

大分県豊後水道沿岸域における養殖漁場の水温・塩分からみた環境特性

岩野 英樹

Environmental Feature by Sea Water Temperature and Salinity in Aquaculture Farm along the Coastal Area of Bungo Channel, Oita Prefecture

Hideki Iwano

西日本の沿岸域では、1955年代にブリ *Seriola quinqueradiata* に代表される魚類養殖業が短期間のうちに普及し、沿岸漁業の中で重要な地位を占めるまでに発展してきた¹⁾。大分県における魚類養殖業についても、本県魚類養殖発祥の地である南海部郡米水津村米水津湾で、1958年に事業が開始²⁾されて以来、豊後水道沿岸の各地先に広く漁場を拡大し、今日まで順調に発展を遂げてきた。しかしその反面、1965年代以降、西日本の沿岸域では、漁場環境の悪化が目立ち始め、ブリの成長率の低下、病害の発生、赤潮の発生、酸素不足など好ましくない問題点が見られ始め³⁾、環境の保全と生産性の向上を両立させた持続性のある漁場の適正利用が望まれるようになってきている。

養殖漁場の適正利用のためには、漁場の持つ収容能力に見合った範囲内で養殖すべきであり、この収容能力は、海水流動等によって決まる漁場への酸素供給能力という形で表される³⁾。したがって、この漁場の収容能力を検討する上で、漁場の海水流動に関する知見が極めて重要になってくると考えられる。

ところで、杉浦⁴⁾は、湾内における水温、塩分の様な一般観測から得られる項目により漁場での海水流動に関する知見を得ており、水温、塩分を海水の動きという物理環境指標として考えるべきと指摘している。また、神菌⁵⁾は水温と塩分のデータを変数としたクラスター分析により、調査定点のクラス分けを行い、海域の区分を行っている。さらに、門谷⁶⁾は瀬戸内海においても内湾性の強いところほど、水温は夏に高く、冬に低く、その年較差が大きいこと、塩分は水道部から内部に入るほど低下するとしている。

このようなことから、養殖漁場の適正な利用を行うため、養殖漁場環境調査から水温、塩分を用いて海水流動に関する環境特性について検討し、若干の知見を得たので報告する。

なお、本稿を取りまとめるにあたり御指導ならびに御校閲をいただいた大分県海洋水産研究センター上城義信養殖環境部長及び現場調査などの研究実施に御協力いただいた養殖環境部の方々に厚く御礼を申し上げます。

材料と方法

1981年度から実施している養殖漁場環境調査の結果から得られたデータを用いた。調査は、毎年5月、8月、11月及び2月の年4回、図1に示す32調査点で行った。とくに、8月における鉛直安定度は、1981年度から1996年度の表層と底層の水温、塩分及び水深の各データを用いて、次式⁷⁾により求めた。

$$\text{鉛直安定度} = (\text{上層と下層の海水の密度差} ; \sigma') \div (\text{水深差} ; m) \times 10^{-5}$$

次に、各調査点の5月、8月、11月及び2月の表層における水温、塩分の代表値を、1981年度～1996年度までの16年間の平均値から求め、環境特性を検討した。まず、各湾の水温、塩分の傾向をみるため、各調査点の代表値を湾毎に平均化し、これを各湾の平均水温、平均塩分とした。また、各調査点の代表値を同じ湾別に標準化し、それぞれの特徴を比較した。さらに、代表値の8月と2月の差から年較差を求め、全調査点間で標準化し、水温・塩分の特性を比較検討した。最後に、先に求めた鉛直安定度、水温・塩分の年較差の標準化データを用いて、相関行列による主成分分析を行い、その結果に基づいて各養殖場の環境特性を検討した。

