

「播磨灘における貧栄養化と海苔養殖の関係」

慶應義塾大学

大沼あゆみ研究会 10 期

海班

池田泰太郎 宮藤 航 長島 由莉

目次

0章 序論

1章 富栄養化

- 1-1 富栄養化問題とは
- 1-2 富栄養化による被害
- 1-3 富栄養化への政府・自治体の対策

2章 播磨灘

- 2-1 播磨灘概要
- 2-2 瀬戸内海・播磨灘歴史
- 2-3 富栄養化問題による被害と自治体の対策

3章 貧栄養化

- 3-1 貧栄養化問題とは
- 3-2 貧栄養化問題による播磨灘での被害

4章 モデル分析

- 4-1 分析の目的
- 4-2 モデルの仮定
- 4-3 分析と考察

5章 結論

参考文献

0 章序論

近年、水質に関する環境問題と言えば水質汚濁・富栄養化問題が主要であるように感じる。工場や生活排水による河川の汚染、また原発事故の際に生じた放射能による海洋汚染などが大きく取り上げられたことが印象に残っている。しかし、本稿ではそれとは正反対の貧栄養化についての問題を取り扱っていく。問題の対象として、かつて富栄養化が問題となっていた瀬戸内海・播磨灘に焦点を絞った。この播磨灘という海域は四方を兵庫・香川・淡路島・小豆島に囲まれており、明石海峡と鳴門海峡によって大阪湾と紀伊水道の海水が流れ込む形となっている。この特殊な地理的条件故に、陸地から流れこむ 5 本の河川と隣接する湾からの影響を大きく受ける典型的閉鎖性水域であると言える。河川からの流入は沿岸部の水質に特に大きく関わっており、養殖業に必要な栄養塩を運んでくる役割を担っている。

本稿の問題の発端は、この海域が高度経済成長期の沿岸部の産業発展や生活水準の向上に伴って過剰な養分が海中に流入し、栄養塩類濃度が上昇し富栄養化が著しく進んでいった結果、高い漁獲高を生み出す一方で赤潮・青潮などの環境被害を生む事象が頻繁に発生するようになったことに始まる。これを受けて自治体政府が水質汚濁防止法の施行や、その度重なる改正等の法整備を行ったため、栄養塩類の濃度は低下していき貧栄養化と呼ばれる現在の状態にまで至ったのである。この状態になるとこの瀬戸内海・播磨灘の名産であるノリ養殖業の成長・育成過程において必要であった栄養塩類が不足し、ノリの色落ちという品質を著しく低下させる現象が起こってしまうのである。これが富栄養化ではなく貧栄養化による最大の被害であり、基幹漁業種であるノリ養殖業へのダメージは大きい。

そこでこの貧栄養化状態を脱するべく漁業者側・陸地の生産業者側の両者の利益を最大化するという条件のもとに、海中の栄養塩濃度を上げるためのこれから方向性を考察した。

1 章 富栄養化

1-1 富栄養化問題とは

元来、富栄養化は流域からの窒素やリンなどの栄養塩により、湖沼などが徐々に肥沃富化していくという自然現象であった。現在では、湖沼や内湾などの閉鎖性水域において、自然的要因に限らず様々な要因により栄養塩の濃度が高まることで生態系のバランスが崩れ海洋生物に悪影響が生じることである。

富栄養化の原因には自然的要因と人為的要因が存在する。自然的要因には、土壌の栄養塩が河川に流れ込み海に運ばれたもの、外洋から内湾へと流入してくるもの、海洋深層から風による吹逆流により湧昇してくるものなどが挙げられる。また、人為的要因には、リンや窒素を含む合成洗剤などの垂れ流しを含む生活排水、工場から排出される工場排水などが挙げられる。

播磨灘における富栄養化問題の主な要因は、非常に盛んである播磨臨海工業地帯による工場排水だと考えられる。以下のデータは、兵庫県の工業排水量を示しているものである。以下のデータを見れば、播磨地方の工業排水量が他の地域よりも圧倒的に多いことがわかるだろう。

表 1 地域別工業排水量

			単位:千立方メートル/日
	阪神(阪神南、阪神北、神戸)	播磨(東播磨、北播磨、中播磨、西播磨)	その他(但馬、丹波、淡路)
平成21年	2056	10467	81
平成22年	2058	10861	75

出典：兵庫県平成 22 年度工業統計調査より作成

さらに、具体的な富栄養化の発生過程をまとめた。ここでは播磨灘での富栄養化の原因を人為的要因の工場排水であるとして説明する。

まず、上層部では工場排水など河川からの流入により湾口部に向かう流れが生まれ、下層部では湾口部からの外海からの流入により湾奥に向かう流れが生まれ、湾内で循環が生まれる。河川から流れ込んでくる窒素やリンなどの栄養塩は上層部の流れに乗ってもすべて湾外へ排出されるのではなく、湾内に留まる。そして、湾内に留まった栄養塩によりプランクトンが大量発生する。その上層で大量発生したプランクトンが死骸となって、海底に沈み、下層で分解され栄養塩となる。

このようにして、一度湾内に流入した栄養塩の一部は沈み、分解後上層へ運ばれ、再び沈むという湾内の再循環を繰り返す。このように、栄養塩は循環するためなんらかの対策

をとらない限り、富栄養化は解消されない。

さらに、下層水に含まれる栄養塩は、一般に河川からの流入に含まれる栄養塩の2~3倍であると言われ、富栄養化は進行していくものと考えられる。それに伴い被害も大きくなる。

1-2 富栄養化による被害

富栄養化は初期段階では栄養が増え、魚貝類にとって良い影響を及ぼすことはあるが、進行していく中でさまざまな深刻な被害を引き起こすことが多い。その内容を大きく4つに大分し以下にまとめた。

① 赤潮の発生による魚貝類の減少

富栄養化により、海中の栄養が増えたことでプランクトンが異常繁殖してしまい、海中の溶存酸素濃度を低下させ、魚貝類の大量窒息死を招く。

② 貧酸素や青潮による魚貝類の死亡

富栄養化が起こると、水域の下層部で酸素が欠乏し海底や低層部に生息している魚貝類が窒息死してしまう。また、陸風が吹けば、上層部の水が沖に運ばれ下層部の酸素の欠乏した水が沿岸で湧昇し、青潮などと呼ばれる現象が発生し、魚介類を窒息死に追い込んでしまう。

③ 飲料水への悪影響

これは湖におけるケースであるが、大量発生したプランクトンによって浄水場のろ過池がつまってしまい、水が臭くなってしまう。

④ 生態系の変化

海中の栄養のバランスが偏ることで、それぞれの個体数に変化が起こり、生態系のバランスが崩れてしまう。

⑤ 自然景観などへの影響

海底に堆積したプランクトンの死骸が砂地を泥に変化させてしまったり、腐敗臭などを発生させることがある。また、海を変色させるほどの大量のプランクトンは衛生的にも悪いと考えられる場合があり、海水浴場が閉鎖してしまうこともある。

このように海洋生物や人間にも悪影響を及ぼす問題なのである。



写真1 富栄養化による赤潮が原因で死亡した貝
出典：「富栄養」水産庁 社団法人日本水産資源保護協会



写真2 富栄養化による貧酸素が原因で窒息死した魚
出典：「富栄養」水産庁 社団法人日本水産資源保護協会

これらの写真のように富栄養化による被害はとて大きく、身近に抱えているとて深刻な問題なのである。

1-3 富栄養化への政府・自治体の対策

1-3-1 行政の対策の歩み

政府がとってきた環境政策がどのような意図の下行われてきたのかを理解するために、環境行政の中枢を担う機関が設立されるまでの歴史的経緯を把握しておきたい。現在の環境行政の中枢を担う環境省の前身である「環境庁」が設置されたのは1971年のことである。公害問題は明治時代に既に発生していたが1971年までは環境行政を中核的に担う機関が存在していなかったということになる。公害問題が深刻化した高度経済成長期の政府支出に注目すると、生活環境関連投資額は増加していたが、産業関連の支出と比べると相対的に小さかった。このような対策の遅れの原因の1つは公害問題の地域性の高さが挙げられるだろう。公害問題は工業地域や閉鎖性地域等の地域の特性がよく現れた場所で発生する。高度経済成長期といえば政府による民間産業関連投資の需要が高まっており、地域固有の環境改善に予算を割くことは大変難しかったであろう。よって高度経済成長に伴って発生する様々な公害に対し地方公共団体は1950年頃から独自に公害防止条例を制定していくしかなかった。しかしそれらはどれも定量的な規制にまで至っておらず、効果的な政策であったとはいいいくいのものだった。

しかし次第に公害問題の認識が広まってくると1953年には関係各省間において「水質汚濁に関する連絡協議会」が開催され、政府主導による公害防止施策の法制化に向けた動きが展開された。その成果もあり1958年には水質汚濁防止対策要綱が閣議了解されその要綱に基づき「公共用水域の水質保全に関する法律」、「工場排水等の規制に関する法律」が制定された。その後1964年に各省庁分立して行われていた環境行政を総理府にまとめ、公害対策推進連絡会議が設けられた。1965年には公害問題に関する知見を各界から集めるために公害審議会を設置しその結果を基に公害対策基本法を制定することになる。しかし行政の対策の遅延や不徹底が重なり国民の不満が深まっていく。これら国民の不満を背景に1970年には内閣に公害対策本部が設置され、国会において公害関係法の整備が行われた。以下に既存の法律との4つの主な相違点を挙げる。

