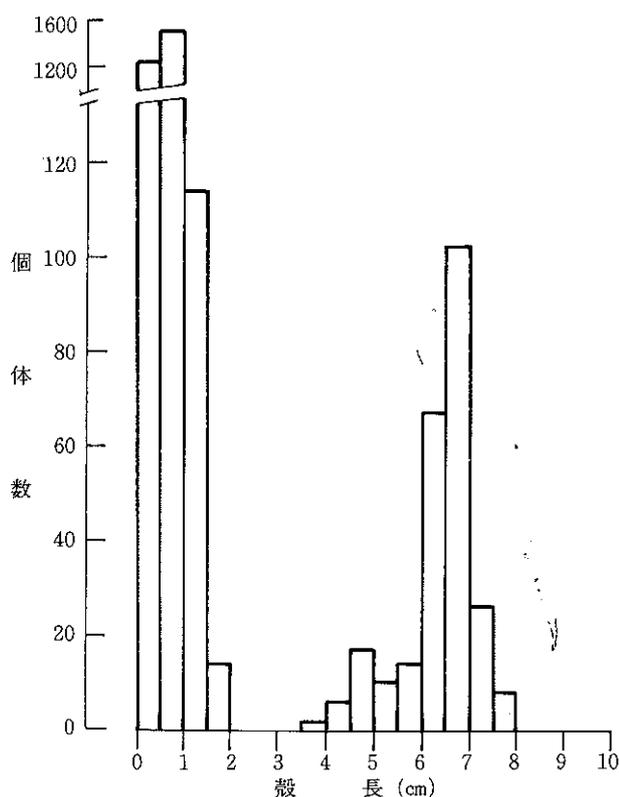


図3. 潜水採集のサトウガイ殻長組成 (1983.5.14~15)

体でへい死貝が66個体であった。その他、貝殻だけの空殻が237個体あった。貝桁網の採集物は生貝349個体、へい死貝448個体であった。これから生貝の分布密度を計算すると、潜水調査では、成貝の分布密度が0.24個体/m²で、稚貝の分布密度が5.8個体/m²となる。また

貝桁網では漁獲対象貝の分布密度が0.48個体/m²となる。

前年(1982年)11月の貝桁網による分布密度(2.0個体/m²)と比べるとおよそ1/4となっている。

4) 成長と肥満度および年齢組成

潜水採集によるサトウガイの殻長組成を図3に示す。

生貝総計2873個体のうち過半数(2736個体)を殻長20mm以下の稚貝が占め、残り71個体が殻長67.5mmモードの成貝であった。図4に貝桁網によるサトウガイの殻長組成を示す。すべて成貝で、モードは67.5mmであった。へい死貝も生貝とおなじ67.5mmモードの成貝であった。3歳貝の平均殻長は6.6cmで、平均体重は78.8gであった。

成貝(3歳貝)の肥満度は10.8であった。

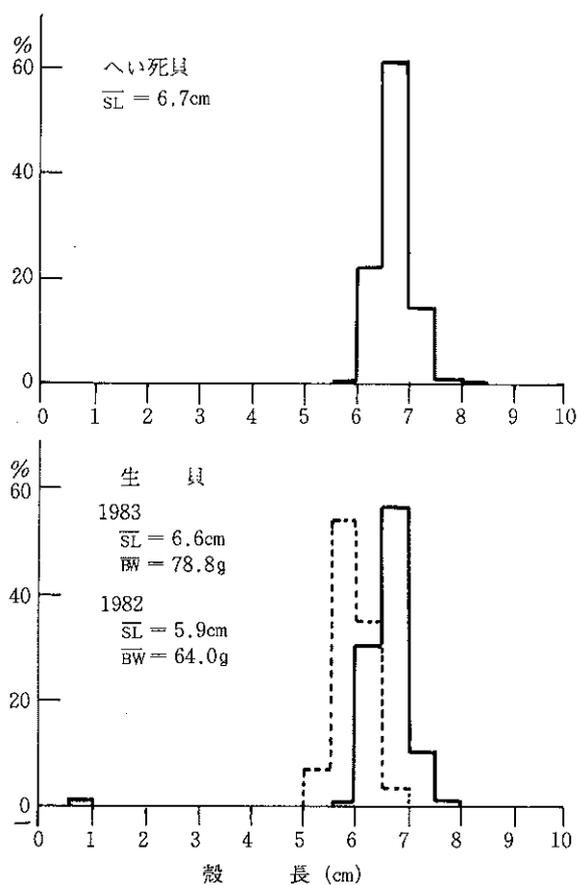


図4. 貝桁船漁獲物のサトウガイ殻長組成 (実線: 1983.5.11, 破線: 1982.10.26)

年齢組成は図5に示したとおりで、1歳貝が95.2%、2歳貝が0.4%、3歳貝が3.8%、4歳貝が0.4%、5歳貝以上が0.1%であった。稚貝を除くと3歳貝がもっとも多く、76.1%を占める。貝桁網の採集物では、2歳貝が1.6%で3歳貝が94.2%、4歳貝が1.9%、5歳貝以上が1.6%であった。

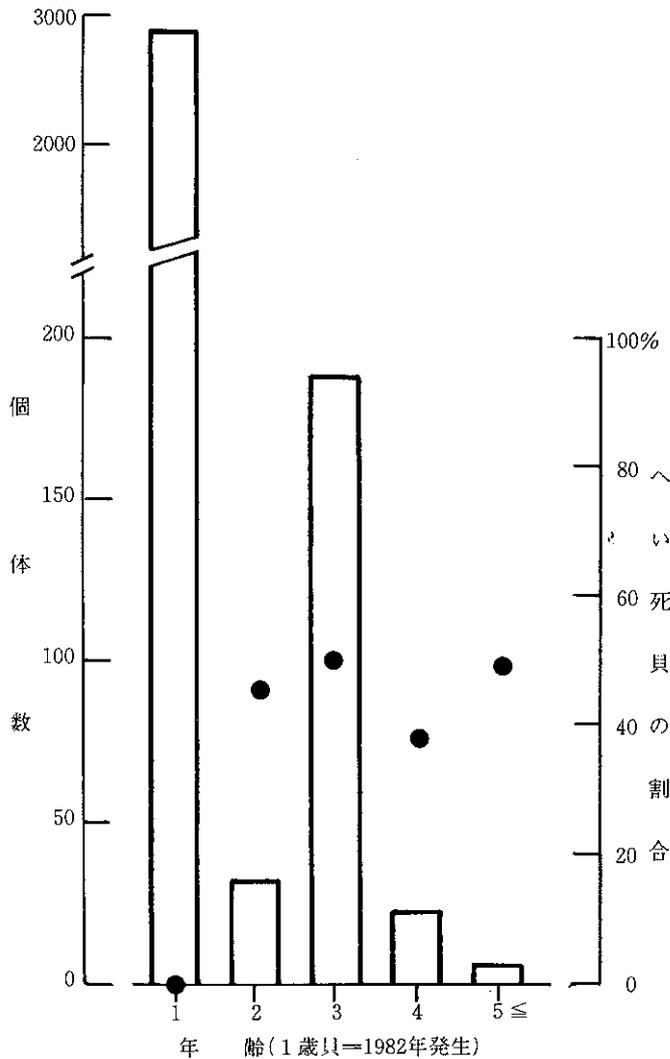


図5. 潜水採取したサトウガイの年齢組成および年齢別へい死貝の割合 (黒丸) (1983.5.14~15)

生貝とへい死貝を合計して年齢別にへい死貝の割合を計算した結果を図5に示す。1歳貝は0%で2歳貝が41.7%、3歳貝が50.0%、4歳貝が41.7%、5歳貝以上が40.0%であった。成貝全体のへい死貝の割合は48.2%であった。

前年10月の殻長組成(図4)および年齢組成(図6)と比較すると、殻長が5mm、年齢が1歳増加しただけで組成に変化はみられない。主群である3歳貝は、すでに2歳貝で卓越年級群(96.5%)となっている。

生貝の成長および肥満度はとくに劣っていない。すなわち、1981年の貝の年齢と成長の関係は表4に示したとおりであり、3歳貝の5月での平均殻長も1979年発生群が6.39cm、1978年発生群が6.70cmであって、大きな差がない。また5月の肥満度は、1976~82年の平均が11.5で最低値が10.3であり、過去の肥満度の範囲にある。

表4 サトウガイの年齢と成長

| 年齢 | 殻長 (mm) | 体重 (g) | 実測殻長 |
|-------------------|---------|--------|------|
| 1 | 45.8 | 27.1 | 45.8 |
| 2 | 57.9 | 60.3 | 58.7 |
| 3 | 66.3 | 95.6 | 65.6 |
| 4 | 72.2 | 127.9 | 73.1 |
| 5 | 76.4 | 155.1 | 74.9 |
| 6 | 79.3 | 176.1 | 77.0 |
| 7 | 81.3 | 191.7 | 79.8 |
| 8 | 82.7 | 203.2 | 84.0 |
| (L _∞) | 86.0 | 232.2 | |