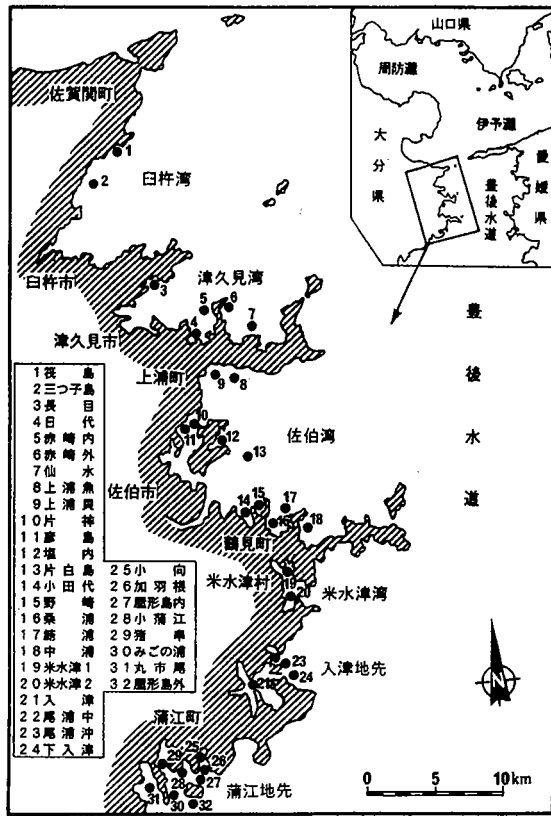


図1 養殖漁場環境調査定点
調査定点番号(数字1~32)と地区名

結果及び考察

1 水深、鉛直安定度の特徴

各調査点における水深を表1に示した。調査ポイントを特定の生け簀等により決めていないため、大きなバラツキが見られる。特に臼杵湾の三つ子、津久見湾の赤崎外、佐伯湾の上浦魚、上浦貝、彦島、塩内、片白島、野崎、鮪浦、中浦、入津地先の尾浦沖、下入津、蒲江地先の屋形島外では、10m以上の水深差があり、同一地区においてもかなりの水深差があることが分かる。平均水深が30m以上の比較深い調査点は、津久見湾の長目、赤崎内、赤崎外、佐伯湾の上浦魚、片白島、鮪浦の6調査点であった。同様に平均水深が20m以上30m未満は、臼杵湾の筏島、津久見湾の日代、仙水、佐伯湾の上浦魚、片神、塩内、小田代、野崎、中浦、米水津湾の米水津1、入津地先の入津、尾浦沖、蒲江地先の屋形島外の13点であった。同様に平均水深が10m以上20m未満の点は、臼杵湾の三つ子、佐伯湾の彦島、桑浦、米水津湾の米水津2、入津地先の尾浦中、下入津、蒲江地先の屋形島内、小蒲江、猪串、みごの浦、丸市尾の11点であった。さらに平

均水深が比較的浅い10m未満は、蒲江地先の小向、加羽根の2点であった。

また、鉛直安定度の特徴が顕著に見られると思われる8月について、その平均値及び標準偏差を図2に示した。平均値は、各調査点でそれぞれ特徴的であり、 $1.3 \times 10^{-5} \sim 14.6 \times 10^{-5}$ の範囲で変動した。湾奥部、枝湾内部、島嶼部付近などにある一般に内湾性の漁場といわれる調査点は、湾口部付近等にある一般に沖合性の漁場といわれる調査点に比べて、海水流動が弱く、夏季には密度成層が発達しやすいため、上下混合の起こりにくい安定した水塊構造が形成されやすいと言われている。この様なことから、成層の発達度合いを示す鉛直安定度の平均値が 10×10^{-5} 以上と比較的大きい値を示した彦島、入津、小向、加羽根、猪串の6点、及び平均+標準偏差が 10×10^{-5} 以上の値を示した片神、小田代、野崎、桑浦、屋形島内、小蒲江、丸市尾の7点でも、他の調査点に比べて、内湾性の特徴を備えた漁場であると考えられる。

表1 各調査点の水深

調査点名	水深(m)		
	最大	最小	平均
筏島	24	16	20
三つ子	22	7	17
長目	33	27	30
日代	30	21	26
赤崎内	41	32	38
赤崎外	54	42	45
仙水	27	21	24
上浦魚	44	22	37
上浦貝	36	14	24
片神	25	21	23
彦島	19	9	14
塩内	25	15	20
片白島	40	28	31
小田代	24	20	22
野崎	33	21	27
桑浦	20	14	17
鮪浦	39	25	34
中浦	34	21	28
米水津1	26	18	23
米水津2	19	14	17
入津	25	20	22
尾浦中	15	11	13
尾浦沖	38	23	26
下入津	37	10	18
小向	10	6	8
加羽根	11	7	9
屋形島内	16	10	12
小蒲江	19	16	18
猪串	21	19	19
みごの浦	24	15	19
丸市尾	16	13	15
屋形島外	33	12	26