- ①経済と公害対策の調和について言及した調和条項を削除
- ②規制強化
- ③事業者責任の明確化
- ④地方公共団体の権限強化

①によって行政が公害対策よりも経済優先にしているのではないかというイメージを払拭し、②によって規制対象物質を拡大し、さらに予防的全国規制が行われることを目的としている。そして④によって国が一律に規制を設けるのに加えさらなる規制をかける権限を地方公共団体に与えることで地域性が出やすいという公害問題の特徴に対応した。また環境問題の重要性についての理解がさらに深まることで臨時の公害対策本部ではなく常設の行政機関の必要性が高まっていった。これらの流れを受けて翌年の1971年、環境行政に

関する権限を与えられた環境庁が発足された。さらに環境問題を専門とする研究機関が無かったことや、環境問題の広範な問題に対しその問題や研究を全体的に把握する研究所の必要性から 1974 年には国立公害研究所が設置される。研究所は 1990 年に国立環境研究所へ改称し、環境規制の科学的裏付けを与えるため化学物質が人と生態系に与えるリスクの評価、リスク管理の手法に関する研究の他、環境都市システム研究、持続可能社会転換方策研究等も行なっている。

環境庁設立後には環境法が次々と成立されていく。特に水環境に関するものを挙げると以下のようになっている。

表 2 環境法に関する年表

	成立した法案
1973 年	瀬戸内海環境保全臨時措置法 化学物質の審査及び製造などの規制に関する法
1978 年	瀬戸内海環境保全特別措置法
1984 年	湖沼水質特別措置法
1989 年	水質汚濁防止法改訂（地下水汚染の未発防止等を制度化）
1990 年	水質汚濁防止法改訂（生活排水対策の制度化）
1991 年	廃棄物の処理及び清掃に関する法律の改正
1993 年	環境基本法
1996 年	水質汚濁防止法の改訂（地下水汚染浄化対策）

日本の水環境行政等を参考に作成

1973 年の瀬戸内海環境保全臨時措置法に COD 総量規制の導入並びにリン等の削減対策が盛り込まれ 1978 年瀬戸内海環境保全特別措置法として恒久法となった。1989 年の水質汚濁防止法改訂の要因は 1982 年に実施された調査である。地下水の汚染が一部地域で国際基準を超過していることが判明し 1989 年地下水汚染を防ぐための対策として水質汚濁防止法を改訂した。幾度もの水質汚濁防止法改訂はいずれも新しく判明した問題に対処するために行った。

このように日本の行政は公害や環境汚染による被害が拡大するたびに国民からの批判を受け法案立法や規制強化を行なってきた。1970 年の法整備において経済と公害対策の調和について言及した調和条項が消去されたことから分かるように近代の環境政策の主たる目的は経済と環境の両立というよりも、環境・公害問題の解決に重きが置かれてきた。播磨灘で生じている問題はそういった環境法の性質の変化が起因しているのではないだろうか。

1-3-2 行政の現在の対策

富栄養化問題は水質汚濁問題に含まれる。元々水質汚濁防止法によって規制の対象となっていたのは富栄養化の原因物質である全りんと全窒素ではなく直接的に人体に有害だったカドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀等であった。それらの環境基準は人体に有毒な濃度であるかどうかで決められていた。(表 3) その規制値は実験動物による毒性検査等を行って科学的に裏付けされている。水質基準項目は上記のほかに pH (水素イオン濃度)、BOD (生物化学的酸素要求量)、COD (化学的酸素要求量)、SS (無機浮遊物質)、DO (溶存酸素)、大腸菌数、ノルマルヘキサン基準等が挙げられる。これらの指標は水環境がどれだけ汚染されているかを示したもので水源の用途別に基準値が設定されている。参考に海域における各物質の基準値を示しておく。(表 4) 富栄養化の原因となる物質は全りんと全窒素であるが、それらの規制はそれぞれ湖沼においては 1982 年に海域においては 1993 年に追加設定された。

表 3 水質汚濁に係る環境基準 (1997 年 3 月時点)

項目	基準値	項目	基準値
カドミウム	0.01mg/l 以下	ヒ素	0.01mg/l 以下
鉛	0.01mg/l 以下	総水銀	0.0005mg/l 以下
六価クロム	0.05mg/l 以下	全シアン	検出されないこと

出典：日本の水環境行政

表 4 生活環境の保全に関する環境基準

(類型,項目)	利用目的の適応性	基準値				
		pH	COD	DO	大腸菌数	n-ヘキサン抽出物
A	水産1級、水浴、自然環境保全金及び	7.8以上 8.3以下	2mg/l以下	7.5mg/l以上	1000MPM/ 100ml以下	検出されないこと
B	水産2級、工業用水、及びCの欄に掲げるもの	7.8以上 8.3以下	3mg/l以下	5mg/l以上	-	検出されないこと
C	環境保全	7.0以上 8.3以下	8mg/l以下	2mg/l以上	-	-
(備考)1日間平均により評価 (注)1自然環境保全:自然探勝等の環境保全 2 水産1級:マダイ、ブリ、ワカメ等の水産生物用及び水産2級の水産生物用 水産2級:ボラ、海苔等の水産生物用 3 環境保全:国民の日常生活において不快感を感じない限度						

出典：日本の水環境行政

水質汚濁問題への行政の対策は主に排出規制によって行われる。その規制の根拠となる法律が 1971 年施行された水質汚濁防止法である。水質汚濁防止法の概要は以下の通りであ

る。

1) 排水規制対象

特定施設を設置する工場または事業場から排出される水を対象としている。製造業関係に限定することなく、広く各業種について行うものとする。

2) 排水規制基準

基準は水質汚濁を事前に防ぐという目的から全国公共用水域を対象として総理府令で定めさらに水質汚濁防止の面から考えて基準が妥当でない認められる場合は都道府県がその条例でより厳しい上乘せをすることができる（上乘せ規制）

3) 届出規定並びに違反直罰規定

排水基準を遵守させるため従来の工場排水規制法に準じて特定施設設置等の届出、届出事項の計画変更命令、汚水処理方法の改善命令等を規定する他、新たに排出水の排出停止命令の制度や排水基準違反行為は直ちに処罰できる直罰規定を設ける。さらにこれらの権限は都道府県知事及び政令で定める市長に委任する。

行政は水質汚濁問題に対し人体に有害な物質を規制をかけることで対応してきた。次項ではさらに富栄養化問題に対してはどのように対応したのかを説明していく。

1) 排出規制

富栄養化が問題となり始めたのは 1970 年代からである。COD 達成率の低い湖沼において富栄養化が原因となる問題が発生した。水質低下による透明度の低下や水色の変化による景観低下のほかに飲料水での異臭味障害の発生や魚介類の斃死が主な被害である。この富栄養化問題は水源の利用目的別に規制値を設定し対応している。その規制値の設定は基本的に科学的な根拠に基づいて行われる。例えば水を農業用水として利用するなら農業用水はアンモニア（窒素）濃度が高いと病害を受けやすくなるため水稻の減収につながってしまう。そこで農業用水用の水については研究に基づき水稻に被害が生じない全窒素濃度を規制値に設定した。また排出規制は行政が一律に規制値を決めている。しかし全国一律の排水基準では水質汚濁防止上困難である場合には都道府県の条例によって上乘せ規制を行うことができる。

2) 排出規制の例外

基本的に産業全てに規制は適用されるが終末処分場を設置している公共下水道及び流域下水道は水質汚濁防止法に定める公共用水域から除外されている。この下水道に排水をする際には排水規制は無いが下水道終末処理場は水質汚濁防止法の特定施設として排水基準の適用を受け下水道から公共用水域へ放流する水質基準が定められている。しかしこれらの特定施設の処理方法は生物処理が多くカドミウムなどの重金属や難分解性化学物質を効果的に除去することができない。この処理が難しいものについては政令で基準値を定めるが BOD や SS については政令を基に条例で定めることができる

3) 排水基準の遵守

排水基準を遵守させるため特定施設の設置の届出や計画変更命令による事前の予防措置、排出基準違反に対する直罰措置を規定することで基準を遵守させる仕組みを作った。違反者に対し再び違反することが明白な場合は事実上の業務停止命令を行うことができるほど大きな影響力を持った罰則規定であったといえる。

4) 下水道の普及

生活排水由来の窒素、リンの3分の1はし尿から発生している。故にこのし尿を適切に処理することが生活排水由来の排水を減らすことに効果的である。

1-3-3 対策の効果

前項の様々な対策によって公共用水域における富栄養化問題は解決しつつある。次章では富栄養化問題の代表的海域だった瀬戸内海に焦点を当てる。かつては富栄養化で被害を受けていた瀬戸内海の現状を分析し新たに発生している問題点を探っていく。

2章 播磨灘

2-1 播磨灘概要

播磨灘とは瀬戸内海東部の海域の名称であり、姫路市・高砂市・加古川市等兵庫県南西部の南側に位置する。東に淡路島、西に小豆島、南には四国があり閉鎖的な環境であることが大きな特徴である。面積は約2500km²、水深は40m前後であるが一部の海峡部では100mを超えるところもある。岩礁が多く好漁場としてかつては鯛やイカナゴがよく取れていた。海面養殖漁業(以下養殖業)はノリ・貝類の養殖が盛んであり海面漁業と並ぶほどの生産高となっている。播磨灘には加古川、市川、夢前川、揖保川、千種川の五本の河川が流れ込み、その流れによって陸地の養分が運ばれ沿岸部で行われる養殖業に必要な養分を供給していると言われている。播磨灘を含む瀬戸内海地域の養殖業の中心はノリ養殖業であり瀬戸内海の漁業生産額の4割を占めている。また、その生産量は全国での3分の1にもなる。その瀬戸内海の灘の中でも播磨灘は特に漁獲の多い主要な海域である。