Bertalanffyの成長式

$$L_t = 86.0(1 - e^{-0.4030 - 0.3575t}) \quad (t: \text{年})$$

相対成長式

$$dW/dt = 10^{-5} \times 5.879SL^{3.410} \quad (BW: \text{体重 g} \quad SL: \text{殻長 mm})$$

実測殻長は貝殻上の輪紋の読み取りによる各年齢群の平均値 (1981.8.11採集)

稚貝(1歳貝)にへい死貝がまったくないことが際だっている。このことはへい死が性成熟に関連していることをうかがわせる。

5) 細菌と寄生虫

生貝の中腸腺からの細菌分離の結果を付表5、6に示す。できるだけ多種類の細菌が発育する培地2種類

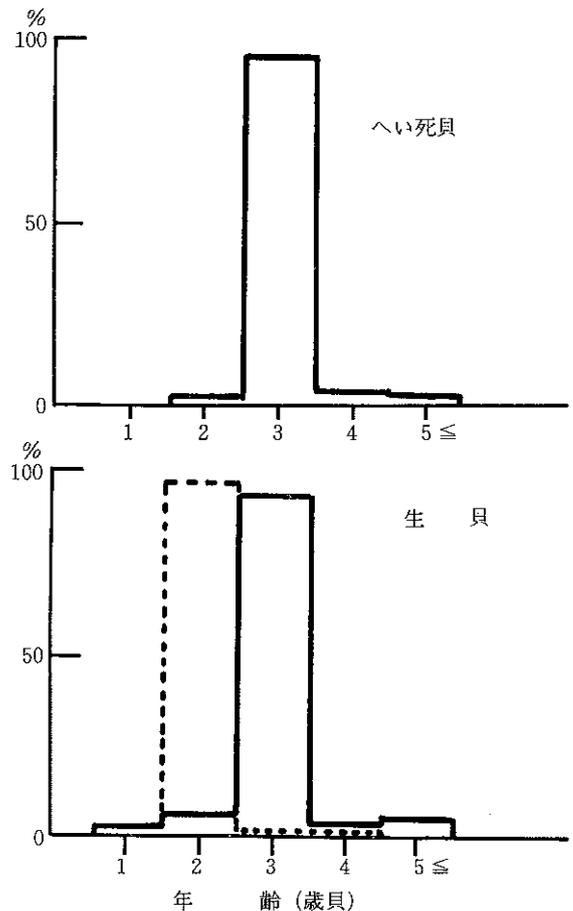


図6. 貝桁船漁獲物のサトウガイ年齢組成 (実線: 1983.5.11, 破線: 1982.10.6)

を用いたが、いずれも細菌は検出されなかった。

生貝およびへい死貝の体表から分離された細菌を付表 7~10 に示す。生貝から分離される程度の少ない発育状態を(+)とすると、へい死貝からは(+)~(++)と種々のものがみられた。これは、へい死貝でもその死後経過時間により発育する細菌が異なるためと考えられる。また、生貝およびへい死貝から分離されたもののなかから代表株(181株)を選んでその性状検査を行ったところ、すべてピブリオ様菌(ピブリオ-エロモナス)であった(付表11)。検体が1~2日間冷蔵保存されているため、実際の細菌叢を反映しているとは必ずしもいえないが、これらの細菌は、魚介類の腐敗細菌として第一義的なものでありかつ海水中の常在菌である。

顕微鏡による観察の結果、衰弱貝の外套膜と鰓の表面には種名不詳の鞭毛虫が多数検出された。血液からは鞭毛虫は検出されなかった。一方正常貝にはこの鞭毛虫はほとんど検出されなかった。

Ⅲ. 1984年1月の状況

材料および観察・実験方法

1984年1月13日に北部漁場の3地点について貝桁網によるサトウガイその他の生物採集を行った。採集したサトウガイはその状態を観察し、殻長、体重を測定した。貝が衰弱しているかどうかを判定するために、外套腔中の砂の有無と軟体部の出血の有無、足糸の有無を調べた。環境調査は1983年12月28日に行った。調査方法と分析項目は1983年5月の調査と同様である。

結果と考察

1. 漁場環境

水質・底質の分析結果を付表 3, 4 に示す。

水質は、水温が表層で13.4~15.1℃、底層で12.3~15.2℃であった。塩分は表層が33.06~34.74で底層が34.23~34.64であった。溶存酸素は表層の飽和度が90.4~118.9%、底層が92.4~108.7%であった。CODは1.1~1.2mg/lであった。

底質の粒度組成は細砂(0.105~0.25mm)が70.1~90.0%を占めた。乾泥率は74.2~80.7%、強熱減量は1.1~2.1%であった。CODは0.56~1.19mg/g乾泥で、全硫化物は0.001~0.030mg/g乾泥であった。

1983年5月と比べると、冬期であるため栄養塩類のNO₃-Nがやや高いものの、その他の分析値に大きな差は認められないので、漁場環境は通常の状態であ

たと考えられる。

2. サトウガイの状態

採集されたサトウガイは生貝が123個体、へい死貝が31個体、合計154個体であった。そのほか、空殻が1856個体あった。殻長組成を図7に、年齢組成を図8に示す。生貝の殻長範囲は20~75mmで、2歳貝のほか3、4歳貝もあった。へい死貝、空殻はほとんどすべてが殻長50mm以下の2歳貝であった。生貝は外套膜縁から出血するものはなかった。外套腔中に砂があるものは6個体中2個体で、足糸の無いものは7個体中3個体であった。へい死貝は腐敗臭はほとんどなく、軟体部の色調が灰褐色であたかも血の色が失せて土気色を呈しているかのように見えるものが多かった。空殻はいずれも2歳貝で、殻皮がはげていない、両殻の揃ったものであった。

その他、貝桁網で採集された生物には、軟体動物(ペンケイガイ、ツメタガイ、パイ、トカシオリイレ、イイダコ)、きよく皮動物(モミジガイ、ハスノハカシパン、オカメブンプク、ヒトデ類)、甲殻類(ジャンメガザミ、

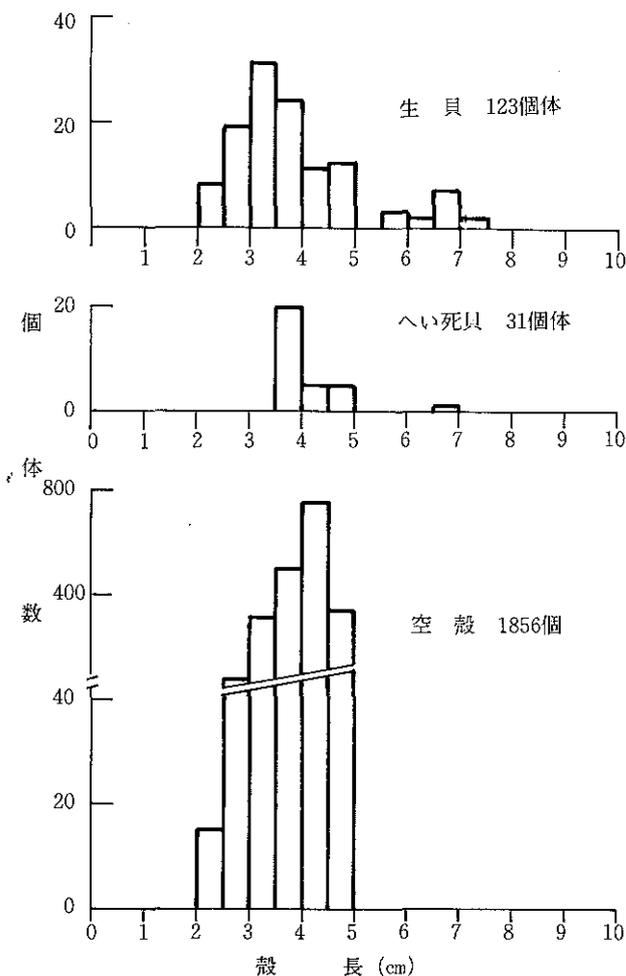


図7. サトウガイ殻長組成(1984.1.13)