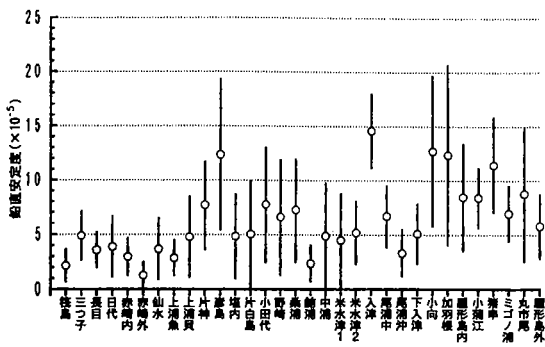


図2 各養殖場における鉛直安定度

2 水温・塩分変動に与える海水流動以外の要因

水温、塩分の変動に影響を与える要因のうち海水流動を除くと、まず第一に気象条件をあげることができる。そこで、気象庁アメダスデータの平年値が整備されている佐伯市と蒲江町の年間の平均気温と降水量について調べてみると、平均気温、年間総降水量がそれぞれ佐伯市が15.8℃、2,024mm、蒲江町が16.2℃、2,307mmと同程度の値を示した。このことから、少なくとも佐伯湾と蒲江地先では、水温、塩分の変動に与える気象条件の影響は、大きく変わらないものと推察される。

ところで、豊後水道の水温は、海面を通しての熱収支の他、速吸瀬戸を通しての瀬戸内海との熱交換や黒潮からの直接的な熱の水平移流の影響を受けて変動⁸⁾しており、また豊後水道には水道内部に存在する豊後水道水塊、その南に存在し黒潮の水と沿岸の水の混合によって形成される黒潮系水塊、さらに南に存在する黒潮(暖水舌)の3つの水塊があり、黒潮、黒潮系水塊、豊後水道水塊の順に水温が高い⁹⁾とされている。そして、県下の養殖場は、瀬戸内海に近い臼杵湾から黒潮に近い蒲江地区まで南北に長く延びる形で存在していることから、水温の異なる3つの水塊の影響を受けて、各湾の水温に違いが見られるものと予想されたため、各湾別に表層の平均水温を求め図3に示した。これによると、5月は、臼杵湾・津久見湾で17.3℃、佐伯湾で17.9℃、米水津湾・入津地先で18.6℃、蒲江地先で19.4℃であり、最南端の蒲江地先と最北端の臼杵湾・津久見湾の間で2.1℃の水温差が見られた。8月は、臼杵湾・津久見湾で24.0℃、佐伯湾で25.2℃、米水津湾・入津地先で25.2℃、蒲江地先で26.5℃であり、同様に2.5℃の水温差が見られた。11月は、臼杵湾・津久見湾で19.8℃、佐伯湾で19.8℃、米水津湾・入津地先で19.6℃、蒲江地先で20.4℃であり、同様に

0.6℃の水温差が見られた。2月は、臼杵湾・津久見湾で13.3℃、佐伯湾で13.6℃、米水津湾・入津地先で14.9℃、蒲江地先で16.0℃であり、同様に2.7℃の水温差が見られた。以上4つの湾における水温差は、11月の0.6℃を除き2.1℃~2.7℃と大きく、先に述べた水温の異なる3つの水塊の影響を受けて、緯度的に南に位置する湾ほど水温が高い傾向になっている。

次に、塩分に与える流入河川水の影響が考えられたので、表層における各湾の平均塩分を図4に示した。これによると臼杵湾・津久見湾は、5月が33.7、8月が33.2、11月が33.9、2月が34.5であった。佐伯湾は、5月が33.4、8月が32.8、11月が33.9、2月が34.4であった。米水津湾・入津地先は、5月が33.2、8月が33.0、11月が33.8、2月が34.6であった。蒲江地先は、5月が33.6、8月が33.2、11月が34.3、2月が34.7であった。このことから各湾ともに、8月が最低で、2月に最高を示した。湾による明確な違いは、最も低塩分化する8月に佐伯湾で顕著に見られ、湾奥部に流入する番匠川に近い調査点の影響を受けて、他の湾に比べて低い。他の湾は、付近に番匠川の様な大

