

1. 地形的特質と水質

本節では熊野灘に面する小湾の代表として英虞湾の環境状態と時代的な変遷について述べる。まず、熊野灘の海岸線地形と英虞湾の海底地形を図 2-2-33 に示す。外洋である熊野灘については伊勢湾に見られるような人間起源の大きな環境変化は生じていない。黒潮の蛇行パターンにより、熊野灘沿岸部に冷水塊が発生したり、漁場が移動したりすることで水産業に影響を与えているが、これは自然起源の現象である。伊勢湾との関連で言えば、伊勢湾からの流出水は熊野灘沿岸に沿って西進する特性があり、伊勢湾の汚染が熊野灘沿岸の水質と底質に一定の影響を与えていると推定されるが、詳しいことはわかっていない。

熊野灘沿岸部の小湾とその付近の海域については、全国各地で見られている磯焼けとともに水産養殖に伴う環境問題に悩まされてきた。磯焼けは Sea Desert (海の砂漠化) と呼ばれ、カジメやアラメなどの海藻が消失する現象で、海藻を餌や棲家とする貝類と磯魚などが生存の場を失い消滅する。表 2-2-6 に熊野灘沿岸部における磯焼けによる藻場の消失面積を示す。磯焼けは水産業に深刻な打撃を与え、生態系保全の観点でも対策が急がれているが、その原因はよくわかっていない。温暖化による水温上昇、水質汚濁、環境ホルモン、植食生物(アイゴなどの魚類や貝類)による海藻の食害などが疑われている。

養殖関連の環境問題としては、五ヶ所湾では魚類養殖、英虞湾では真珠養殖の影響とみられる赤潮や貧酸素水塊が発生し、湾の環境を悪化させるとともに、水産養殖産業自身の持続性をも危うくさせてきた。これらの小湾の集水域は自然環境が豊かで林地も多く、前述の地形的な特性から急峻で面積も狭い。そのため、集水域から海域に流出する栄養量も少ない。また、海水交換により清浄な外洋水が導入される事から、元来は貧栄養な環境にあったと考えられる。後述するように、養殖が環境悪化の唯一の原因とは考えられないが、養殖に伴う過剰な摂餌の残差や魚糞・貝糞が海底に堆積し、さらに過密養殖が悪化を加速したと考えられている。

英虞湾の地形を図 2-2-33 の右側に示すが、湾口は狭く、シルと呼ばれる水深 14m 前後の浅瀬が形成されている。湾内の平均水深は 10.5m で最大水深は 37m である。リアス式の海岸線は非常に複雑で、湾内に島嶼が存在する。このような地形のために、湾奥の海水交換はあまり良くない。英虞湾の流動や海水交換に関しては、詳しい記述が千葉ら(2008b)や三重県(2008)にある。

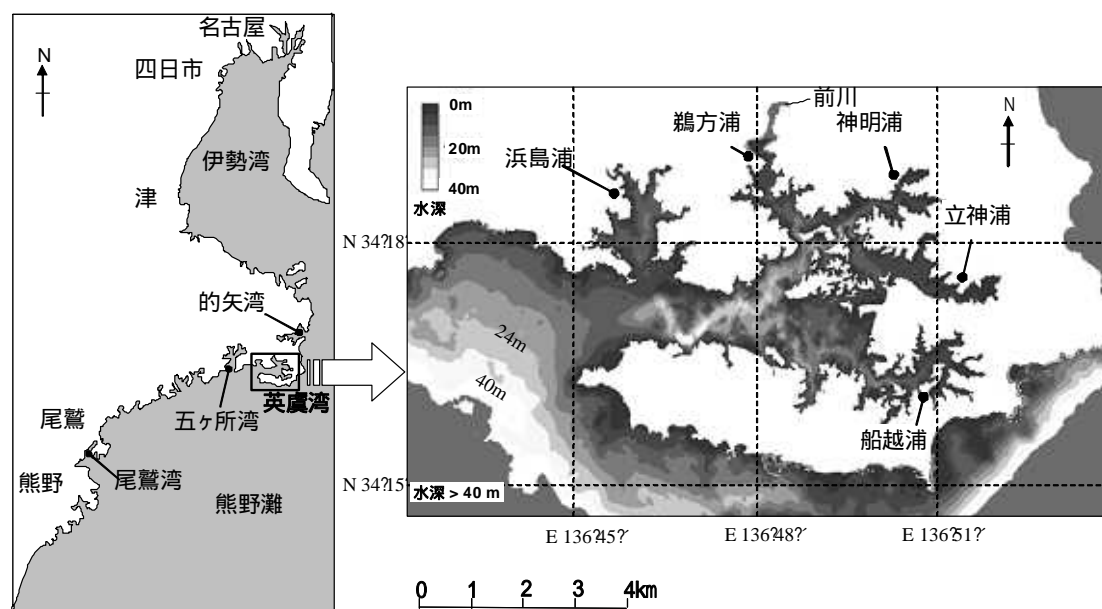
英虞湾の流域人口は 1960 年代に 39,000 人前後であり、1970 年代前半から上昇を始め、1980 年代に 39,500 人前後となり、その後は減少に転じ、現在は 36,500 人前後(1960 年代基準で 7%減)となっている。流域の総人口は減少傾向にあるが、周辺町から湾奥