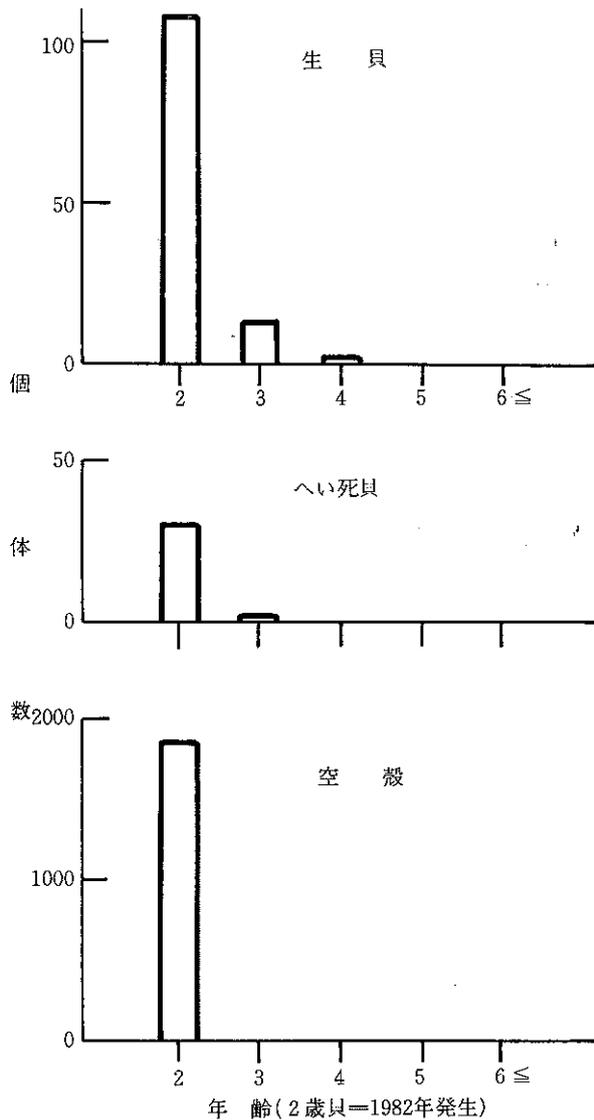


図8. サトウガイ年齢組成 (1984.1.13)

サルエビ, カニ類), 管形動物(スゴカイイソメ)の合計13種類があったが, へい死したものや空殻はなかった。スゴカイイソメは1416個体採集されたが, 棲管にサトウガイ稚貝の付着はみられなかった。

生貝の状態は, 外套腔中の砂, 外套膜縁からの出血, 足糸の欠如の割合に, へい死現象のみられなかった1983年6~11月と比べて差がないので, 通常の状態であったと考えられる。なお水槽で観察した例では, 足糸のない個体でも長期間生存して足糸が再生する。また水槽中で貝がへい死するとき, 抜け落ちるようにして足糸が切れ, 貝が砂上に出てくることが観察される。したがって足糸のない状態は衰弱したものとみることができ, 貝桁網の操業で一部のものは足糸がとれてしまうと思われる。

空殻は1983年5月に稚貝であった1982年発生群の成

長したものである(図9)。1983年11月には生存しており, へい死貝や空殻は採集されていない。そのときの殻長組成(図10)および年齢組成(図11)と比べると, 2歳貝(1982年発生群)が相対的に少なくなっている。

今回のへい死現象は, 空殻に比べてへい死貝の数がわずかであったことから, 1983年5月のへい死現象と比べて短期間にへい死が起きたものと考えられる。

IV. 水温耐性実験

へい死のあった期間に九十九里海域で水温環境の変化が著しかったので, 水温がサトウガイの生理にどのような影響を及ぼすか実験を行った。

材料と方法

サトウガイ(殻長6.1~7.6cm, 年齢3~5歳貝)の鰓を切り取り, 海水を張ったシャーレに入れ, 粘液を除去した後, 1×3mmの小片を作って試料とした。この鰓の小片はその繊毛運動によってシャーレ底を這って移動する。そこで, 鰓の活性の度合いを鰓小片の移動速度によって示すごととして, 一定水温(5, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38℃)に保ったシャーレにこの試料を収容して移動速度を調べた。

結果

図12に水温と鰓移動速度の関係を示した。水温5℃のとき移動速度は0.14mm/sで最も小さく, 水温が高くなるにしたがい, はじめはゆるやかに, のちには急激に移動速度が増大し, 33℃では1.02mm/sに達した。さらに高温の38℃では収容直後に活発に移動したが, 1分以内には活動を停止した。

水温8~28℃の間では水温と移動速度はほぼ直線関係にあって, 10℃上昇(下降)すると約2倍(1/2)になる。したがって, 水温8℃では, サトウガイの好適水温とみられる18℃のときに比べると, 鰓の活性の度合いが半分となる。

V. へい死原因の推定

1. 寿命

1983年5月の大量のへい死は, 2歳以上の各年齢, おしなべて約半数がへい死していた。現在までに知られているサトウガイの最高年齢は8歳である(表4)。寿命による死亡であれば高齢貝ほどへい死の割合が高くなると考えられるので, 今回のへい死は寿命によるものではない。

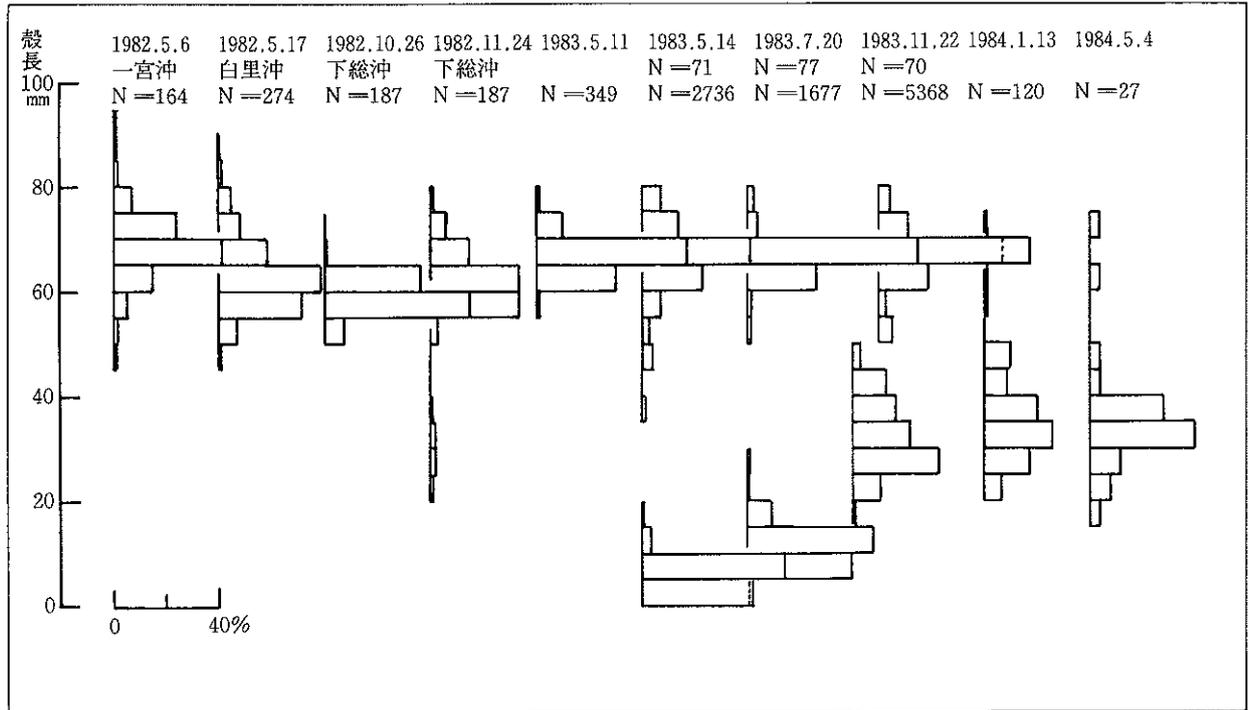


図9. サトウガイ殻長組成(1982.5~1984.5)

2. 濃密繁殖による影響

二枚貝類は異常ともいえる大発生をすることがあり、成長などに影響のある場合がある。例えば、バカガイでは殻が変形して成長が遅れることが知られているし、コタマガイが、底質に潜砂できないほど濃密に繁殖し、海岸に打ち上げられてへい死した例がある。

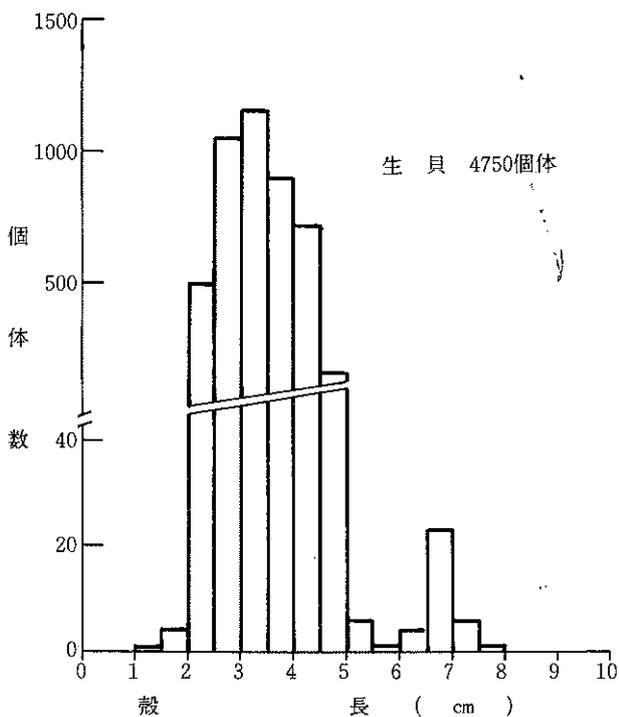


図10. サトウガイ殻長組成(1983.11.22)