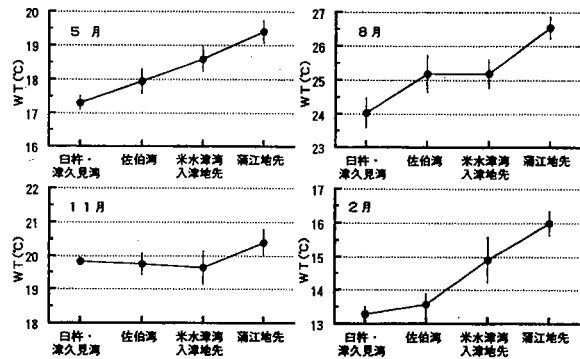


図3 湾別表層水温の季節変化
1981年度~1996年度の平均値

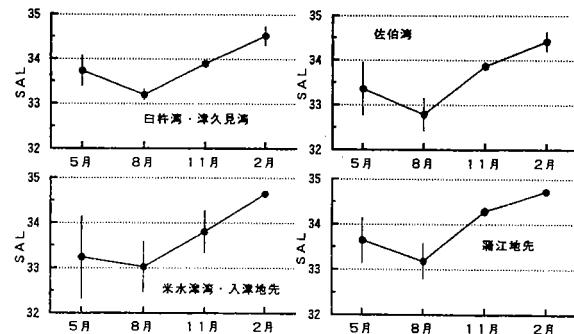


図4 湾別表層塩分の季節変化
1981年度~1996年度の平均値

河川水の流入はなく、この違いが影響したものと思われる。

この様に、海水流動以外で水温・塩分の変動に影響を与える要因として考えられたもののうち、豊後水道内にある水温の異なる3つの水塊や佐伯湾に流入する番匠川のような大河川の存在は、水温、塩分を県下の全調査点間で一斉に比較し、その結果を海水流動の強弱に関する指標として用いる際の阻害要因になるものと考えられた。

3 夏季、冬季における水温、塩分、及びその年較差による内湾性の比較

瀬戸内海において内湾性の強いところほど、水温は夏に高く、冬に低く、塩分は水道部から内部に入るほど低下する⁶⁾と言われている。そこで、8月(夏季)、2月(冬季)の水温、塩分の傾向から各調査点の内湾性について検討することとした。ただし、先に述べたとおり、全調査点を一斉に比較することが困難と思われるため、各調査点の代表値を湾単位に標準化することにして、その結果を図5-1~図5-4に示した。

臼杵湾・津久見湾のうち、日代、赤崎内、長目は、その位置から他の漁場に比べて8月に高水温・低塩分の傾向が強く、2月にやや低水温・低塩分の傾向が見られた。一方、赤崎外、仙水は、その位置から他の漁場に比べて8月に低水温・高塩分の傾向、2月に高水温の傾向が見られた。佐伯湾のうち、片神、彦島は、その位置から他の漁場に比べて8月に高水温、2月に低水温の傾向、8月の小田代、桑浦、野崎は他の漁場に比べて低塩分の傾向、2月の小田代、野崎は低水温・低塩分の傾向が見られた。一方、上浦魚、上浦貝、塩内は、8月に高塩分の傾向が見られた。米水津湾・入津地先のうち、入津は他の調査点に比べて8月に高水温・低塩分、2月に低水温・低塩分の傾向が著しく見られた。一方、尾浦沖、尾浦中、下入津は、入津に比べ8月が低水温・高塩分、2月が高水温・高塩分の傾向が見られた。蒲江地先のうち、他の調査点に比べて、猪串は8月に高水温・低塩分、小向は8月に低塩分、2月に低水温・低塩分の傾向が著しく見られた。一方、みごの浦は8月に低水温・高塩分、2月に高水温・高塩分、屋形島外は8月に高塩分、2月に高水温・高塩分の傾向が著しく見られた。

また、瀬戸内海において内湾性の強いところほど水温の年較差が大きい⁶⁾とも言われている。そこで、水温、塩分の年較差から見た漁場の内湾性について検討することにした。

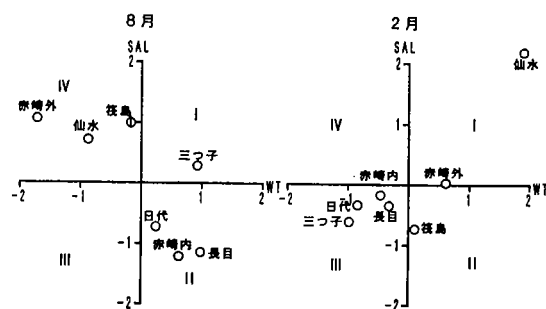


図5-1 臼杵湾・津久見湾における各養殖場の類型化(各養殖場の代表値を標準化)
I: 高水温・高塩分帯, II: 高水温・低塩分帯
III: 低水温・低塩分帯, IV: 低水温・高塩分帯