にある市街化の進んだ阿児町への人口の移動は顕著で、阿児町の人口は 1960 年代の 11,500 人前後から現在は 16,000 人前後まで増加してきた（1960 年代基準で 39%増）。また、1970 年に上水道用のダム（神路ダム）からの給水が開始され、それに伴いし尿処理が汲み取り式（系外除去）から浄化槽（系内処理）へと徐々に変化した。また同時期に近鉄志摩線が開通し、観光産業の進出が本格化した。

英虞湾の場合、元来の閉鎖的な地形特性に加えて、真珠養殖による海域への負荷の増加があり、さらに集水域での人間活動による負荷の増加、具体的には湾奥への人口移動、浄化槽普及による系内排水負荷の増加、観光産業からの排水負荷の増加などがあり(高橋ら、2008)、これらの複合的な作用で海域環境は悪化に向かったと推定されている(千葉ら、2008a) (三重県、2008)。

なお、英虞湾は閉鎖的で、特に湾奥の海水交換率は低い、伊勢湾と比べれば水平規模は非常に小さく、湾奥であっても外洋の影響は相対的に大きい。そのために湾内海水の COD や栄養塩濃度が過大になることは少ないが、沈降有機物による底質悪化は激しく、その影響とみられる貧酸素水塊が暖候期に頻繁に発生するようになった。また環境悪化に伴い水生生物に影響を与える有害プランクトンが発生し(増田ら、2008)これが環境悪化に拍車をかけている。