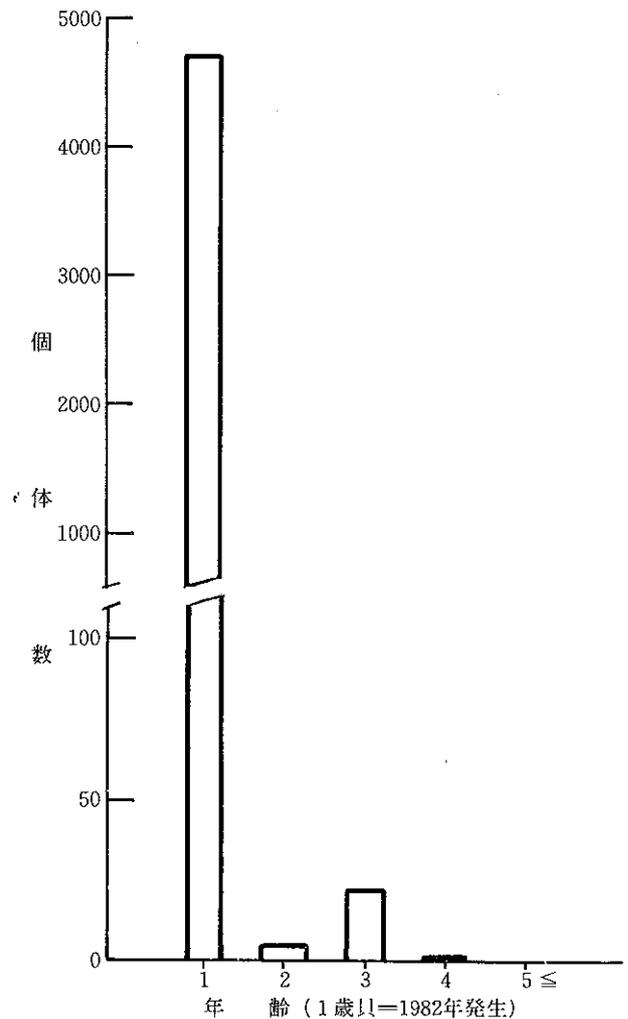


図11. サトウガイ年齢組成(1983.11.22)

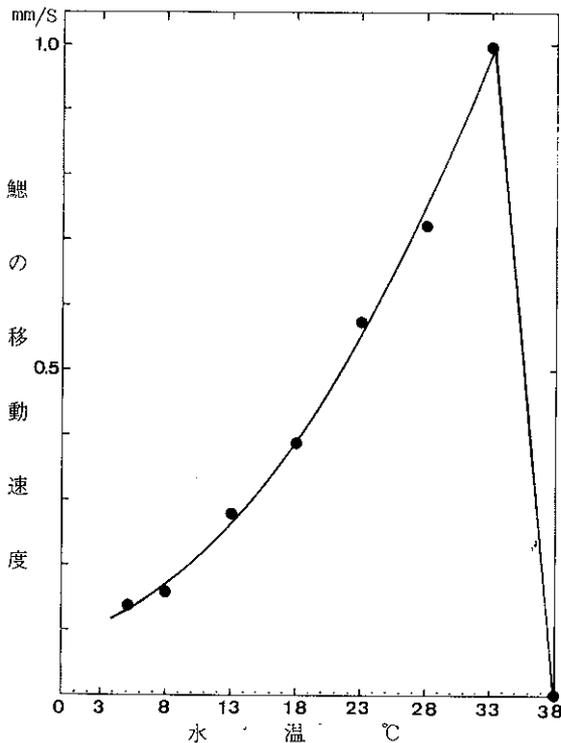


図12. サトウガイの鰓の活力に及ぼす水温の影響

サトウガイが高密度に繁殖した場合にも同様に、成長への影響や、空間的に余剰となった貝が潜砂できなくなるなどの影響が考えられる。しかし、貝桁網1曳網当り41kgの漁獲があった1983年5月の時点で、潜水調査による生息密度は0.24個体/m²であって、濃密に繁殖している状態ではなかった。

3. 外傷、細菌感染、寄生虫

潜水採集したサトウガイには貝殻にも軟体部にも外傷は全く認められなかった。したがって物理的な原因による外傷でへい死したものではない。

へい死貝および衰弱貝は外見的に特に細菌性疾病とみられるような病変はみられなかったが、念のため、細菌分離を行った。貝類の大量へい死の細菌学的知見をみると、カキでは結節あるいは膿瘍からグラム陽性菌が分離された例や、^{12,13,14,15}病変部からアクロモバクター菌(グラム陰性短かん菌)が分離された例があり、アコヤガイ¹⁶ではグラム陽性の双球菌が分離された例がある。しかし、いずれの場合も大量へい死の直接の原因とは考えられていない。今回の検査結果でもこれといった病変もみられず、臓器から細菌が検出されなかったことから細菌性疾病の可能性はきわめて小さいであろう。

さて、外套腔中に砂が入っている衰弱貝が多くみられたが、通常サトウガイは外套膜縁の上皮細胞の繊毛運動や、閉殻筋の収縮によって、異物の侵入を防いで

いる。外套腔中に入った異物は鰓上皮細胞の繊毛運動によって排除される。したがって外套腔中に砂が入っていた個体はなんらかの原因で活力が減退し、それらの機能が作用しなかったものと考えられる。衰弱貝の外套膜と鰓の表面には種名不詳の鞭毛虫が多数検出されたが、血液中からは鞭毛虫は検出されなかった。一方正常貝はこの鞭毛虫はほとんど検出されなかった。淡水魚の皮膚、鰓に寄生する鞭毛虫による障害にコシア症がある。鞭毛虫の一種、*Costia necatrix* が寄生部位の上皮細胞を摂食するため、その刺激によって過度に粘液が分泌され、さらに発赤や出血さえおこり魚は活気を失う。今回のサトウガイにもこれとよく似た症状がみられている。しかしこの鞭毛虫は、低水温期に活力の低下した魚や越冬明けの衰弱した魚、栄養不良や他の寄生虫の寄生、不適環境などで抵抗力の落ちた魚に寄生するもので、好調に生育している魚に寄生することはまれである。したがって衰弱貝から検出された鞭毛虫は、その生態、繁殖条件、病原性などに知見はないが、正常貝には検出されなかったことから、なんらかの原因によって衰弱した貝に寄生したものと考えられる。

4. 漁場環境

サトウガイのへい死現象は九十九里浜全体で起こったので、環境要因の作用が大きいが想像される。

環境要因の一つとして時化による海水流動について考察する。1983年3月の鹿島灘におけるへい死現象は、冷水による生理活性の低下のため、砂底からサトウガイが表出し、時化による流動、波浪で海底をころがされることにより、衰弱、へい死に至ったのではないかと報告されている。九十九里浜では冬期の時化後、サトウガイが汀線付近に打ち寄せられることが毎年のようにみられる。その貝は白貝と呼ばれることわかるように、殻皮がはがれ落ちている。ところが、今回のへい死では殻皮ははがれ落ちていなかった。また、時化日数は例年と大差がなかった。したがって、時化による海水流動がへい死の直接原因とは考えられない。

次に、漁場の水質・底質環境についてみると、1983年5月および12月のへい死現象のときの状態は、へい死現象のみられなかった1971、1982年と比べて大きな差がなく、水質汚濁や底質悪化は認められないのでへい死原因とは考えられない。

水温環境について次に考察する。内湾域で行われているアカガイの地まき養殖やかご養殖では、^{17,18,19,20,21}高水温の年は夏から秋にかけて大量へい死現象がみられ、飼育実験によると8~9月に25°C以上の日最高水温が続い

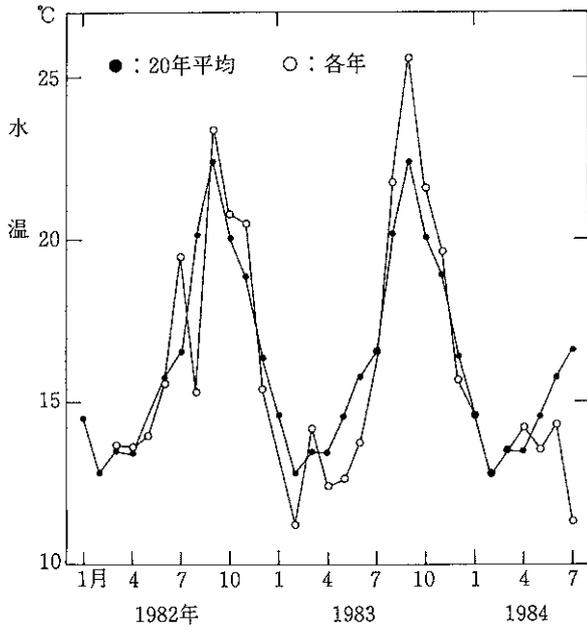


図13. 九十九里浜沿岸20m層の水温経月変化
● : 20年平均 ○ : 各年

て、日較差の大きいことがへい死の主要な要因と推定されている。しかし九十九里浜は外海に面しており、内湾域に比べれば日較差は小さいと思われ、サトウガイへい死の主因ではないであろう。