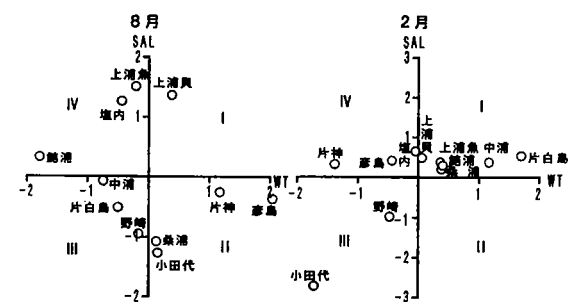


図5-2 佐伯湾における各養殖場の類型化(各養殖場の代表値を標準化)
I: 高水温・高塩分帯, II: 高水温・低塩分帯
III: 低水温・低塩分帯, IV: 低水温・高塩分帯

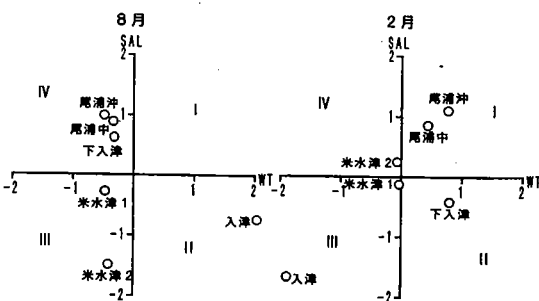


図5-3 米水津湾・入津地先における各養殖場の類型化(各養殖場の代表値を標準化)
I: 高水温・高塩分帯, II: 高水温・低塩分帯
III: 低水温・低塩分帯, IV: 低水温・高塩分帯

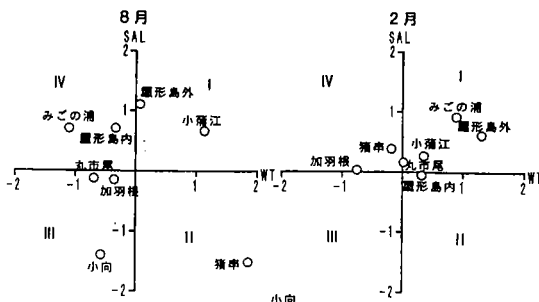


図5-4 蒲江地先における各養殖場の類型化(各養殖場の代表値を標準化)
I: 高水温・高塩分帯, II: 高水温・低塩分帯
III: 低水温・低塩分帯, IV: 低水温・高塩分帯

ところで、年較差を用いて調査点の内湾性を比較する場合、水温、塩分変動に与える水温の異なる3つの水塊や佐伯湾の番匠川の存在は、互いに打ち消され影響が小さくなると思われるため、全調査点一斉の比較が可能と考えられた。したがって、各調査点の水温、塩分の年較差を全調査点一斉に標準化することにし、その結果を図6に示した。年較差の標準化データは、水温、塩分とも0.99の標準偏差を示し、これを水温、塩分ともに上回った調査点は入津であり、水温、塩分の年較差が他の調査点に比べて大きいという特長が見られた。水温で標準偏差を上回りその年較差が他の調査点に比べて大きい調査点は、小田代、片神、彦島であった。また塩分で標準偏差を上回りその年較差が他の調査点に比べて大きい調査点は、猪串、小向、桑浦、米水津2であった。この他、野崎では水温、塩分の標準化データが0.88、0.89と標準偏差に近い値をとり、その年較差が他の調査点に比べて比較的大きい特徴を示した。

一方、水温または塩分の年較差の標準化データが負の値を示す他に比べて年較差の小さい調査点は、筏島、赤崎外、尾浦中、尾浦沖、下入津、みごの浦、屋形島外であった。

以上のことから、水温や塩分の年較差の大きい調査点は、他の調査点に比べて夏季(8月)に高水温や低塩分、冬季(2月)に低水温や低塩分の傾向が見られる場合が多く、気象の影響を受けやすい特性を備えていること、逆に年較差の小さい調査点は、他の調査点に比べて夏季(8月)に低水温、高塩分、冬季(2月)に高水温、高塩分の傾向が見られる場合が多く、気象の影