図 33 三重県の海岸線、及び、英虞湾の海底地形と地名

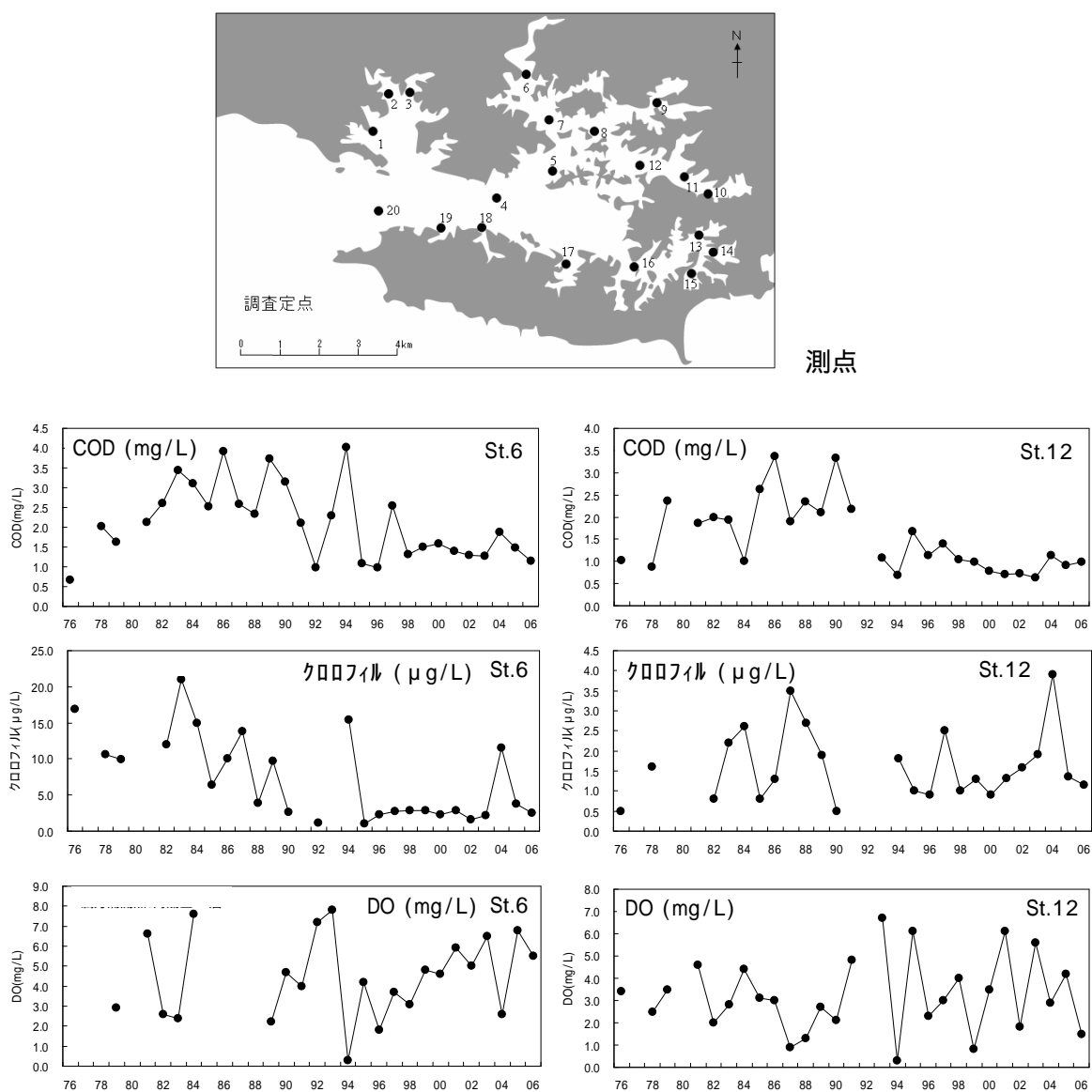


三重県水産研究所は英虞湾の水質と底質の定点観測を 1976 年頃から実施してきた。図 2-2-34 は 1 年に 2 回、夏季と冬季に行われている 20 測点観測のデータの一部であり、湾奥 2 測点の水質の経年変化を示している(原口ら、2008)(三重県、2008)。データは夏季（8 月末頃）のある日時の瞬間観測値であり、そのため年度によるバラツキが多

い。測点 6 は鵜方浦にあり、同浦は人口が多く市街化の進んだ鵜方町を流れる前川の河口部にある。測点 12 は英虞湾の中で最も水質や底質の状態が悪い立神浦にある。

表層水の COD については、両測点について 1980 年代後半に極大となり、その後は減少傾向にあると観察される。植物プランクトンの指標であるクロロフィルについては、測点 6 では 1970 年代後半から減少し、1990 年前半からはかなり低いレベルで推移している。測点 12 のクロロフィルは全体として測点 6 よりもかなり濃度が低く、1970 年代から現在まであまり変化がない。

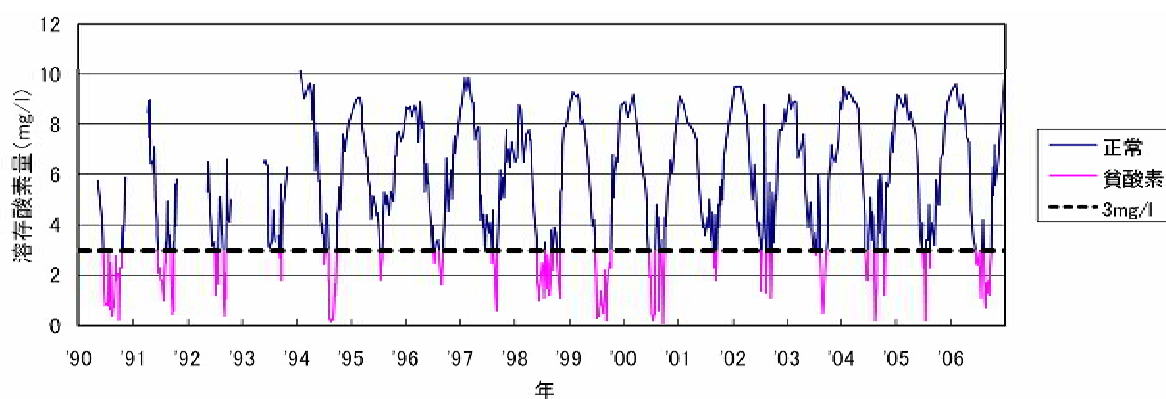
図34 英虞湾の水質推移 (三重県、2008) 左列：測点6 (鵜方浦) 右列：測点12 (立神浦)
 上段：表層のCOD(mg/L)、中段：表層のクロロフィル (μg/L) 下段：底層の溶存酸素 (mg/L)
 溶存酸素濃度の観測は1989年までは海底上0.5m層、1990年以降は海底上1m層