図13に九十九里浜沿岸(20m層)の平年および1982~1984年の水温を示す。平年は最低水温期が2月(12.8

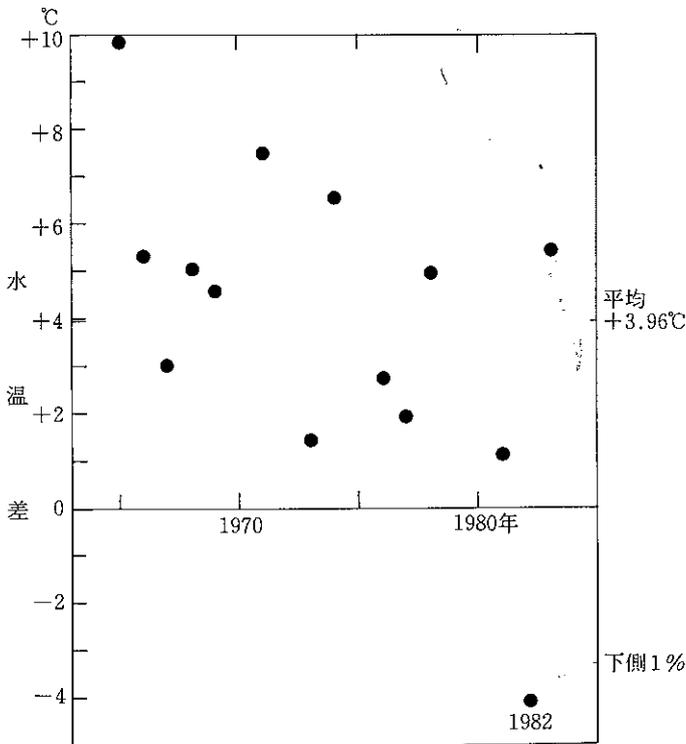


図14. 九十九里浜沿岸20m層の8月と7月の水温差経年変化

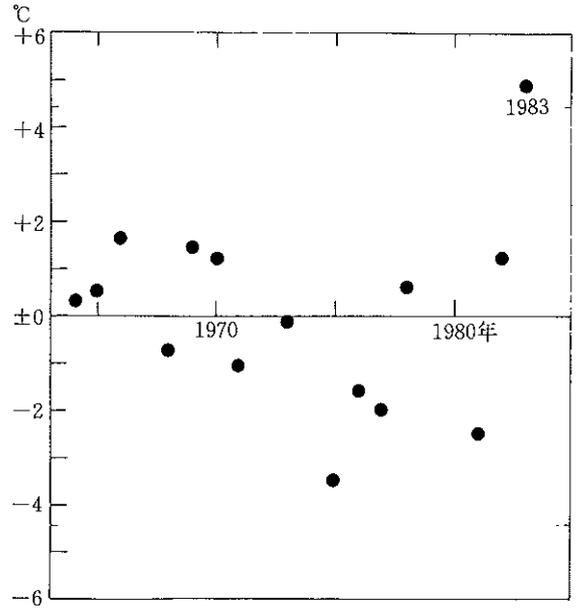


図15. 九十九里浜沿岸20m層の9月と5月の温度差経年変化

℃)で、9月に最高(22.4℃)となる。へい死が始まったとみられる1982年夏の水温推移には平年に比べると特異な点が認められる。すなわち、7月に平年を3℃も上回っていた水温が、8月になると7月より4.2℃も水温が低下して、それまでとは逆に平年を4.9℃も下回ってしまった。7月より8月のほうが水温が高いのが普通であって、このように8月が7月より低水温であったことは過去に例がない。このような場合を統計的に計算すると100年に1度あるかないかの現象である(図14)。1983年も異常ともいえる水温変化が認められ、5月の12.6℃から9月の25.6℃まで13℃もの大幅な水温上昇があった。このようなことも統計的には50~100年に一度の特異なことである(図15)。1984年7月の水温は11.3℃を記録し、平年の最低水温(12.8℃)をも下回るといふ過去に例のない異常な低水温となった。これは親潮系水の犬吠埼以南への南下が原因であり、1984年は相模湾まで南下したといわれている。

このような異常な水温環境はサトウガイの生理に大きな影響を及ぼしたと想像される。サトウガイの鰓の運動性は水温に大きく影響されるから、摂餌能力や活力に影響を受けたであろう。サトウガイの産卵期は水温が20℃に達する7~8月である。生殖腺が肥大すると肥満度が增加する。図16に肥満度の経月変化を示したが、5月から増大しはじめ7月に最大を示す。1984年7月の肥満度の値が小さく、生殖腺の発達が例年に比べて遅れたという現象は、春から夏にかけて著しく低水温で経過したことによると考えられる。

さて、サトウガイが性成熟に達するのは1歳の夏であ

る。成熟年齢以上の成貝はどの年齢の貝も1982年8月から1983年5月にかけてへい死したが、未成熟な稚貝はへい死しなかった。その後初めて成熟年齢に達した貝が1983年12月にへい死した。1983年春から夏の異常な水温上昇は稚貝の成長と性成熟に大きい影響を与えたことが想像される。これらの現象は性成熟および水温環境が今回のへい死になんらかの関係があることを示すものと考えられる。

一方サトウガイ漁場に生息する他の貝類（ベンケイ

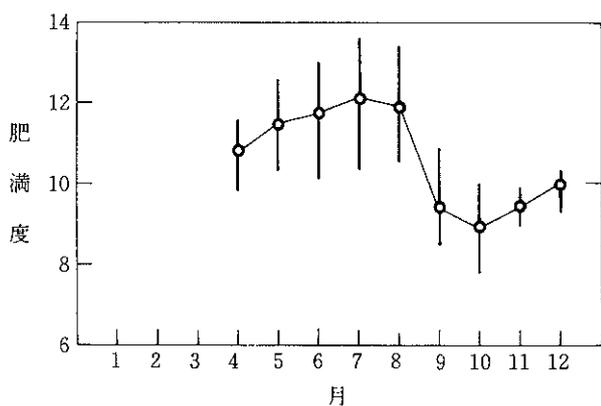


図16. サトウガイの肥満度の経月変化
(1976~82年平均, 範囲)

ガイ、ホッキガイ、ツメタガイ、ミクリガイ、バイ)にはへい死現象はみられなかった。ホッキガイは通常鹿島灘以北に分布し、ほかは北海道、東北以南に分布するものである。これに対してサトウガイは鹿島灘以南に分布する暖海種で、九十九里浜は分布の北限に近い。したがって他の貝類より低水温の影響を大きく受けたものと考えられる。

九十九里浜北部の犬吠埼南東沖10海里の水深10m層の水温変動と九十九里浜沿岸におけるサトウガイの漁獲量を対比したのが図17である。年間における最低水温が低いときに漁獲量が少なく、高いときに多くなる長期的な傾向がみられる。

5. 結論

異常な水温環境が今回のサトウガイ大量へい死の主な要因であると考えられる。1982年8月から1983年5月のへい死は低水温が、1983年12月のへい死は高水温がそれぞれ影響したと考えられるが、どちらの場合も異常な水温環境のもとで貝の性成熟が関連していると推察される。