古くから岩礁や養分が多く好漁場として栄えていたが、沿岸部の産業が発達するにつれて灘の富栄養化が進み赤潮等環境被害が発生したため、養殖漁業を中心に影響が出るようになった。それを受けて自治体政府が生産業への汚染排出に関して規制を設けたために富栄養化は緩和していき、現在では逆に貧栄養化が起こっている。兵庫県の単位養殖業者当たりの養殖規模が、全国にあるノリ養殖の産地の中で最大であることもこの播磨灘のノリ養殖へのダメージが問題として取り上げられる理由であると言えるだろう。また、明石海峡を通り流れ込む大阪湾の水質の影響を受けることもある。その流入負荷自体は高くないが、上層CODの汚濁域・下層の貧酸素域および底質の汚濁域の占める割合が大きく、海域

中央部を中心に赤潮の発生件数も多くなっていることが報告されている。

特筆すべき環境情報として、希少種であるスナメリやナメクジウオが淡路島周辺に、危急・危険種であるハクセンシオマネキが加古川河口に生息し、さらにシギ・チドリが飛来することも挙げられる。

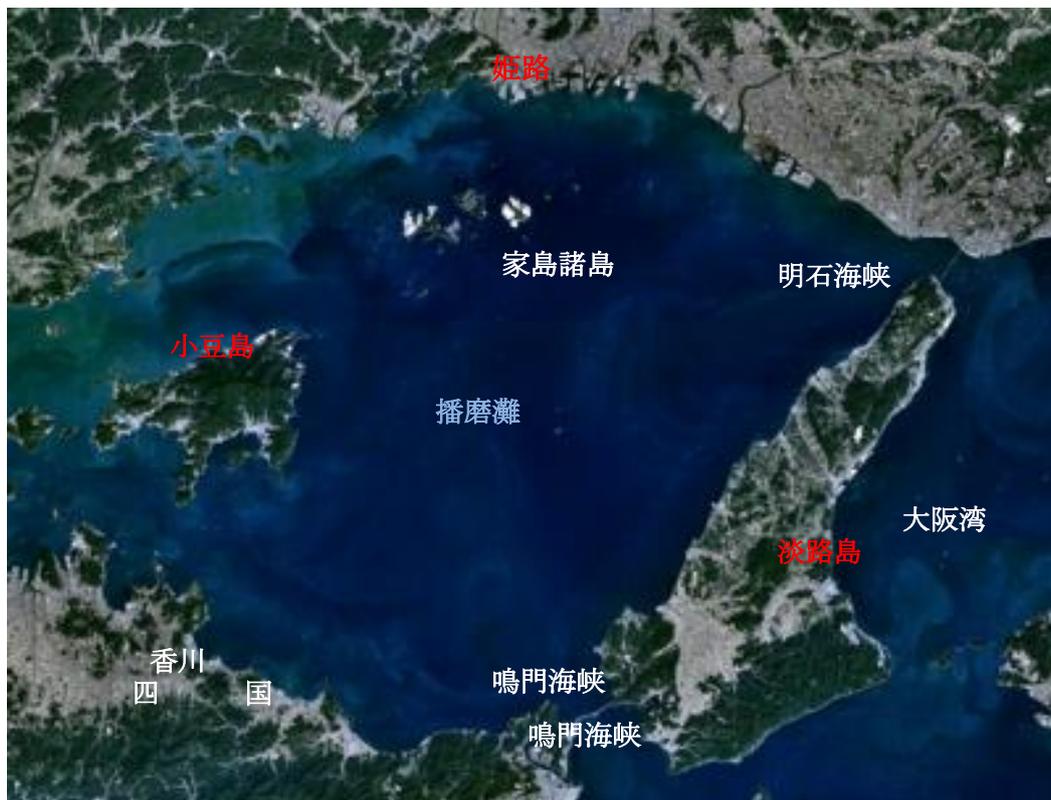
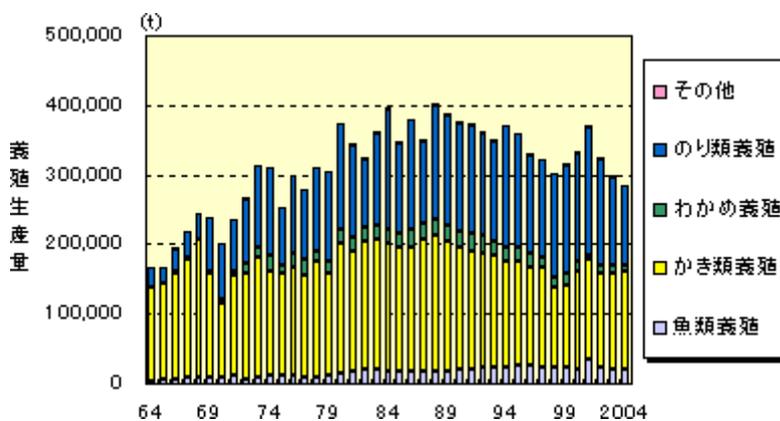


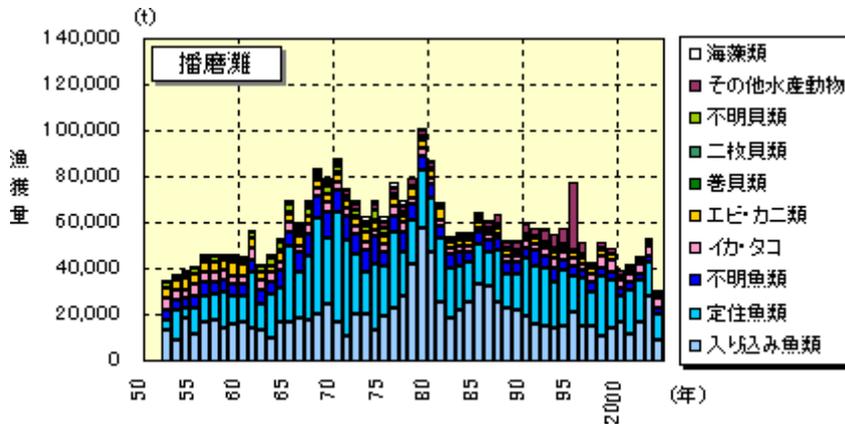
図1 播磨灘 地形図

出典：ウィキメディア・コモンズ(最終アクセス：2012/11/21)



グラフ1 瀬戸内海 漁業種別漁獲高

出典：瀬戸内海環境情報センター(最終アクセス：2012/11/21)



グラフ 2 播磨灘 漁業種別漁獲高
出典：瀬戸内海環境情報センター

2-2 瀬戸内海・播磨灘歴史

i) 工業的視点から

日本の経済成長は、関東地方と北九州とを東西に連ねる「太平洋ベルト」を中心に行われてきた。日本は近代工業の原材料の自給率が低く、原材料の多くを海外市場に依存している。そのため工業地帯と工業港湾は切り離せない関係となっている。つまり工業は地理的な特性を活かすことのできる、臨海部にて発展していくのである。

かつて、瀬戸内海は、鉄鋼・石炭が盛んである北九州工業地帯と、総合的工業地帯の阪神工業地帯を結ぶ海上の公道だった。陸上交通路に対して、輸送費の安い海路は、一度に大量の輸送が可能な船舶の性質と合い、瀬戸内海は東西に隔った 2 大工業地域を互いに発展させるためには必要不可欠であった。しかし、戦後の急激な工業発展期に際して、当時の既存の工業地域は飽和状態に達し、空間的な余地がほとんどなかった。その結果、阪神工業地帯から西方へ、北九州工業地帯から東方へと工業が分散していき、新しい工業地帯として、「播磨臨海工業地帯」が誕生した。

播磨臨海工業地帯とは、姫路市や加古川市等の播磨地方の海岸を埋め立てて、造成された工業地帯である。姫路港と東播磨港の大きな 2 つの工業港湾を有し、化学・鉄鋼等の工場・発電所などが立地している。姫路港は播磨灘のほぼ中央に位置し、姫路市、たつの市の地先水面、東西約 18km を港湾区域とする国際拠点港湾である。播磨臨海工業地帯の中核港湾であり、鉄鋼、化学、ガスなどのエネルギー産業を、港湾として、播磨地域のみならず、兵庫県の物流拠点として地域経済の発展に大きく貢献している。東播磨港は播磨灘北東部に位置し、明石市、播磨町、加古川市、高砂市の地先水面、東西約 14km を港湾区域とす