溶存酸素については、計測水深が1990年から変更になったため、データの解釈には注意が必要である。1990年以前の計測水深は海底上0.5mで、それ以降は海底上1.0mになった。海水中の溶存酸素は海底堆積物が主に消費するため、一般に海底に近づくほど濃度は低下する。そのため1990年以降に溶存酸素濃度が上昇している場合には、その効果を考慮する必要がある。そのような視点で観察しても、測点6については、1990年代後半から明らかな溶存酸素濃度の上昇があると判断される。測点12については、1970年代後半から溶存酸素濃度が低下し、1990年頃に最低のレベルに達し、その後は一進一退の状態にあるように見える。

水産研究所は1990年頃から観測頻度を上げた定点観測を始め、この観測では10測点について暖候期には1週間に一度、寒候期は2週間から1ヶ月に一度の頻度でデータが取得されている。図2-2-35は測点12の海底上1mの溶存酸素の推移をまとめたものである(原口ら、2008)(三重県、2008)。このデータから、1990年以降の湾奥の貧酸素素状況は、年度により差があるものの、全体としてあまり変化していないと判断される。

図35 湾奥(測点12)の海底上1m層の溶存酸素濃度の経年変化(三重県、2008)



このように英虞湾の水質は、CODに関しては1980年代後半から現在までにある程度の改善があったが、貧酸素水塊の発生状況については、悪化後から現在まであまり改善されていないと結論される。なお、後述するが、真珠養殖量は1960年代中頃をピークに大幅に減少してきており、一方、湾奥の海底堆積物表層のCODは2000年頃まで単調に増加してきた。水質と底質の汚濁状態に見られる時間変動パターンの差異、またそれらと真珠養殖量の時間的変動パターンの差異が、英虞湾の環境問題の特徴的な部分である。これらを追求するために三重県地域結集型共同研究事業が2004年から2008年まで実施され、数多くの観測や研究が行われた。本節で数多く引用する英虞湾物質循環調査研究報告書(三重県、2008)と雑誌「海洋と生物」の英虞湾特集号(千葉ら、2008c)は、その研究事業の成果である。

2. 底質

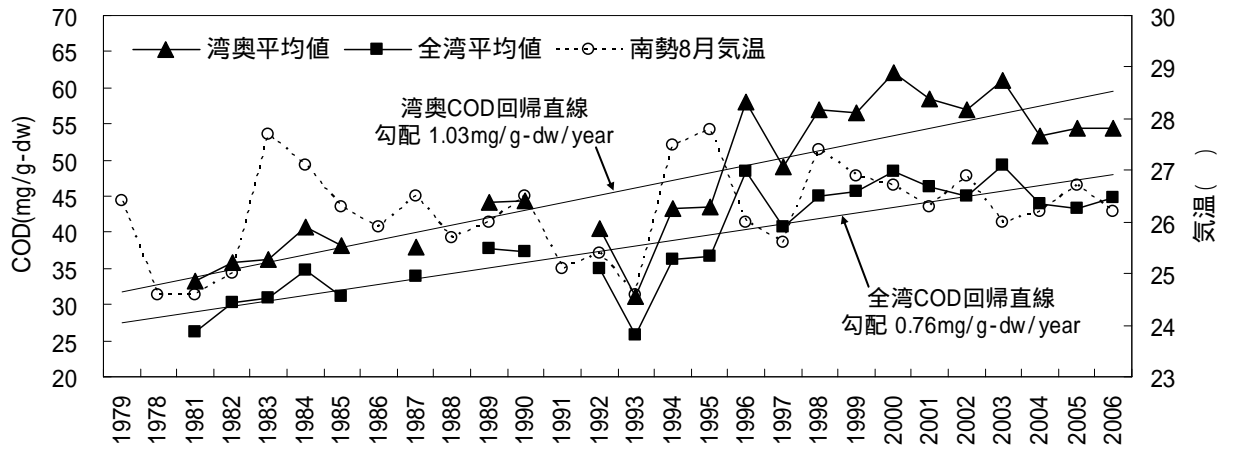
英虞湾奥部の底質は、東京湾や伊勢湾などの汚濁が進んだ海域と比べても、さらに悪い状況にある。三重県水産研究所による20測点観測によれば、2002年～2004年の平均値として堆積物表層のCOD濃度が60(mg/g 乾泥)を超える地点が6箇所あり、最大値は測点10の77.7(mg/g 乾泥)であった。水産養殖の基準として用いられる水産用水基準(日本水産資源保護協会、2005)では30(mg/g 乾泥)以上を汚染泥と定義しており、この基準を超える地点は15箇所と全測点の3/4に達している。基準を下回ったのは湾中央から湾口の測点を中心であった。