今後、水温とサトウガイの性成熟およびへい死の関連性を実験的に研究する必要がある。

報告を終えるにあたり、調査に協力していただいた

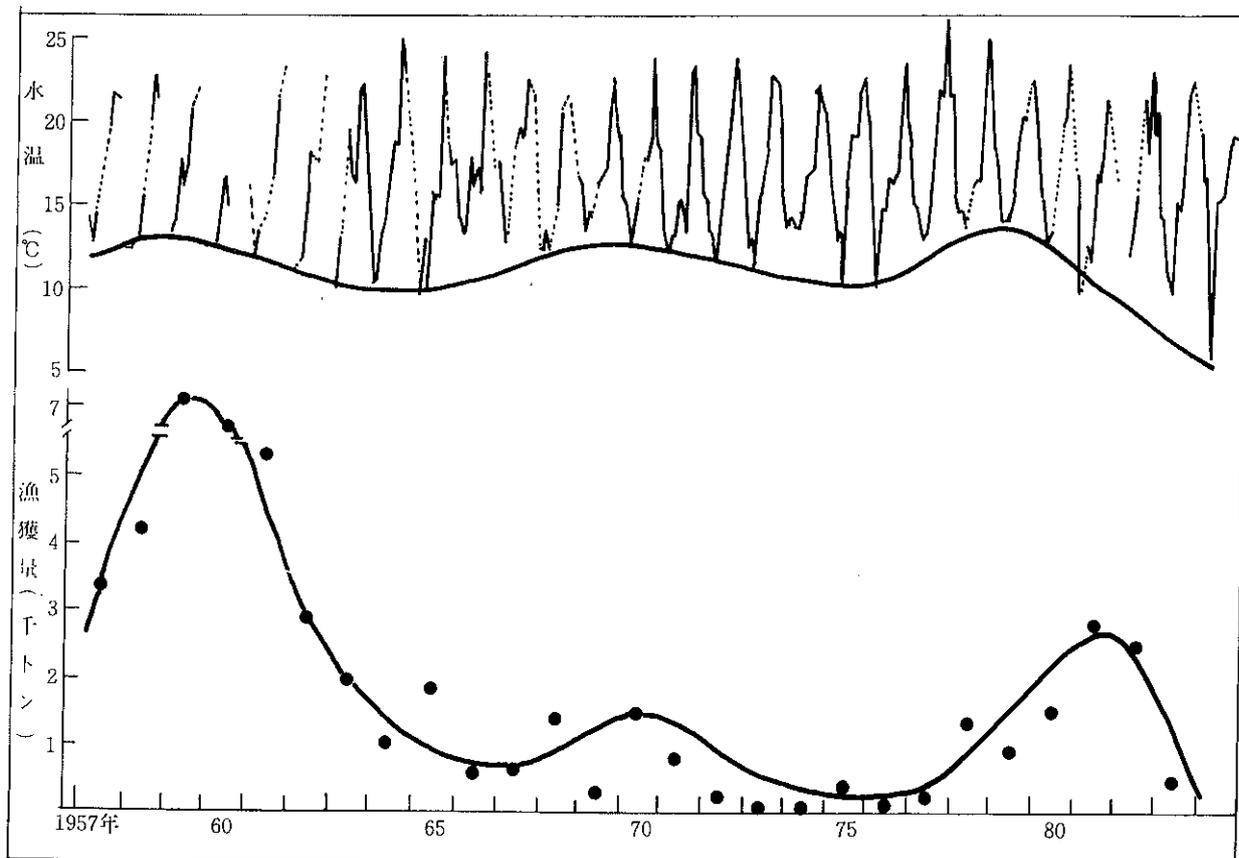


図17. サトウガイ漁獲量と水温の経年変化 (曲線はフリーハンドによる)

九十九里水産会をはじめ、関係漁業組合長および組合員のかたがたにお礼申し上げる。サトウガイの生態についてご教授いただいた東京水産大学教授 奥谷喬司博士、同じく寄生虫学的な所見についてご懇切な教授をいただいた佐野徳夫博士に厚くお礼を申し上げます。さらに、茨城県水産試験場 真岡東雄、児玉正碩の両氏には貴重な資料を提供していただき、水産業改良普及員の青木利三郎、塩野 健^{*}、式田 正彦の各氏には調査の協力を得た。深く感謝します。

要 約

1982年4月から1985年3月にかけて九十九里浜沿岸のサトウガイ漁場全域でサトウガイ *Scapharca satowi* が大量へい死した。その原因を明らかにするために、生物調査と環境調査、細菌検査および温度耐性実験を行った。

1983年5月のへい死では成員の半数がへい死していたが稚貝はへい死していなかった。1983年12月のへい死では成長した稚貝がへい死した。1982年から1984年の九十九里浜沿岸は夏の水温が異常に低かったり、春から夏にかけて水温の異常な上昇がみられるなど特異な水温環境であった。

寿命による死亡や濃密繁殖による影響、外傷や細菌感染による病気、寄生虫による死亡、水質汚濁や底質悪化などはへい死原因とは考えられなかった。

へい死の主な要因は異常な水温環境であると推定された。また成熟年齢に達した成員だけがへい死したことから、異常な水温環境のもとで貝の性成熟がへい死に関連していたと推定された。

文 献

- 1) 気象庁編(1976): 海洋観測指針。(財)日本気象協会。
- 2) 松江吉行編(1980): 水質汚濁調査指針。恒星社厚生閣。
- 3) 土質工学会編(1977): 土質試験法。
- 4) 坂崎利一訳(1974): 医学細菌同定の手引。近代出版。
- 5) 水産庁(1979): 魚類等防疫指針Ⅲ。
- 6) Carl J. Sindermann (1970): Principal diseases of Marine Fish and Shellfish. Academic Press.
- 7) W. Hodgkiss and J. M. Shewan (1968): Problems and Modern Principles in Taxonomy of Marine Bacteria, Advances in Microbiology of the Sea. Vol 1. Academic Press.
- 8) 清水 潮(1977): 海洋細菌の分類と生態。海洋学講座11, 東京大学出版会。
- 9) 海老原天生・細谷岑生・村田靖彦・川名順之 (1972): 九十九里浅海漁場環境調査。千葉県内湾水産試験場調査報告書, 第13号, 31-61。
- 10) 花岡 資・島津忠秀(1949): 東京湾産バカガイの形態変異と成長。日本水産学会誌, 15(7), 311-317。
- 11) 真岡東雄・児玉正碩・石川広毅・安川隆宏・部伸一・草野和之(1982): コタマガイの砂浜への大量打上げ現象について。茨城県水産試験場研究報告, 第24号, 117-132。
- 12) 沼知健一・大泉重一・佐藤 茂・今井丈夫(1965): 松島湾におけるカキの大量へい死に関する研究Ⅲ。グラム陽性菌によるカキの病変と出現頻度。東北区水産研究所研究報告第25号, 39-48。
- 13) 竹内卓三・松原孝之・広川泰子・築山 明(1955): 広島湾産マガキの異常へい死に関する細菌学的研究-I。日本水産学会誌, 20(12), 1066-1070。
- 14) 竹内卓三・松原孝之・広川泰子・築山 明(1956): 広島湾産マガキの異常へい死に関する細菌学的研究-II。日本水産学会誌, 21(12), 1199-1203。
- 15) 竹内卓三・松原孝之・広川泰子・松尾吉恭(1957): 広島湾産マガキの異常へい死に関する細菌学的研究-III。日本水産学会誌, 23(1), 19-23。
- 16) 小竹子之助・宮脇安能(1954): アコヤガイ増殖に関する研究-II。細菌によるアコヤガイ異常へい死について-I。日本水産学会誌, 19(9), 952-956。
- 17) 塩垣 優・青山宝蔵(1975): アカガイ養殖試験。青森県水産試験場事業概報, 4号, 66-67。
- 18) 石田雅俊・林 功・鶴島治市(1977): アカガイの網生す式養殖試験。福岡豊前水産試験場研究業務報告, 昭和55年度, 49-52。
- 19) 高見東洋・岩本哲二・中村達夫・井上 泰(1978): 山口県におけるアカガイの増養殖の現状と問題点。栽培技研, 7(1), 55-56。
- 20) 中西雅幸(1981): アカガイの成長におよぼす水温、塩分、溶存酸素濃度の影響について。京都府海洋センター研究報告, 5号, 23-28。
- 21) 梅沢 敏・野上和彦・福原 修(1984): アカガイ

Scapharca broughtonii (Schrenck) のカゴ養殖実験によるへい死と環境要因の関連について. 南西海区水産研究所研究報告, 第16号, 231-244.

22) 楊 城基・川辺正樹・平 啓介(1987): 常磐・房

総半島沖合での親潮系水の南下現象. 日本北方沿岸域および北太平洋亜寒帯域の海流・海況変動シンポジウム要旨.

付表1 サトウガイ漁場水質分析結果(1983.5.14~15)