る重要港湾である。加工・組立型企業が多く立地しており、西側に隣接する特定重要港湾、姫路港とともに、播磨臨海工業地帯の中核港湾として重要な役割を果たしている。

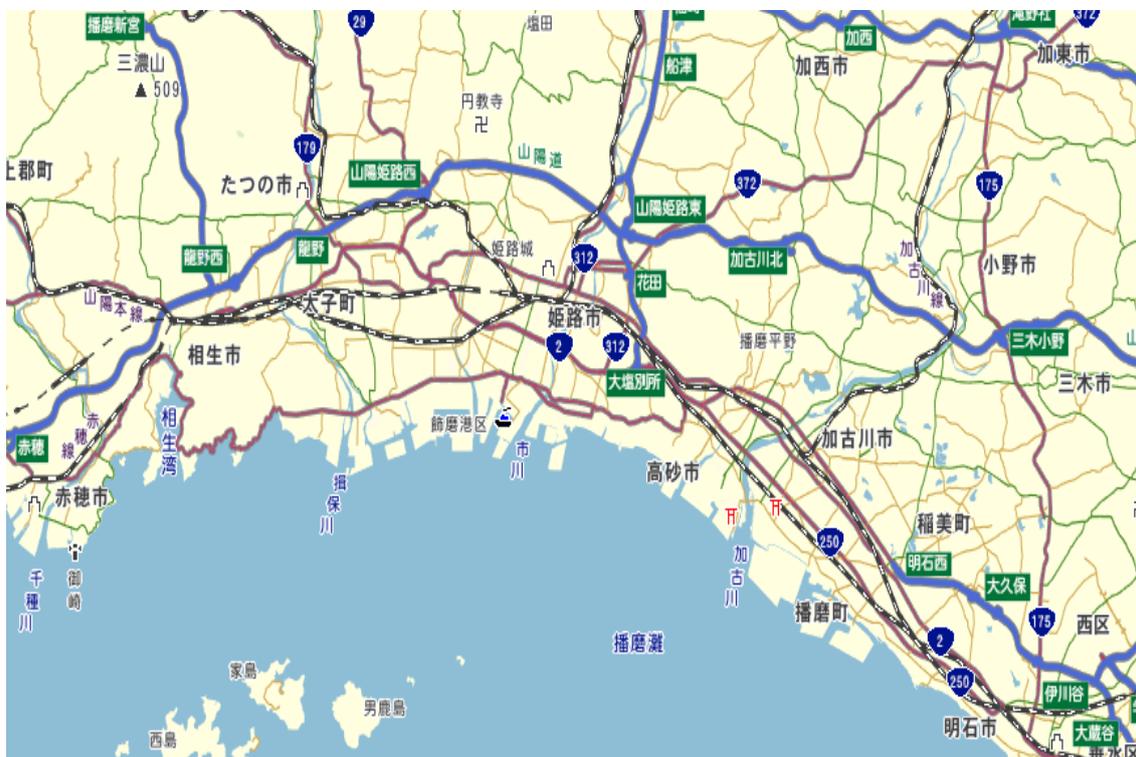
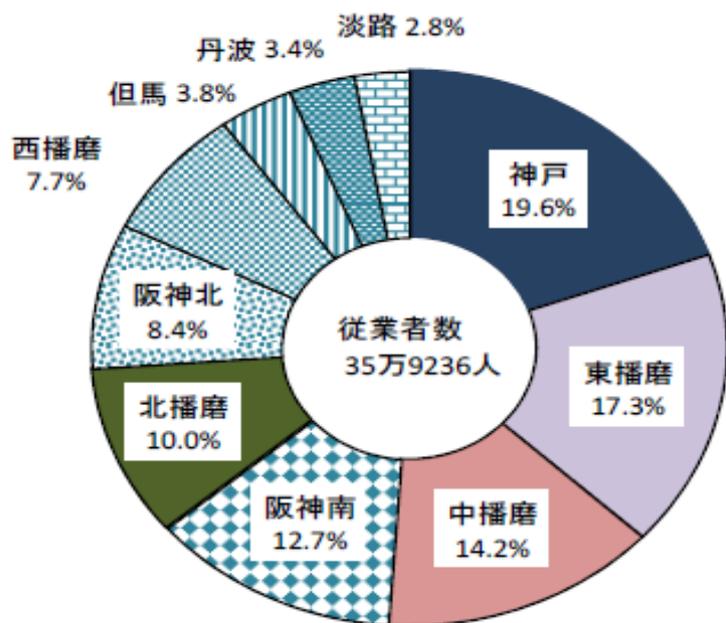


図2 播磨臨海工業地帯の地図 出典：マップファンより作成

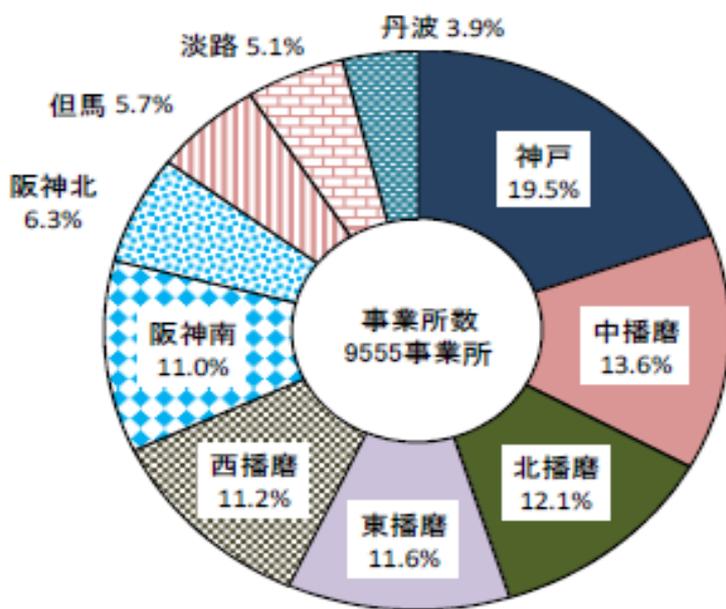
播磨臨海工業地帯の発展を遂げた要因として、以下の4点が挙げられる。

- ① 阪神工業地帯と北九州工業地帯とを結ぶ海上物資輸送幹線に沿っていること。
- ② 阪神工業地帯に近く、また沿岸に広い平野が展開し、阪神地区からの工業の分散に最適地であること。
- ③ 砂質海岸より成っているため、工業用埋立地の造成や、大型船用の深水航路の確保が比較的容易であること。
- ④ 播磨地方の中核として商工業都市である姫路市が存在すること。

これらの要因により、歴史の若い播磨臨海工業地帯が急速な成長を遂げ、現在は阪神を凌ぐ程ではないかと言われている。以下にそのことを裏付けるようなデータをいくつか載せる。ここでは阪神は、神戸市を含めることとし、阪神北、阪神南、神戸の合計とする。



グラフ 3 地域別工業従業者数の構成比
出典：兵庫県 平成 22 年度工業統計調査

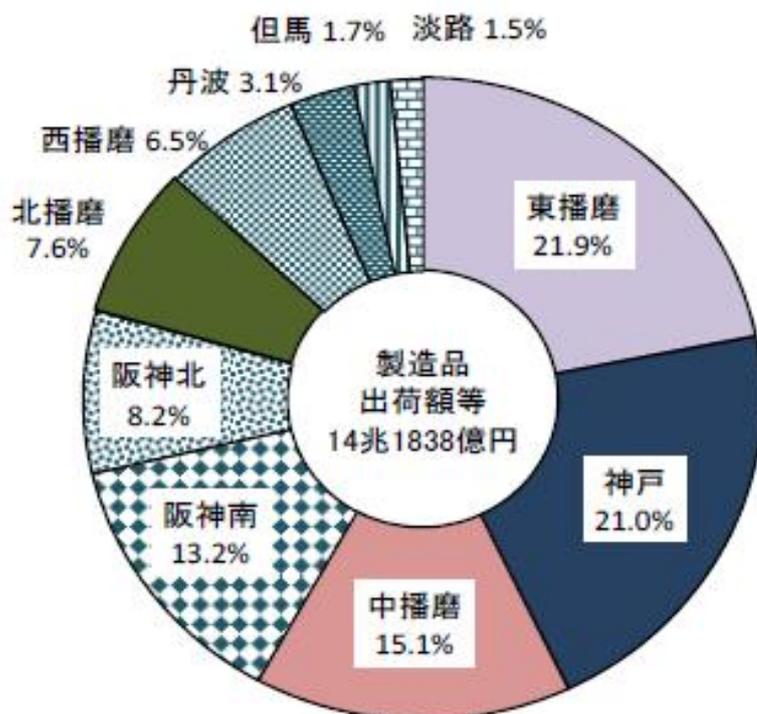


グラフ 4 地域別工業事業所数の構成比
出典：兵庫県 平成 22 年度工業統計調査

			単位:百万
	阪神(阪神南、阪神北、神戸)	播磨(東播磨、北播磨、中播磨、西播磨)	その他(但馬、丹波、淡路)
製造品出荷額	6,020,626	7,259,020	904,137

表 5 地域別工業製造品出荷額

出典：兵庫県 平成 22 年度工業統計調査地域別、産業別製造品出荷額より作成



グラフ 5 地域別製造品出荷額等の構成比

出典：兵庫県 平成 22 年度工業統計調査

以上のデータを見てみる。グラフ 3 の地域別工業従業者数の構成比では東播磨、中播磨、北播磨、西播磨の播磨地方の合計で全体の 49.2% と兵庫県の工業従業者人数のほぼ半数を占めており、グラフ 4 の地域別工業事業所数の構成比では播磨地方の合計は全体の 48.5%

と同じくほぼ半数を占めていることが分かる。また、阪神との比較をしてみると、前者は40.7%、後者は36.8%であり、播磨は阪神よりも従業者数、事業所数の割合がどちらも高く、より発展し、工業が活発であることが言える。また、表2の地域別、産業別製造品出荷額とグラフ5の地域別製造品出荷額等の構成比より、播磨地方の合計は全体の51.6%と半数以上を占めており、製造品出荷額は約7.2兆円であることが分かる。また、阪神との比較をしてみると前者は42.4%、約6兆円ということが分かり、出荷額では大きく差があり、播磨が阪神を圧倒していることが分かる。このようなデータから播磨臨海工業地帯の急速な発展により、播磨地方は阪神を凌ぐ程に発展し、いかに工業が盛んであるということが分かる。

ii) 漁業的視点から

瀬戸内海の漁業生産は戦後比較的長期にわたって、高度経済成長時代の富栄養化最盛期に大幅に増加し1980年代を境に減少に転じている。これは高度経済成長期に漁船や漁獲道具の性能が飛躍的に発展したことや、今や平均年齢が70歳近い漁業者たちが若かったころ働き盛りであったことによる漁獲圧の急激な上昇によるものであると考えられている。