1981年から2006年までの湾奥測点の平均値と全湾の平均値(山形・千葉ら、2008)を図2-2-36に示す。海底堆積物表層のCODは、年度毎のバラツキはあるものの、観測開始年の1981年から2000年頃までほぼ右肩上がり増加を続けてきた。そして、2000年頃からやや減少傾向に入ったように見える。前述のように、この変化傾向は水質や真珠養殖量の変化傾向と極大期などが一致しておらず、その底質悪化機構の解明が待たれていた。伊勢湾奥や三河湾奥の底質には夏季の気温との相関が見られることを前述したが、英虞湾についても図示するように、ある程度の相関が観察される。

三重県地域結集型研究事業では、陸域からの負荷量の経年変化の調査、海底堆積物に含まれる物質の鉛直循環の調査、真珠養殖に伴う負荷量の調査、海域の流動と生態系と海底堆積物を含む統合的な数値シミュレーションなどを実施して、底質悪化の機構を研究した。その結果、陸域負荷は1970年頃から1990年頃まで増加傾向にあったとみられること、海底堆積物の分解に時間がかかるため、底質は水質に比べて遅れて応答すること、海域の貧酸素化に伴い有機物の分解速度が低下する可能性のあること、また貧酸素化により底生生物相が弱体化して海底堆積物の鉛直攪拌が弱まり堆積物表層の有機物濃度が高まる可能性のあることなどを示し、シミュレーションにより海底堆積物表層のCOD変動特性の再現も行われた。つまり、水質は陸域負荷の変動に応じて比較的速やかに変化するが、底質は過去の履歴を蓄積して、ゆっくりと変化するということになる。そして、底質悪化(有機汚濁化)は貧酸素水塊の発生を伴い、底生生物を中心とした生態系を破壊し、その結果として底質の改善の遅れを招くということになる。

英虞湾の底質悪化特性は伊勢湾や三河湾とも共通点があり、閉鎖性海域の底質の一般的な特性を示している可能性が高い。その意味で、海域の環境変化を検討する場合に、海底堆積物を含めた全体系を捉える必要があることを、英虞湾の調査研究は示唆していると考えられる。

図 36 英虞湾の海底堆積物表層中の COD の推移(三重県、2008)



3. 干潟と藻場

戦時中から戦後の食糧難の時代に、食糧増産を目的として英虞湾では湾内に無数に存在するリアス式の入江奥部の干拓が広く行われた。図 2-2-37 に干拓の状況を例示する。入江奥部に潮止め堤防を設置し、その後背地を淡水化して田畑とした。現在、この田畑は利用されなくなり、その多くは荒地として放置されている。図 2-2-38 と表 2-2-9 に消失干潟の面積と位置を示す。荒地となっている消失干潟面積は 154ha であり、英虞湾全域の干潟面積である 269ha の 57%に達する(国分ら、2008)(三重県、2008)。

英虞湾の干潟の多くは前浜干潟であり、湾奥に沈積する有機物を無数に存在する入江の奥部で除去していた可能性が推定される。干潟は多様な生物の棲家であり、干潟とその前面の浅場に存在していた生態系が干拓により破壊され、湾の生物の多様性も失われていった可能性が推定される。また、入江の奥部から海域に供給されていた土砂が潮止め堤防で堰き止められたと考えられ、これにより湾奥に堆積する物質中の有機物濃度が相対的に増えた可能性も推定される(千葉ら、2008a)。

英虞湾には多くのアマモ場が存在する。図 2-2-39 にアマモ場の分布図と分布面積を示すが、総面積は 171ha に達する。この分布面積については、過去からそれほど大きな変動はなかったと考えられている。