| 調査点 | 採水日時 | 天候 雲量 | 風向 風力 | 水深 (m) | 採水層 (m) | 水温 (°C) | 塩分 | 溶存酸素 | | 栄養塩 (mg/l) | | | | COD (mg/l) | S S (mg/l) |
|-----|---------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-------|--------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | | DO (mg/l) | 飽和度 (%) | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | PO ₄ -P | | |
| 1 | 5.14 9:15 | c 7 | S 2 | 18 | 0 | 15.4 | 33.72 | 12.0 | 143.8 | 0.04 | <0.001 | 0.013 | 0.003 | 2.97 | 8.1 |
| | | | | | 18 | 13.4 | 33.84 | 8.1 | 94.1 | <0.01 | <0.001 | 0.007 | 0.003 | 2.48 | 9.6 |
| 2 | 5.14 10:15 | bc 6 | S 2 | 14 | 0 | 15.5 | 33.54 | 10.1 | 120.8 | <0.01 | <0.001 | 0.005 | 0.001 | 2.27 | 7.8 |
| | | | | | 14 | 13.8 | 33.78 | 8.3 | 96.3 | <0.01 | <0.001 | 0.007 | 0.005 | 1.99 | 14.2 |
| 3 | 5.14 10:48 | bc 6 | S 2 | 12 | 0 | 15.7 | 33.38 | 10.0 | 120.0 | <0.01 | <0.001 | 0.004 | 0.002 | 2.45 | 8.0 |
| | | | | | 12 | 14.4 | 33.78 | 9.0 | 106.4 | <0.01 | <0.001 | 0.004 | 0.004 | 2.45 | 29.3 |
| 4 | 5.14 12:25 | bc 6 | S 3 | 12 | 0 | 15.7 | 33.71 | 11.1 | 134.3 | 0.02 | <0.001 | 0.007 | 0.002 | 2.28 | 8.7 |
| | | | | | 12 | 13.9 | 33.80 | 9.8 | 114.0 | <0.01 | <0.001 | 0.005 | 0.006 | 1.81 | 45.3 |
| 5 | 5.15 9:10 | b | E 2 | 15 | 0 | 15.1 | 33.82 | 9.9 | 118.1 | 0.02 | <0.001 | 0.007 | 0.002 | 2.45 | 10.5 |
| | | | | | 15 | 14.4 | 33.82 | 9.8 | 115.8 | <0.01 | <0.001 | 0.005 | 0.003 | 2.14 | 10.8 |
| 6 | 5.15 9:55 | b | E 2 | 18 | 0 | 15.3 | 33.80 | 9.8 | 117.6 | 0.02 | <0.001 | 0.005 | 0.001 | 2.45 | 9.8 |
| | | | | | 18 | 12.5 | 33.81 | 8.4 | 95.5 | 0.01 | <0.001 | 0.021 | 0.011 | 1.73 | 13.3 |
| 7 | 5.15 10:25 | b | E 2 | 17 | 0 | 15.3 | 33.82 | 12.8 | 153.0 | 0.02 | <0.001 | 0.004 | 0.002 | 2.04 | 7.1 |
| | | | | | 17 | 13.6 | 33.82 | 8.6 | 99.4 | <0.01 | <0.001 | 0.007 | 0.011 | 2.07 | 8.7 |
| 8 | 5.15 12:45 | b | E 2 | 17 | 0 | 17.0 | 33.85 | 9.9 | 122.0 | 0.03 | <0.001 | 0.007 | 0.002 | 2.14 | 8.9 |
| | | | | | 17 | 14.1 | 33.88 | 8.2 | 96.4 | <0.01 | <0.001 | 0.007 | 0.010 | 1.96 | 6.3 |

付表2 サトウガイ漁場底質分析結果(1983.5.14~15)

| 調査点 | 水深 | 乾泥率 (%) | 強熱減量 (%) | 全硫化物 (mg/g 乾泥) | COD (mg/g 乾泥) | 粒 度 組 成 (%) | | | | | | | |
|-------------|----|------------|-------------|-------------------|------------------|-------------|-------|-------|------|------|------|-----|------|
| | | | | | | 泥分 | 0.074 | 0.105 | 0.25 | 0.42 | 0.84 | 2.0 | 4.76 |
| 1 | 18 | 77.1 | 1.69 | <0.001 | 1.42 | 6.4 | 9.5 | 83.9 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 14 | 75.7 | 1.65 | <0.001 | 1.59 | 5.3 | 7.1 | 88.1 | 0.3 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 12 | 76.2 | 1.71 | 0.007 | 1.77 | 14.7 | 12.4 | 69.9 | 1.9 | 1.1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 12 | 77.0 | 1.56 | <0.001 | 1.18 | 7.2 | 7.9 | 83.5 | 0.9 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 15 | 75.3 | 1.59 | 0.002 | 1.51 | 9.5 | 16.0 | 73.0 | 0.9 | 0.6 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 18 | 77.2 | 1.43 | 0.002 | 1.42 | 4.2 | 5.3 | 86.1 | 3.1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 17 | 78.3 | 1.85 | 0.006 | 1.65 | 6.3 | 9.1 | 82.7 | 0.9 | 1.0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 17 | 75.8 | 2.11 | 0.006 | 1.62 | 6.9 | 8.4 | 84.0 | 0.4 | 0.3 | 0 | 0 | 0 |
| 貝拾船による採泥 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 77.1 | 1.36 | 0.007 | 1.76 | 4.8 | 10.3 | 84.3 | 0.3 | 0.3 | 0 | 0 | 0 |
| | | 75.0 | 1.52 | 0.004 | 2.11 | 6.8 | 11.0 | 81.4 | 0.6 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 71.2 | 1.39 | 0.003 | 2.14 | 11.6 | 10.7 | 76.0 | 0.8 | 0.9 | 0 | 0 | 0 |
| | | 76.1 | 1.62 | 0.002 | 1.88 | 4.5 | 4.8 | 90.1 | 0.4 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 77.6 | 1.74 | 0.002 | 2.62 | 7.4 | 7.7 | 78.7 | 2.8 | 3.4 | 0 | 0 | 0 |
| | | 74.9 | 1.29 | 0.001 | 6.62 | 5.4 | 12.1 | 81.9 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 昭和57年度水試調査点 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 19 | 72.6 | 1.58 | <0.001 | 1.60 | 9.2 | 14.5 | 77.2 | 1.1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 18 | 76.8 | 1.42 | <0.001 | 0.94 | 7.7 | 11.6 | 80.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 15 | 76.0 | 1.18 | <0.001 | 0.37 | 7.6 | 10.3 | 78.9 | 1.9 | 1.3 | 0 | 0 | 0 |

付表3 サトウガイ漁場水質分析結果(1983.12.28)

| 調査点 | 採水日時 | 天候 雲量 | 風向 風力 | 水深 (m) | 採水層 (m) | 水温 (℃) | 塩分 | 溶存酸素 | | 栄養塩 | | | | COD (mg/ℓ) |
|-----|-------|----------|----------|-----------|------------|-----------|-------|--------------|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| | | | | | | | | DO (mg/ℓ) | 飽和度 (%) | NH ₄ -N (mg/ℓ) | NO ₂ -N (mg/ℓ) | NO ₃ -N (mg/ℓ) | PO ₄ -P (mg/ℓ) | |
| 1 | 12.28 | c 7 | E 3 | 24 | 0 | 15.1 | 34.74 | 8.85 | 106.3 | 0.013 | 0.006 | 0.069 | 0.011 | 1.10 |
| | 24 | | | | 15.2 | 34.54 | 7.99 | 95.9 | <0.005 | 0.006 | 0.066 | 0.010 | 1.17 | |
| 2 | 12.18 | bc 3 | E 3 | 17 | 0 | 14.9 | 34.57 | 8.06 | 96.3 | 0.008 | 0.005 | 0.061 | 0.010 | 1.10 |
| | 17 | | | | 13.4 | 34.64 | 7.99 | 92.9 | 0.009 | 0.004 | 0.068 | 0.011 | 1.10 | |
| 3 | 12.28 | bc 3 | SE 3 | 13 | 0 | 14.5 | 34.55 | 7.63 | 90.4 | 0.034 | 0.005 | 0.061 | 0.009 | 1.14 |
| | 13 | | | | 14.2 | 34.54 | 7.84 | 92.4 | <0.005 | 0.005 | 0.061 | 0.010 | 1.23 | |
| 4 | 12.28 | c 6 | SE 3 | 13 | 0 | 15.0 | 34.60 | 7.83 | 93.7 | 0.009 | 0.005 | 0.062 | 0.010 | 1.23 |
| | 13 | | | | 13.5 | 34.41 | 7.96 | 92.4 | 0.013 | 0.005 | 0.062 | 0.009 | 1.10 | |
| 5 | 12.28 | c 10 | SE 3 | 16 | 0 | 13.8 | 34.40 | 8.05 | 94.3 | 0.019 | 0.005 | 0.062 | 0.007 | 1.17 |
| | 16 | | | | 12.9 | 34.23 | 8.25 | 94.9 | 0.008 | 0.004 | 0.062 | 0.010 | 1.12 | |
| 6 | 12.28 | bc 3 | E 3 | 15 | 0 | 14.9 | 33.06 | 10.05 | 118.9 | 0.021 | 0.005 | 0.061 | 0.009 | 1.21 |
| | 15 | | | | 13.4 | 34.59 | 8.10 | 94.0 | 0.013 | 0.005 | 0.062 | 0.010 | 1.21 | |
| 7 | 12.28 | c 6 | E 3 | 10 | 0 | 13.4 | 34.60 | 9.04 | 105.2 | 0.028 | 0.005 | 0.069 | 0.010 | 1.21 |
| | 10 | | | | 12.3 | 34.53 | 9.54 | 108.7 | 0.011 | 0.005 | 0.066 | 0.009 | 1.21 | |