戦後瀬戸内海の漁業は蛋白質の供給・増産を目的として発展して来た。1950・60年代には効果各魚種の減少や漁業の労働力不足による省力化と効率的生産を目的にし、70年代後半からは継承されてきた諸条件の改善と経営の維持に力を注いできたと特徴づけられるだろう。上記に述べた期間の漁業者数の推移を表にまとめた。()の数字は45～55年を100としたときの数値である。

	1945~55年	1955~65年	1965~75年	1975~85年
まき網	598 (100)	182 (30.4)	95 (15.9)	53 (8.9)
船曳網	4080 (100)	1697 (41.6)	1578 (38.7)	1913 (46.9)
地曳網	840 (100)	235 (28.0)	62 (7.4)	49 (5.8)
敷網	1761 (100)	783 (44.5)	299 (17.0)	291 (16.5)
定置網	2569 (100)	2913 (113.4)	1971 (76.7)	2086 (81.2)
底引き網	12611 (100)	13295 (105.4)	12332 (97.8)	11512 (91.3)
刺網	5186 (100)	7333 (141.4)	8875 (171.1)	10305 (198.7)
釣り	20575 (100)	15605 (75.8)	12773 (62.1)	11900 (57.8)
はえ縄	6105 (100)	3701 (60.6)	2421 (39.7)	2077 (34.0)
採貝等	11572 (100)	6058 (52.4)	5049 (43.6)	5303 (45.8)
カキ養殖	1368 (100)	1778 (130.0)	1128 (82.5)	1181 (86.3)
ハマチ養殖	5 (100)	291 (5900)	343 (6860)	339 (6780)
ノリ養殖	5100 (100)	11302 (221.6)	10345 (202.8)	5121 (100.4)

表6 戦後漁業種別漁業者数推移

出典：『転機に立つ日本水産業』日本漁業経済学会(九州大学出版会)1988 より作成

1980年代後半からは減少が進んでいき、最大時45万トンあった漁獲生産は2000年以降は25万トンほどとなり、ここ数年は10万トン程度である。この漁獲量の推移は経済成長期の富栄養化が進んでいた時期から、水質汚濁問題として排水に規制がかかり貧栄養化の現在に至るまでの水中の栄養状態に依存するものと言えるだろう。

iii)海苔注目して

そもそもノリ養殖とはどのような漁業なのか。沿岸域に形成された様々な海藻の群落を藻場と呼ぶが、その生態学的な役割は物質循環の制御者として窒素リンを吸収して浄化すること、また魚類の産卵場所や餌場となることである。藻場は「海のゆりかご」と呼ばれるが、その増減は漁業生産に大きく関わっていると言える。実際に藻場の消失によって漁の成果が悪くなることを実感している漁師たちも多い。具体的に藻場というものの規模を述べれば 1989～91 年の時点で瀬戸内海での藻場は 1 万 5000ha であり、その後も面積自体は横ばいとなっている。これは全国で約 20 万 ha しかないことを考えればかなりの面積であると言える。

海藻のうち、養殖漁業の一部としてアオサ・アオノリ類がある。これはノリ養殖業として発展してきた部分であり、技術の向上とともに品質も安定してきていたが、近年の貧栄養化問題の影響も受けて色落ちや生産減少が起こっているという問題がある。

具体的な養殖の手順を簡単に紹介する。ノリ養殖は 2～3 月ごろにカキ等の貝殻にノリの芽のようなものを植え付けるところから始まる。その糸状体と呼ばれるものはカキ等に植え付けられた後に海中に浸けられ、何度も海水を交換されながら夏までゆっくりと伸びていく。秋になり水温が下がる頃にノリ網へと植え付けを行い、一度植え付けたら網ごと空气中にさらして乾燥させる過程を経て海へ戻される。その後浅い海に支柱を立てて網をめぐらせ、海中でノリを十分に育てる。そして 12 月から翌 3 月までに収穫したくさんの工程を経て乾燥海苔へと加工される。このような過程を経てノリ養殖業が営まれている。このノリ養殖にも長い歴史があり、始まった当初はもちろん手作業であり作業効率が悪かった。ノリの手作業での植え付けや収穫、天日乾燥など未発達な面が多かったのだ。現在は機械化が進んでおり商品としての水準もだいぶ上がってきている。出来によって優等から七等までの 9 段階が定められており、抄き方・色沢・香味・形態・重量・乾燥度の 6 項目で審査されている。等級によって入札時の価格も大きく異なるが平均は 8～10 円前後となっている。

しかし近年、貧栄養化によって養分が不足し、成長不良が起こることも多く、1 枚当たりの価値が 3 円を割り込んでしまうこともある。3 円を割り込むと入札出来なくなってしまうため、育てたノリに価格が付かなくなってしまうのである。ノリは赤潮の発生や水温の変化などにも影響を受けやすいため育てたものが全部台無しになってしまうことすらある。

2-3 富栄養化問題による被害と自治体の対策

i)被害

富栄養化によって引き起こされる被害は、赤潮の発生による各漁業種の漁獲量減少や、海洋汚染という事実から述べれば景観の喪失による社会的便益における損害等があげられる。典型的かつ代表的な閉鎖水域である播磨灘でも同様に漁獲高の減少が起こり、大阪湾側から続く入り組んだ海岸地域での潮干狩りにも悪影響が表れている。

ii) 対策

瀬戸内海環境保全特別措置法に基づき、「リンおよびその化合物にかかる削減指導方針」を策定し、1980年度以降削減指導を実施してきた。第3期までの削減目標は着実に達成され、当初海中に11.3t/日排出されていたリンは1989年には6.1t/日になり、その後1999年には5.3t/日にまで削減された。生活排水や下水度の整備がきちんと行われたためのその結果が赤潮の発生回数の減少に表れた。滞留しがちな播磨灘の特性を考えると、法整備等の対策が大きく作用したことを示している。

	神戸市	姫路市	尼崎市	明石市	西宮市	芦屋市	伊丹市
1997年	98.9	82.5	99.9	81.7	97.5	99.4	98.4
2001年	99.8	91.7	99.9	89.9	99.9	99.7	98.9

	加古川市	宝塚市	高砂市	川西市	播磨町	地域計
1997年	66.7	93.0	56.9	96.8	47.3	91.8
2001年	80.9	98.6	75.3	98.7	74.6	96.1

表7 生活排水処理率

出典：兵庫県 大阪湾および播磨灘のCOD対策並びに大阪湾の富栄養化対策 より作成

市町名	行政人口(千人)	処理区域	
		面積(ha)	人口(千人)
神戸市	1478.4	16184	1449.6
姫路市	475.9	8757	411.0
尼崎市	463.3	3999	463.2
明石市	291.6	3157	253.1
西宮市	436.9	4718	435.6
芦屋市	86.5	1030	86.2
伊丹市	190.6	1999	188.6
加古川市	265.9	2959	201.0
宝塚市	216.5	2319	211.1
高砂市	97.5	916	63.2
川西市	156.6	2152	153.7
播磨町	34.2	329	23.7
計	4193.9	48519	3940.0

表 8 下水道整備状況

出典：兵庫県 大阪湾および播磨灘の COD 対策並びに大阪湾の富栄養化対策 より作成

	大阪湾	播磨灘	計
1980年	42	29	71
1985年	39	31	70
1990年	30	15	45
1995年	21	26	47
1996年	27	22	49
1997年	28	41	69
1998年	24	22	46
1999年	26	24	50
2000年	24	25	49

表 9 赤潮の水域別発生件数

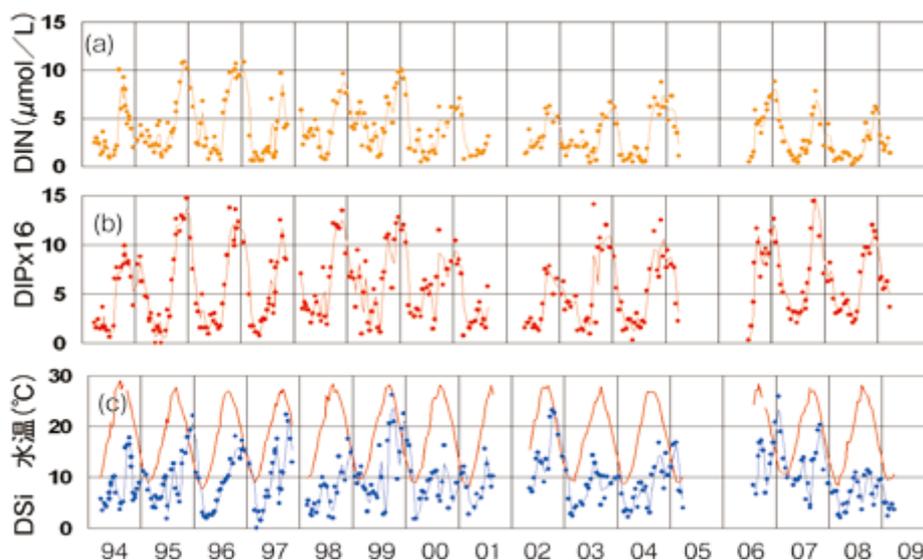
出典：兵庫県 大阪湾および播磨灘の COD 対策並びに大阪湾の富栄養化対策 より作成

3章 貧栄養化

3-1 貧栄養化とは

貧栄養化とは簡単に言ってしまうと富栄養化の逆の状態のことである。富栄養化を水質汚濁・汚染が起こっていると表現することも多いため、水質中に無駄な栄養塩類がなく不純物のない綺麗な状態だと言うことも出来るだろう。しかし、その状態が必ずしも生物の成長に対して良い方に働くとは限らないのである。