図 37 英虞湾奥部の干拓の状況、ハッチ部が潮止め堤防で干拓された箇所
(国分ら、2008)(三重県、2008)

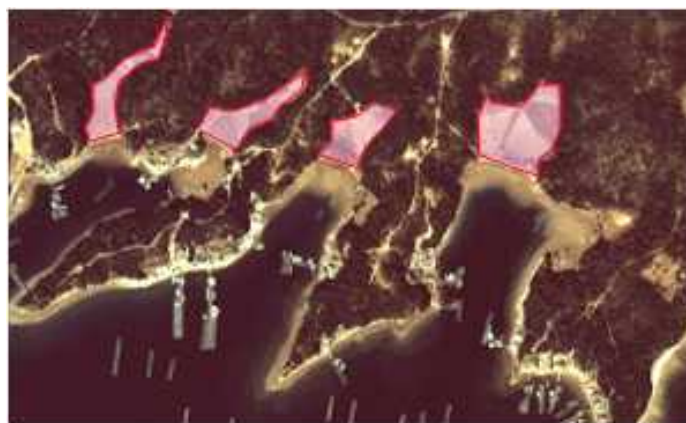


図 38 英虞湾の干潟分布状況(国分ら、2008)(三重県、2008)



表 9 英虞湾の現存干潟と消失干潟面積(国分ら、2008)(三重県、2008)

	現存干潟			消失干潟 (堤防後背地)	
	海域面積	河口干潟	前浜干潟	耕作地	荒地
面積(ha)	2710	3.0	81	31	154

図 39 英虞湾のアマモ場の分布と面積(三重県、2008)



	面積 (m ²)	乾重量(kg)	
		栄養株	生殖株
浜島	298,177	59,497	1,236
深谷	12,153	2,852	0
多年生計	310,330	62,349	1,236
鷺方	158,420	1,865	11,813
神明	167,535	1,385	9,733
立神	1,012,587	23,726	42,967
片田	16,059	463	835
布施田	48,177	4,442	291
一年生計	1,402,778	31,880	65,639
合計	1,713,108	94,228	66,875

4. 生物と漁業

環境悪化に伴う英虞湾の生物相の変化を示すものとして、ベントス（底生生物）の門別組成、個体数、湿重量の推移を図 2-2-40 に示す。調査の季節がそれぞれ異なるため厳密な比較は出来ないが、門別組成については、環形動物の割合が近年になり増加しており、これは伊勢湾と同様に海底の貧酸素化と堆積物の泥質化を示すものと考えられる。個体数については近年になり増加しており、一方、湿重量については減少している。これは、一個体当たりの湿重量が著しく減少したことを意味している。

次にベントス量の季節変化を表すデータとして、三重県水産研究所の畑らが実施した 2002 年の調査結果を図 2-2-41 に示す。調査は 32 測点で春と秋に行われた。春に一定量存在していた湾奥のベントスが、秋にはほとんど姿を消している。湾中央や湾口の測点では、このような変化はあまり見られない。これは湾奥で夏季に貧酸素水塊が発生し、ベントスが死滅または逃避している状況を示すものと考えられる。

以上のベントスの経年変化と季節変化の状況を整理すると、英虞湾の湾奥においては夏季に発生する貧酸素水塊の影響でベントスが弱体化して生物相も貧弱になり、通年で生存するベントスが減り、ベントスの一個体当たりの湿重量を減少させてきたということになる。

次に、真珠生産量と真珠養殖業者の経営体数の推移(渥美ら、2008)(三重県、2008)を図 2-2-42 に示す。真珠生産量は 1965 年頃にピークとなり、その後、一気に減少し、1980 年代にやや盛り返したものの、現在に至るまで減少してきた。近年の生産量は 1965 年頃の 1/6 程度になっている。経営体数についても生産量と関連して減少してきた。現在の経営体数は 500 を僅かに越える程度であり、世界的に有名な英虞湾の真珠養殖産業が存続できるかの瀬戸際に来ている。