付表4 サトウガイ漁場底質分析結果(1983.12.28)

| 調査点 | 水深 | 乾泥率 (%) | 強熱減量 (%) | 全硫化物 (mg/g 乾泥) | COD (mg/乾泥) | 粒 度 組 成 (%) | | | | | | | | 泥温 (℃) | 備 考 |
|-----|----|------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|-------|-------|------|------|------|-----|------|-----------|---------------------------|
| | | | | | | 泥分 | 0.074 | 0.105 | 0.25 | 0.42 | 0.84 | 2.0 | 4.76 | | |
| 1 | 24 | 74.2 | 1.8 | 0.005 | 1.19 | 9.97 | 12.04 | 75.91 | 1.05 | 1.03 | 0 | 0 | 0 | 13.8 | ハスノハ カシパン6個体 |
| 2 | 17 | 74.9 | 1.1 | 0.001 未満 | 0.97 | 9.28 | 15.34 | 75.14 | 0.12 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 13.3 | ミノガイ(殻長2~3cm) 多く生息 |
| 3 | 13 | 76.9 | 1.2 | 0.001 未満 | 0.88 | 6.73 | 12.17 | 80.36 | 0.62 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 13.0 | サトウガイ稚貝(殻長約2cm) 生存。 |
| 4 | 13 | 73.7 | 1.2 | 0.030 | 0.94 | 7.15 | 13.51 | 78.08 | 0.76 | 0.50 | 0 | 0 | 0 | 12.3 | バンケイガイ稚貝(殻長約7mm) 1個生存。 |
| 5 | 16 | 79.8 | 1.4 | 0.001 未満 | 0.56 | 6.69 | 9.74 | 70.34 | 0.06 | 1.27 | 0 | 0 | 0 | 12.7 | ミノガイ多く生息 |
| 6 | 15 | 76.1 | 1.2 | 0.001 未満 | 1.05 | 3.48 | 16.05 | 70.11 | 0.24 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 13.3 | 〃 |
| 7 | 10 | 80.7 | 2.1 | 0.001 未満 | 0.95 | 4.09 | 5.47 | 90.00 | 0.34 | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 12.0 | 〃 |

付表5 生貝の中腸腺からの細菌分離
(1983年5月14日採集分)

| St番号-サンプル番号 | BTBティーボール寒天 | BHI寒天 |
|-------------|-------------|-------|
| St. 1-1 | — | — |
| 1-2 | — | — |
| 2-2 | — | — |
| 2-3 | — | — |
| 3-1 | — | — |
| 4-1(Y-4) | — | — |
| 4-2(Y-4) | — | — |
| 4-3(Y-4) | — | — |
| 4-4(Y-4) | — | — |
| 4-1(Y-5) | — | — |
| 4-2(Y-5) | — | — |
| 4-3(Y-5) | — | — |
| 4-4(Y-5) | — | — |
| 4-5(Y-5) | — | — |

—:陰性

付表6 生貝の中腸腺からの細菌分離
(1983年5月11日採集分)

| サンプル番号 | BTBティーボール寒天 | BHI寒天 |
|---------|-------------|-------|
| No. 4-1 | — | — |
| 4-2 | — | — |
| 4-3 | — | — |
| 4-4 | — | — |
| 4-5 | — | — |
| 5-1 | — | — |
| 5-2 | — | — |
| 5-3 | — | — |
| 5-4 | — | — |
| 5-5 | — | — |
| 9-1 | — | — |
| 9-2 | — | — |
| 9-3 | — | — |
| 9-4 | — | — |
| 9-5 | — | — |

—:陰性

付表7 生貝の体表から分離された細菌の発育状態
(1983年5月14日採集分)

| St番号-サンプル番号 | BTBティーポール寒天 | BHI寒天 |
|-------------|-------------|-------|
| St. 1-1 | | + |
| 1-2 | | + |
| 2-1 | | ++ |
| 2-2 | | ++ |
| 2-3 | ++ | ++ |
| 3-1 | ++ | + |
| 4-1 (Y-4) | | + |
| 4-2 (Y-4) | | + |
| 4-3 (Y-4) | | + |
| 4-4 (Y-4) | | + |
| 4-5 (Y-4) | | + |
| 4-1 (Y-5) | | + |
| 4-2 (Y-5) | | + |
| 4-3 (Y-5) | | ++ |
| 4-4 (Y-5) | | + |
| 4-5 (Y-5) | | + |

+:少ない ++:やや多い +++:著しく多い

付表8 生貝の体表から分離された細菌の発育状態
(1983年5月11日採集分)

| サンプル番号 | BTBティーポール寒天 | BHI寒天 |
|---------|-------------|-------|
| No. 1-1 | + | + |
| 1-2 | + | + |
| 1-3 | + | + |
| 1-4 | + | + |
| 1-5 | + | + |
| 2-1 | + | + |
| 2-2 | + | + |
| 2-3 | + | + |
| 2-4 | + | + |
| 2-5 | + | + |
| 3-1 | + | + |
| 3-2 | + | + |
| 3-3 | + | + |
| 3-4 | + | + |
| 3-5 | + | + |
| 4-1 | + | + |
| 4-2 | + | + |
| 4-3 | + | + |
| 4-4 | + | + |
| 4-5 | + | + |
| 5-1 | + | + |
| 5-2 | + | + |
| 5-3 | + | + |
| 5-4 | + | + |
| 5-5 | + | + |
| 5-1 | + | + |
| 7-2 | + | + |
| 7-3 | + | + |
| 7-4 | + | + |
| 7-5 | + | + |
| 9-1 | + | + |
| 9-2 | + | + |
| 9-3 | + | + |
| 9-4 | + | + |
| 9-5 | + | + |

+:少ない ++:やや多い +++:著しく多い

付表9 へい死貝の体表から分離された細菌の発育状態
(1983年5月1日採集分)

| St番号-サンプル番号 | BTBティーポール寒天 | BHI寒天 |
|-------------|-------------|-------|
| St 1-1 | +++ | ++ |
| 1-2 | + | + |
| 1-3 | ++ | ++ |
| 1-4 | +++ | ++ |
| 1-5 | +++ | ++ |
| 3 | +++ | ++ |
| 4 (Y-4) | ++ | ++ |
| 4-1 (Y-5) | ++ | + |
| 4-2 (Y-5) | ++ | ++ |
| 4-3 (Y-5) | ++ | ++ |
| 4-4 (Y-5) | +++ | ++ |

+:少ない ++:やや多い +++:著しく多い

付表10 へい死貝の体表から分離された細菌の発育状態
(1983年5月11日採集分)

| サンプル番号 | BTBティーポール寒天 | BHI寒天 |
|---------|-------------|-------|
| No. 1-1 | +++ | ++ |
| 1-2 | +++ | ++ |
| 1-3 | +++ | ++ |
| 1-4 | +++ | ++ |
| 1-5 | +++ | ++ |
| 2-1 | ++ | ++ |
| 2-2 | + | + |
| 2-3 | + | ++ |
| 2-4 | + | + |
| 2-5 | + | + |
| 3-1 | + | + |
| 3-2 | + | + |
| 3-3 | + | + |
| 3-4 | + | + |
| 4-1 | +++ | ++ |
| 4-2 | +++ | ++ |
| 4-3 | +++ | ++ |
| 4-4 | ++ | +++ |
| 4-5 | +++ | +++ |
| 5-1 | +++ | +++ |
| 5-2 | +++ | +++ |
| 5-3 | ++ | +++ |
| 5-4 | +++ | +++ |
| 5-5 | ++ | +++ |
| 6-1 | +++ | ++ |
| 6-2 | +++ | ++ |
| 6-3 | ++ | ++ |
| 6-4 | ++ | ++ |
| 6-5 | +++ | ++ |

+:少ない ++:やや多い +++:著しく多い

付表11 体表から分離された細菌の代表株(181株)の性状

| | グラム | 形 | 運動性 | BTBティールボール | 3%NaCl加BHI | 白糖分解 | ブドウ糖 | 空気中での発育 |
|---------|-----|---|-----|------------|------------|------|------|---------|
| A (35株) | — | R | + | + | + | + | + | + |
| B (29株) | — | R | + | + | + | — | + | + |
| C (23株) | — | R | + | + | + | + | + | + |
| D (36株) | — | R | + | + | + | — | + | + |
| E (12株) | — | R | + | + | + | + | + | + |
| F (21株) | — | R | + | + | + | — | + | + |
| G (10株) | — | R | + | + | + | + | + | + |
| H (15株) | — | R | + | + | + | — | + | + |

付表11 (続)

| | 嫌気性条件下での発育 | カタラーゼ | オキシダーゼ | ガス産生 | 硫化水素産生 | OF試験 |
|---|------------|-------|--------|------|--------|------|
| A | + | + | + | — | — | F |
| B | + | + | + | — | — | F |
| C | + | + | + | — | — | F |
| D | + | + | + | — | — | F |
| E | + | + | + | — | — | F |
| F | + | + | + | — | — | F |
| G | + | + | + | — | — | F |
| H | + | + | + | — | — | F |

A～B：へい死貝(1983年5月11日採集分)

C～D：生貝(1983年5月11日採集分)

E～F：へい死貝(1983年5月14日採集分)

G～H：生貝(1983年5月14日採集分)