本論文で扱う瀬戸内海・播磨灘は高度経済成長に合わせて富栄養化が進むことを背景に、養殖漁業やその他の漁業が発展し生産高を伸ばしてきていた地域である。そのような地域性をもつ地域であるにも関わらず富栄養化による赤潮等の問題を緩和・解決するため生産業に対して政府の設けた水質汚濁防止法等を設けさらに度重なる改正を行った結果、播磨灘の無機三態窒素やリンが不足する貧栄養化が引き起こされたのである。



グラフ 6 長期的な栄養塩類・水温の推移

出典：独立行政法人国立環境研究所(最終アクセス：2012/11/21)

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/39/10-11.html>

3-2 貧栄養化の被害

実際の貧栄養化の被害とはどのようなものなのか。播磨灘では基幹漁業種であるノリ養殖業において色落ちと品質低下被害が引き起こされている。ここでいう栄養分とは窒素やリンのことで栄養塩類と呼ばれている。特に海中の窒素の濃度が低下するとノリの色落ちが始まる。この色落ちが引き起こされる水中のリン濃度の基準値は $3\mu\text{mol/L}$ とされている。貧栄養化が進んできた 1995 年頃からノリの収穫期でもある 3 月ごろに基準値を下回るようになり、2000 年以降からはその基準値を下回る頻度が高くなった。ノリの収穫(=生産)は 12 月～翌 3 月ごろに行われるため、貧栄養化が進んで基準値を下回ることが増えるほど、

色落ちをさせずに収穫できる期間が短くなり、漁期が短縮されてしまうのである。また、漁期が短縮されてしまうことで十分に成長させることが出来ず生産量や品質に悪影響を与えている。

また、播磨灘でノリ養殖における色落ちが頻発し始めたのとほぼ同時期に養殖魚を除く漁業の生産量の低下も目立っており、水中の窒素濃度と一部の漁業種の漁獲量の関連性があるという事が疑われている。

色落ちした海苔は見た目の悪さだけではなく、アミノ酸等の不足により香り・味ともに質が下がってしまうため、消却されてしまうことがほとんどである。



写真3 色落ちしたノリと正常なノリの比較

出典：水産庁 HP(最終アクセス：2012/11/21)

http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h20_h/trend/1/zoom_p020.html

4 章 モデル分析

4-1 分析の目的

前章までで播磨灘地域における新たな問題を説明したが本章で自治体政府が規制値をどのように設定するのかを検討する。播磨灘は富栄養化地域の代表例として濃度規制からより規制の強い総量規制を行ってきており、その政策効果は大きかった。しかし現在はその過剰な規制により貧栄養化状態が発生し漁業者への被害が発生している。この問題は播磨灘水域特有であり現状他の閉鎖性水域においては発生していない。原因として考えられるのは過剰な規制であるが果たしてこの過剰な規制は何故起こってしまったのか、他の閉鎖性水域においては何故過剰な規制が行われなかったのか。簡単なモデルを利用しその原因を経済学的に分析していく。

4-2 モデルの仮定

- ・ 閉鎖性水域における代表的な養殖業者と製造業者を想定する。
- ・ 単純化のため播磨灘を含む閉鎖性水域の産業は養殖業と製造業のみと仮定する。
- ・ 自治体政府は規制値を定める事ができるが、その規制値は製造業、養殖業両者の利潤関数を足し合わせたものを最大化するものとする。

これらの仮定に基づいて本章のモデル分析で使用する記号を以下のように設定する。

$\pi_f(z)$: 養殖業者の利潤関数

K : 品質を価格に変換するパラメーター

\bar{q} : 品質 (最高値)

Q_f : 養殖品の生産量

q_f : 栄養量に関係なく育つ養殖品の量

γ : 成長係数

θ : 栄養塩が品質に与える損害係数

Z : 栄養量

Z^* : 閉鎖性水域における栄養状態分岐点

(栄養水準が Z^* 未満なら貧栄養化、 Z^* より大きいなら富栄養化状態となる)

Z_i : 当該水域の工場にとっての最適栄養量 ($Z_i > Z^*$)

(規制されていない水域においては富栄養化が進行することから上記のような関係を仮定する)

Z_w : 社会的に最適な栄養水準 (理論規制値)

(政府は Z_w を求めその値を以て規制値とするのが社会的に望ましい)

Z_G : 実際の規制値

π_i (Z) : 工場の利潤
 P_i : 製品価格
 P_f : 養殖品価格
 Q_i : 製品生産量
 α : 汚染係数
 N_i : 工場数
 N_f : 漁業者数
 W (N_i, N_f, Z) 社会的利潤

これらの記号を用い経済モデルを以下のように設定する。

・養殖業者の利潤関数 : $\pi_f = P_f Q_f - C_f$

P_f は海苔の品質によって決まると考えられるため $P_f = k(\bar{q} - \theta |Z - Z^*|)$ が成り立つ。(Z が Z^* から離れるほど品質は下がっていく)

Q_f は海苔の生産量を表す。流入する栄養量によってその生産量は変化すると仮定すると $Q_f = (1 + \gamma Z) q_f$ とおけるので上式は下式のように置き換えられる。

$$\pi_f = k(\bar{q} - \theta |Z - Z^*|)(1 + \gamma Z) q_f - C_f$$

・工場の利潤関数 : $\pi_i = P_i Q_i - C_i Q_i^2$

製品の生産に伴い窒素やリン等の栄養塩が発生すると仮定すると $\alpha Z = Q_i$ が成り立つ。この関係式を用いて下式のように置き換えられる。

$$\pi_i = P_i \alpha Z - C_i \alpha^2 Z^2$$

・社会的純便益 : $W(N_f, N_i, Z) = N_f \pi_f(Z) + N_i \pi_i(Z)$

政府が動かせるのは上記のパラメーターの内の規制値 Z_w のみであると仮定し、規制値の変動によって動くパラメーターも Z のみであるとする

4-3 分析

まず養殖業者にとっての最適点を求めていく。河邊克己氏 (1987 年) によると養殖業は貧栄養状態にあるよりも富栄養状態にある方が望ましいため $Z_f > Z^*$ と仮定できる。その仮定の下 Z_f の値を求めていく。

4-3-1 Z_f を求める

a) $Z > Z^*$ の場合

利潤関数は $\pi_f = k(\bar{q} - \theta(Z - Z^*))(1 + \gamma Z) q_f - C_f$ となる。

$$\frac{\partial \pi_f}{\partial x} = 0 \text{ が成立すればよいので式を解くと}$$

$$Z = \frac{\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)}$$

が得られる。ここで最適点は

$$Z_f = \begin{cases} 1) \frac{\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)} & \text{if } Z_f - Z^* > 0 \\ 2) Z^* & \text{if } Z_f - Z^* \leq 0 \end{cases}$$

となる。

b) $Z \leq Z^*$ の場合

$\pi_f = k(\bar{q} + \theta(Z - Z^*))(1 + \gamma Z) - q_f - C_f$ であるから a) と同様に最大化問題を解くと

$$Z = \frac{\theta(\gamma Z^* - 1) - \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)}$$

が得られるため

$$Z_f = \begin{cases} 1) \frac{\theta(\gamma Z^* - 1) - \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)} & \text{if } Z_f - Z^* < 0 \\ 2) Z^* & \text{if } Z_f - Z^* \geq 0 \end{cases}$$

となる。

このうち $Z_f > Z^*$ を満たすのは

$$Z_f = \frac{\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)} \quad \text{である。}$$

さらに $Z_f > Z^*$ の仮定より以下のような関係が成り立っていると考えられる。

$$Z_f - Z^* = \frac{-\theta(\gamma Z^* + 1) + \bar{q}\gamma}{2(\gamma\theta)} > 0$$

よって以下のような不等式が得られる。

$$\bar{q}\gamma - \theta(\gamma Z^* + 1) > 0 \quad \dots \textcircled{1}$$

続いて Z_w (社会的最適点) を求めていく。

4-3-2 Z_w を求める

a) $Z > Z^*$ の場合

社会的利潤は以下ようになる。

$$W(N_f, N_i, Z) = N_f(k(\bar{q} + \theta(Z - Z^*))(1 + \gamma Z) - q_f - C_f) + N_i(P_i \alpha Z - C_i \alpha^2 Z^2)$$

よって

$$\frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \text{ を解くと}$$

$$Z = \frac{N_f q_f k(\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} \text{ であるから}$$

Z_w は次のようになる

$$Z_w = \begin{cases} 1) \frac{N_f q_f k(\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} & \text{if } Z_w - Z^* > 0 \\ 2) Z^* & \text{if } Z_w - Z^* \leq 0 \end{cases}$$

※ Z_w と Z^* の大小関係について

$$\begin{aligned} Z_w - Z^* &= \frac{N_f q_f k(\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} - Z^* \\ &= \frac{N_f q_f k(\theta(-\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha - N_i C_i \alpha^2 Z^*}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} \\ &> \frac{N_f q_f k(\theta(-\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha - N_i C_i \alpha^2 Z_i}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} \\ &= \frac{N_f q_f k(\theta(-\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i \pi'(Z_i)}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} > 0 \end{aligned}$$

$$(\because \bar{q}\gamma - \theta(\gamma Z^* + 1) > 0)$$

$$\therefore Z_w > Z^*$$

よって

$$Z_w = \frac{N_f q_f k(\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)}$$

となる。

4-3-3 政策誤差分析

・既存の経済モデルとの違い

既存のモデルとの違いは貧栄養化の影響を考慮しているかどうかである。現在の規制値 Z_G は Z_w から乖離することになるがその乖離を政策誤差と定義する。

貧栄養化の影響を考慮しているかどうかは具体的に以下のように区別する。

貧栄養化の影響を考慮する場合： $\bar{q}-\theta|Z-Z^*$

貧栄養化の影響を考慮しない場合： $\bar{q}-\theta|Z$

今回想定しているモデルの場合貧栄養化、富栄養化で影響を受けるのは養殖業のみである。貧栄養化を考慮する場合は栄養状態分岐点 Z^* に近づけば近づくほど被害が減少するが考慮しない場合は Z を小さくすればするほど被害が減少するようになっている。