このような真珠生産量の劇的な変化は、1960 年代の過度な生産と、その後の真珠産業の不況による販売の落ち込みと、特に近年の減少傾向は湾の環境悪化が原因と推定されている。1950 年代後半から赤潮や貧酸素の発生の記録があり、1980 年代に入ると原因不明の感染症が真珠母貝のアコヤ貝に発生し、またヘテロカプサと呼ばれる有害プランクトンの発生でアコヤ貝が斃死する事件も相次いだ。環境悪化と感染症や有害プランクトン発生の因果関係は明らかにはされていないが、ヘテロカプサは貧酸素で富栄養な環境の海底付近で発生し増殖する機会が多いことが観察されている。

図 40 英虞湾のベントスの推移、左：門別組成、中：個体数、右：湿重量(三重県、2008)

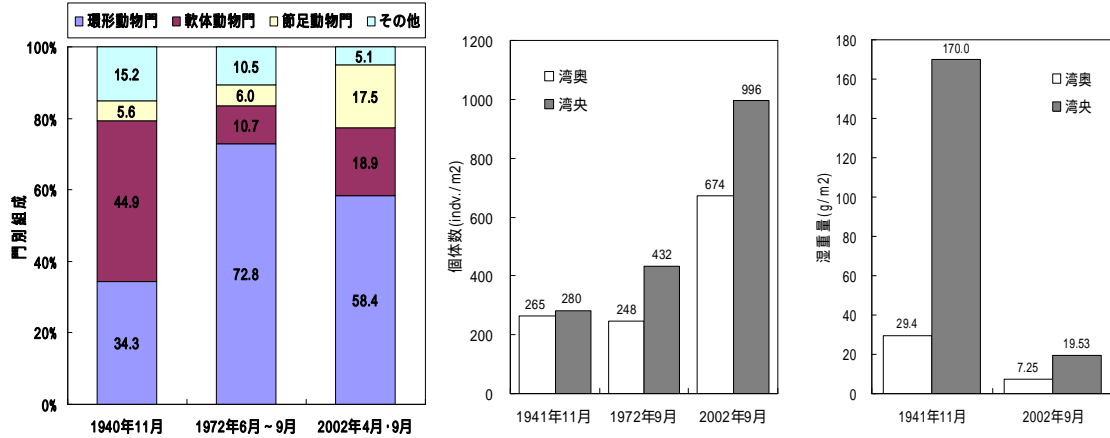
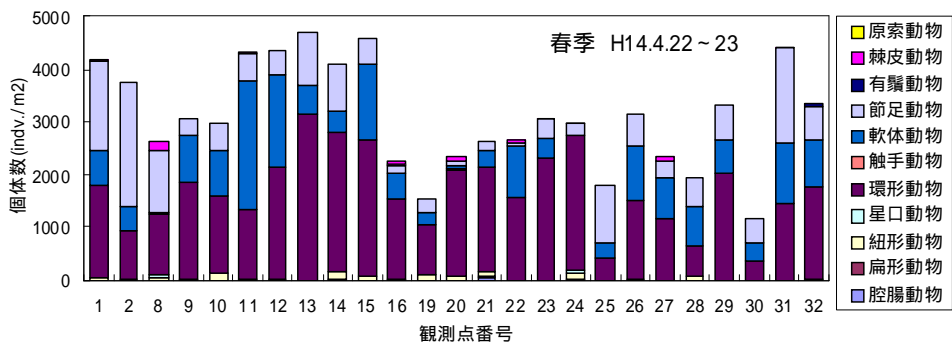
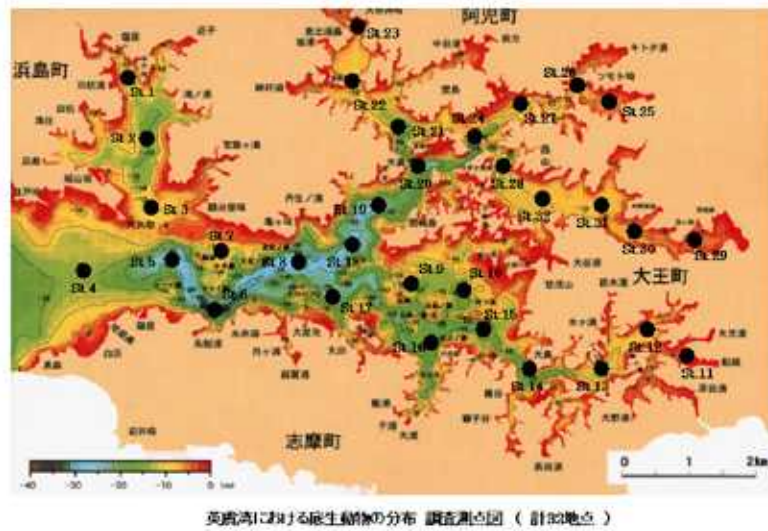