・ Z_G を求める

貧栄養化の影響を考慮しない場合社会的利潤は以下のように表せる。

$$W(N_f, N_i, Z) = N_f(k(\bar{q}-\theta(Z)(1+\gamma Z) - q_f - C_f) + N_i(P_i\alpha Z - C_i\alpha^2 Z^2))$$

$$\frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \text{ を解くと}$$

$$Z_G = \frac{N_f q_f k(-\theta + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)}$$

現状の閉鎖性水域においては

よって $Z_w - Z_G$ (政策誤差)

$$\frac{-N_f q_f k(\theta(\gamma Z^* - 1) + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} - \frac{N_f q_f k(-\theta + \bar{q}\gamma) + N_i P_i \alpha}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} = \frac{N_f q_f k \theta \gamma Z^*}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)}$$

となる。

この政策誤差を変形すると誤差が大きくなる要因が分かる。

$$\begin{aligned} \text{政策誤差} &= \frac{N_f q_f k \theta \gamma Z^*}{2(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)} \\ &= \frac{Z^*}{2\left(1 + \frac{N_i C_i \alpha^2}{N_f k \theta \gamma q_f}\right)} \end{aligned}$$

4-3-4 政策誤差の比較静学分析と考察

上式で表された政策誤差がそれぞれのパラメーターの変化によってどのように変化するかを分析していく。

a) Z^* について

Z^* が大きくなると政策誤差も大きくなる事が分かる。 Z^* は栄養状態分岐点であるからその地域の地理的、天候的要素が影響するものであるため地域性を考慮することができると考えられる。但し播磨灘においてこの値が大きくなるのか、小さくなるのかは調査が必要であり本稿では明確な結論をだすことはできない。

b) θ (栄養塩による損失係数)について

θ が大きくなると政策誤差は大きくなってしまふ事が分かる。モデルの仮定で説明したように θ の大きさについては地域差が出る。他の閉鎖性水域と比べ播磨灘はあさりや魚類ではなく海苔の養殖が盛んであることから比較的 θ が大きいと考えられる。よって播磨灘水域においては政策誤差が大きくなってしまふ。

c) N_f (養殖業者数)について

N_f が大きくなると政策誤差も大きくなる事が分かる。さらに二回微分は負であることから N_f が与える影響の変化率は N_f が大きくなるにつれて小さくなる。

d) N_i (工場数)について

N_i が大きくなると政策誤差が小さくなる事が分かる養殖業者とは違い 2 回微分は正であることから N_i が与える影響の変化率は N_i が大きくなるに連れて小さくなる。

4-4 播磨灘の貧栄養化現象についての考察

政策誤差を Z^* 、 θ 、 N_f 、 N_i について比較静学分析すると以下のようなになる。

	$Z^* \uparrow$	$\theta \uparrow$	$N_f \uparrow$	$N_i \uparrow$
政策誤差	増大	増大	増大	減少
栄養状態	貧栄養傾向			富栄養傾向

表 10 各パラメーターが政策誤差に与えている影響

貧栄養化現象とはこの政策誤差が大きくなることで政府が定める規制値が Z^* (栄養状態分岐点) を下回っている状態と考えることができる。(図 3) よって貧栄養化が発生している播磨灘においては誤差が大きくなってしまっているといえる。誤差が大きくなる方に働くパラメーターは N_i と θ で小さくなる方に働くのは N_f である。以上のことから Z^* については未知であるが N_i と θ の影響の方が N_f の影響よりも大きい可能性が高いといえる。特に N_i は地域毎の差がそれほど大きくないため養殖形態等で変動する θ の影響によるものが大きいと考えられる。実際富栄養化、貧栄養化の影響はあさりや魚類等他の養品と比べて海苔養殖に与える被害が大きい。つまり播磨灘地域においては富栄養状態から派生する被害を

受けやすく、自治体政府は必要以上に規制値を強めてしまった。その結果今日の貧栄養化という現象が起こってしまったと考えられる。

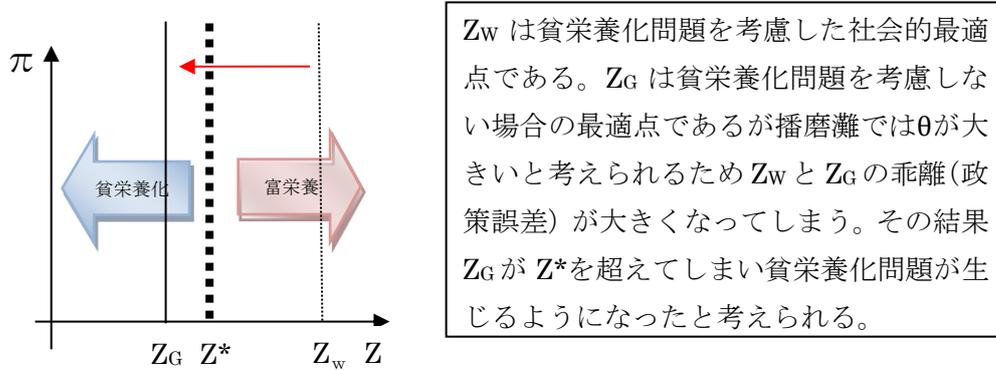


図3 貧栄養化が起こる原因

4 - 5 間接規制の分析

今まで政府は直接規制で規制を行ってきたが、間接規制で規制した場合はどうなるのかを考察していく。政府は企業の排出量が目標値になるように従量税をかけるを考える。先ほどの直接規制と同様に貧栄養化を考慮している場合と考慮していない場合でその誤差を分析していく。

・貧栄養化を考慮していない場合（品質損害の部分が $\theta(Z)$ の場合）
 税率を t と置くと企業の利潤関数は以下ようになる。

$$\pi_i = P_i \alpha Z - C_i (\alpha Z)^2 - tZ$$

利潤最大可条件は

$$\frac{d\pi_i}{dZ} = 0$$

を満たすことなので

$$P_i \alpha - 2C_i \alpha^2 Z - t = 0$$

貧栄養化を考慮しない場合、最適な排出量は Z_G となるのでそのような排出量を達成するために必要な税率は

$$t_G = P_i \alpha - 2C_i \alpha^2 Z_G = \frac{(\alpha k r N_f P_i + (\alpha^2 k C_i \theta - \alpha^2 k \bar{q} r C_i) N_f) q_f}{(k r \theta N_f q_f + \alpha^2 C_i N_i)}$$

となる。

・貧栄養化を考慮する場合（品質の損害の部分が $\theta(Z - Z^*)$ の場合）
 先程と同様に考えると

$$t_W = P_i \alpha - 2C_i \alpha^2 Z_W = \frac{(\alpha k r N_f P_i - \alpha^2 k r C_i \theta N_f Z^* + (\alpha^2 k C_i \theta - \alpha^2 k \bar{q} r C_i) N_f) q_f}{(k r \theta N_f q_f + \alpha^2 C_i N_i)}$$

となる。よって税率の政策誤差は

$$t_G - t_W = \frac{\alpha^2 k \gamma C_i \theta N_f Z^*}{(N_f k \theta \gamma q_f + N_i C_i \alpha^2)}$$

となり、整理すると

$$t_G - t_W = \frac{Z^*}{\left(\frac{1}{\alpha^2 C_i} + \frac{N_i}{N_f \theta k \gamma q_f}\right)}$$

が得られる。

分析 4-3 と同様に Z^* 、 θ 、 N_f 、 N_i について比較静学分析すると以下のようになった。

	$Z^* \uparrow$	$\theta \uparrow$	$N_f \uparrow$	$N_i \uparrow$
政策誤差	増大	増大	増大	減少
栄養状態	貧栄養傾向			富栄養傾向

表 11 間接規制による誤差の比較静学分析結果

分析 4-3 で考察した 4 つのパラメーター Z^* 、 θ 、 N_f 、 N_i の変化が政策誤差に与える影響は概ね変わらないことが分かる。しかし $C_i \alpha^2$ の部分に関しては直接規制による政策誤差と間接規制による政策誤差で明らかに異なっていることが分かる。次項ではこの $C_i \alpha^2$ の部分に着目し間接規制と直接規制のどちらを採用した方が誤差が小さくなるのかを論じていく。

4 - 6 直接規制と間接規制の比較

以下直接規制による政策誤差を EDR(Error of Direct Regulation), 間接規制による政策誤差を EIR(Error of Indirect Regulation) と呼ぶ。

$C_i \alpha^2$ は企業の利潤関数においてコストパラメーターとなっている。よって $C_i \alpha^2$ の値が上昇するということは工業製品生産コストが上昇することを表し下落することは生産コストの減少を表す。

まず直接規制による政策誤差は工業製品生産コストにどのような影響を与えるかを示す。

$$EDR = \frac{Z^*}{2\left(1 + \frac{N_i C_i \alpha^2}{N_f \theta k \gamma q_f}\right)}$$

であるので生産コスト ($C_i\alpha^2$) が上昇すると反比例的に EDR は減少していく。

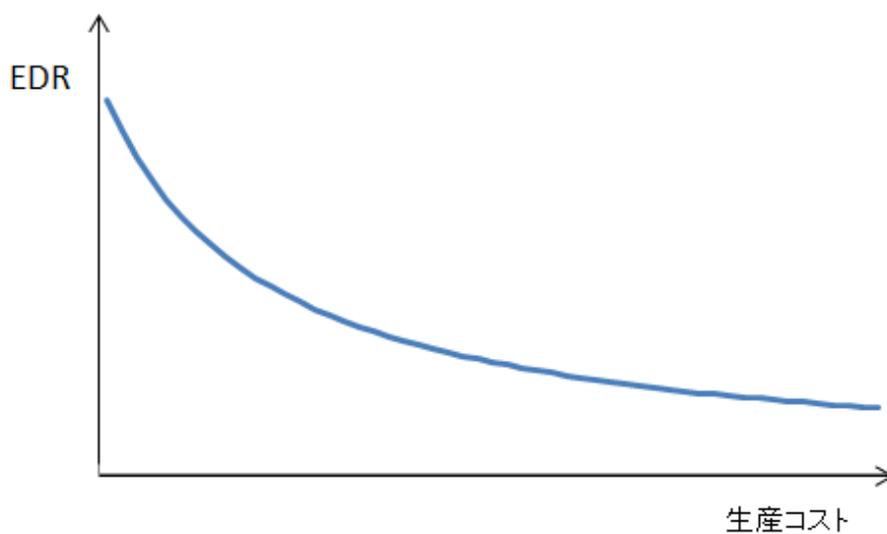


図 4 生産コストの変動が政策誤差 (EDR) に与える影響 (直接規制)

次に間接規制の場合を見ていくと

$$EIR = \frac{Z^*}{\left(\frac{1}{\alpha^2 C_i} + \frac{N_i}{N_f \theta k \gamma Q}\right)}$$

であるから生産コストが上昇すると EIR も増えていくことが分かる。

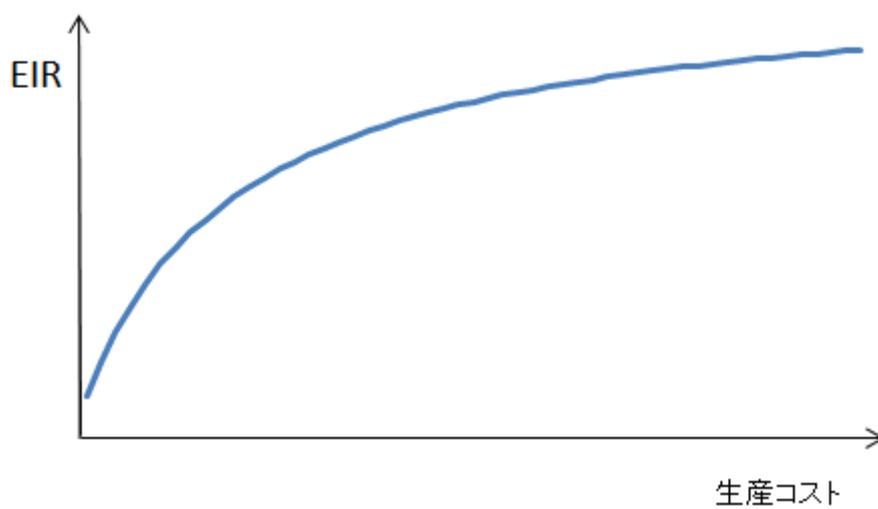


図 5 生産コストの変動が政策誤差に与える影響 (間接規制)

以上直接規制による政策誤差（EDR）と間接規制による政策誤差（EIR）の変化を見ていくことで生産コストが低い場合は間接規制を生産コストが高い場合は直接規制を導入した方が政策誤差は小さくなることが分かった。

直接規制と間接規制どちらを採択すべきかは生産コストが大きくなるのか小さくなるのかで決まると考えられる。しかし、年月が経つにつれて技術革新が進み生産設備が進歩していくとすれば、生産コストは下がることが予想される。よって政策誤差が大きく、貧栄養化問題が起こっている閉鎖性水域では生産コストが低下すると政策誤差が小さくなる間接規制の方が望ましい。つまり、間接規制を導入することで、政策誤差は徐々に小さくなり、貧栄養化問題が解決の方向に向かうのである。このことから、現在、播磨灘で行われている直接規制は政策として、間違っており、私達は播磨灘における排出規制として、税金による間接規制を提案したい。

5章 結論

本稿では播磨灘において貧栄養化という他の閉鎖性水域では見られない問題が発生していることに着目し、何故この問題が起こっているのかを分析した。政策誤差の各種パラメーターについて比較静的に分析した結果、播磨灘で貧栄養化を引き起こしうる要因はいくつかあり今回は栄養塩による損害係数 θ に注目した。 θ の大きさは貧栄養化による栄養不足や富栄養化による赤潮被害に対する弱さを表していて、藻類は、あさりや魚類といった他の水産物と比べ、特にそれらの被害に対し脆弱である。そのため藻類である海苔の養殖が盛んな地域の θ は比較的大きくなると仮定した。播磨灘水域は海苔養殖が盛んで漁業生産額の約 40% を占めており、播磨灘産の海苔は特産品としても有名である。そのため播磨灘水域における損害係数 θ は大きくなると考えた。その θ の大小関係から播磨灘水域において貧栄養化が起こったことを説明しようと試みたのが本稿におけるモデル分析である。但しモデル分析ではパラメーターは θ の他に Z^* , N_p , N_i もあり本来ならそれらの大小関係も考慮する必要がある。厳密な分析においてはそれ際それぞれのパラメーターがどれほどの大きさに政策誤差に影響を与えるかを考慮する必要もあるだろう。

また原因が判明したとしても現在の貧栄養状態を解決する効率的な手段を考えることが課題として依然残っている。

私達は現政策である直接規制が政策として妥当であるか疑問に感じ、税金による間接規制を行った場合で考察をした。その結果、税金による間接規制を行うことで、政策誤差が小さくなり、貧栄養化問題は解決の方向に向かうと分析し、現政策に代わる政策を提案した。この結果は今後工場の生産設備の技術革新が進むことを前提としているがその妥当性についても本来なら議論すべきであったと思う。

また、本稿では静学モデルによる分析を行ったが、動学モデルで分析を行えば、より深

い議論ができたろう。これら2つが本稿の課題であると言える。

既存の環境政策は環境だけに配慮する側面があった。しかし、本稿で取り上げたように、過剰な規制が環境と経済双方に悪影響を及ぼすことがあるとが示された。よって、今後環境と経済が両立されるような環境政策が行われ、本稿で取り上げたような問題が起こらないことを切に願う。

参考文献

- 『大阪湾・播磨灘 富栄養化対策』(最終アクセス：2012/11/20)
<http://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/JPN/apr/boshu/kougai/2-1-3-1.pdf>
- 『大阪湾及び播磨灘の COD 対策並びに大阪湾の富栄養化対策』兵庫県 HP (最終アクセス：2012/11/21)
http://www.google.co.jp/search?sourceid=navclient&aq=&oq=%e5%8a%a0%e5%8f%a4%e5%b7%9d%e5%b8%82%e3%80%80%e5%af%8c%e6%a0%84%e9%a4%8a%e5%8c%96%e5%af%be%e7%ad%96&hl=ja&ie=UTF-8&rlz=1T4SNJB_jaJP451JP453&q=%e5%8a%a0%e5%8f%a4%e5%b7%9d%e5%b8%82%e3%80%80%e5%af%8c%e6%a0%84%e9%a4%8a%e5%8c%96%e5%af%be%e7%ad%96&gs_l=hp....0.0.0.163501.....0.pDkZ-1-8X2Q
- 『栄養塩推移』 独立行政法人国立環境研究所(2012/11/21)
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/39/10-11.html>
- 『色落ち海苔問題』 水産庁 HP(最終アクセス：2012/11/21)
http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h20_h/trend/1/zoom_p020.html
- 『転機に立つ日本水産業』 日本漁業経済学会(九州大学出版会)1988
- 『水産の 21 世紀 海から拓く食料自給』田中克 川合真一郎 谷口順彦 坂田泰造(京都大学学術出版会)2010
- 『揖保川詳細』 国土交通省 HP(2012/11/20)
http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/86064/86064-1.html
- 『ノリの基礎知識』 ノリの基礎講座(2012/11/20)
<http://www.nori-japan.com/kisokouza/kiso-main2.html>
- 『養殖業全体の推移』 瀬戸内海環境情報センター(最終アクセス：2012/11/20)
http://seto-eicweb.pa.cgr.mlit.go.jp/env/theme/a_weight3.html
- 『業者数推移』 一般財団法人 海苔増殖振興協会 HP (最終アクセス：2012/11/20)
<http://nori.or.jp/information/setouchi/hyogo.html>
- 『特筆すべき環境情報・課題』 瀬戸内海環境情報センター(最終アクセス：2012/11/21)
http://seto-eicweb.pa.cgr.mlit.go.jp/env/area/00_list.html
- 『全種類 瀬戸内海全体』 瀬戸内海環境情報 2012 センター(最終アクセス：2012/11/20)
http://seto-eicweb.pa.cgr.mlit.go.jp/env/env_006.html
- 『平成 22 年度工業統計調査』 兵庫県
- 『播磨工業地帯と姫路港』 立命館大学 山口平四郎
- 『閉鎖性水域における水質改善政策の便益帰着分析と汚濁負荷削減量配分』
高木朗義、武藤慎一、上田孝之、稲垣貴政 土木学会論文集 No.702
- 『富栄養』 水産庁 社団法人日本水産資源保護協会

『閉鎖性水域における地域個体群の生態的環境と競争的漁業』鈴木康夫
滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol.8 No.1 2011

『閉鎖性水域での競争的漁業と生態系的環境及び地域（局所）的 TAC』
鈴木康夫 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol.9 No.1 2012

『東京大学海洋アライアンス 知の羅針盤』（最終アクセス：2012/11/20）
<http://www.oa.u-tokyo.ac.jp/rashimban/seitai/001/post-12.php>