図 41 英虞湾における4月と9月のベントス個体数、2002年調査(三重県、2008)



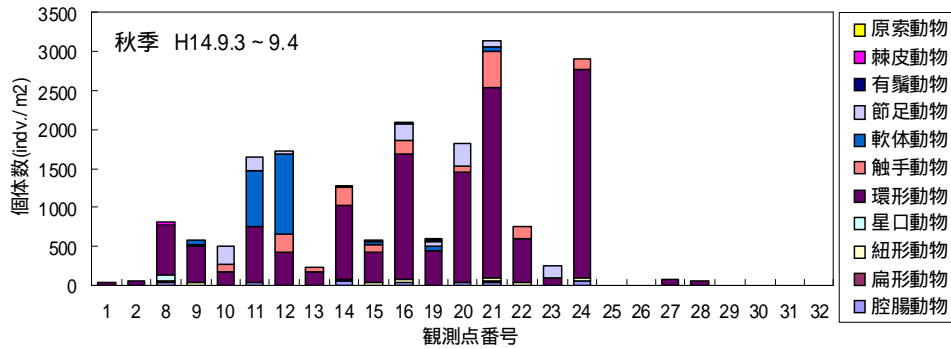
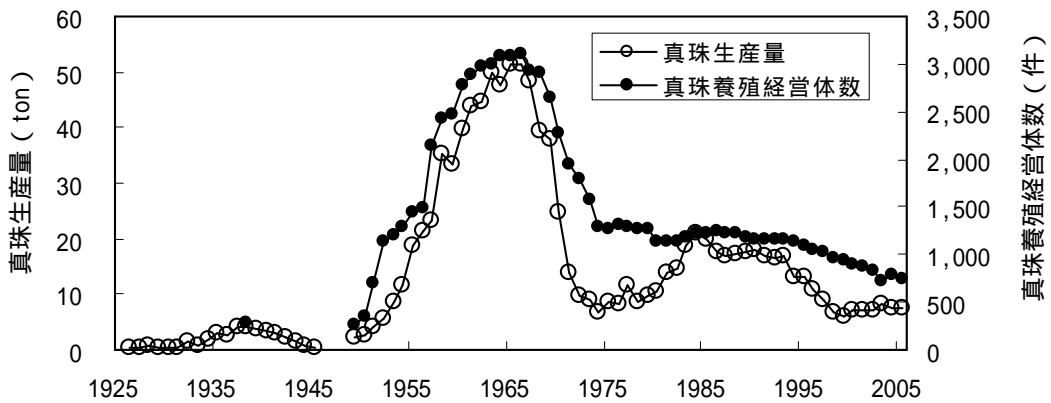


図 42 三重県の真珠養殖業の推移(渥美ら、2008)(三重県、2008)



次に英虞湾における年次漁獲量の推移を図 2-2-43 に示す。漁獲量は漁業者の漁獲努力に依存するため、英虞湾の水産資源量をそのまま表すものではないが、ひとつの目安にはなる。図で特徴的なのは 1965 年頃に年次漁獲量が極小となり、その前後で漁獲される水産生物の種類に大きな変化が見られる点である。1965 年以前は採貝、採藻、底曳網による漁獲量がかなりあったが、1965 年以降はアオノリ養殖が主体となり、他の天然の水産資源はほとんど漁獲されなくなった。1965 年前後は真珠養殖量がピークとなった時代と重なり、多くの漁業者が真珠養殖に力を注いだ結果、また湾の養殖筏が過密状態となり、他の水産物の漁獲量が減った可能性を指摘できる。一方、1965 年頃からアオノリ養殖が盛んになったのは、真珠養殖が不調になり、アオノリに転換する漁業者が多く出たためと考えられる。

湾奥の潮止め堤防の建設は、伊勢湾台風とチリ津波被害後の 1960 年頃から盛んになったとされ、真珠養殖による海域環境への負荷と、陸域負荷の増加と、干潟や浅場の喪失が重なり、英虞湾の環境悪化が進んだとするのが最も妥当と、前述の地域結集型事業では結論した。それらにより、貴重な水産資源である貝・海藻・底生生物なども大きく減少したと考えられる。

図 43 英虞湾における年次漁獲量の推移（三重県、2008）