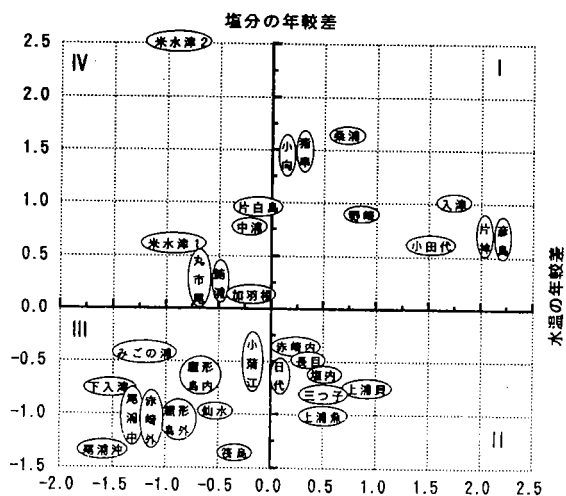


図6 各養殖場における水温、塩分の年較差年較差(8月と2月の差)を標準化

響を受けにくい特性を備えていることが窺える。気温や降水量等の気象条件に大きな違いがない場合、この気象条件の影響を受けた水温・塩分変動の大きさの違いは、海水流動の違いによるものと考えられ、瀬戸内海における内湾性の特徴⁶⁾と一致することがわかった。したがって、各調査点における水温、塩分の年較差の大小を比較することで、内湾性、沖合性の特徴をある程度、把握することができるものと考えられた。

4 鉛直安定度、水温・塩分の年較差による主成分分析

これまで、夏季の鉛直安定度、水温や塩分の年較差の大小が各調査点の漁場の内湾性を表すことができるということについて述べてきた。また、鉛直安定度は海水の鉛直方向的な動きを、水温・塩分の年較差は海水の水平方向的な動きの強弱をそれぞれ表しているものと思われる。そこで、その内湾性の強弱を総合的に判断する目的で、これらの異なる3つの情報を1つの数値として合成するため、多変量解析の手法の一つである主成分分析法を用いて検討し、その結果を表2に示した。ただし鉛直安定度については、 10^5 を乗じた値を用いた。

第一主成分の3つの固有ベクトルは、0.538~0.607の同程度の値であることから、第一主成分は、鉛直安定度、水温の年較差、塩分の年較差の情報を均一に反映しているものと思われる。また、第一主成分の寄与率は、第二、第三主成分に比べて大きく0.623を示し、最も集約度の高いものであった。さらに、第一主成分の3つの固有ベクトルは、正の値を示し、3項目とも内湾性が強いほど値が大きくなることから、第一主成分の値も内湾性が強いほど大きくなると言える。以上のことから、この第一主成分は、漁場の内湾性の強弱を表す指標値(漁場の内湾性指標値)として考えられ、以下の式で表された。

表2 標準化データによる相関行列を用いた主成分分析の結果

	第一主成分	第二主成分	第三主成分
塩分年較差の固有ベクトル	0.585	-0.516	0.626
水温年較差の固有ベクトル	0.538	0.824	0.177
鉛直安定度の固有ベクトル	0.607	-0.234	-0.760
固有値	1.868	0.654	0.478
寄与率	0.623	0.218	0.159
累積寄与率	0.623	0.841	1.000

第一主成分＝

$$0.607 \times (\text{鉛直安定度} - 6.34) / 3.33 \\ + 0.538 \times (\text{水温年較差} - 10.93) / 0.88 \\ + 0.585 \times (\text{塩分年較差} - 1.66) / 0.43$$

気象庁による気象情報の平年値に対する偏差の目安を示した地上気象観測統計指針¹⁰⁾を参考にして、内湾性指標値の基準値について検討した結果を図7に示した。その結果、やや内湾性に該当する基準値が1以上、かなり内湾性に該当する基準値が2以上、一方やや沖合性に該当する基準値が-1以下、かなり沖合性に該当する基準値が-1.5以下に設定された。この基準値に従うと、やや内湾性の漁場に分類された調査点は、佐伯湾の野崎、小田代、桑浦、片神、蒲江地先の加羽根、猪串の6点、かなり内湾性の漁場に分類された調査点は、佐伯湾の彦島、入津地先の入津、蒲江地先の小向の3点となった。一方、やや沖合性の漁場に分類された調査点は、津久見湾の仙水、佐伯湾の上浦魚、入津地先の尾浦中、蒲江地先の屋形島外の4点、かなり沖合性の漁場に分類された調査点は、臼杵湾の筏島、津久見湾の赤崎外、入津地先の下入津、尾浦沖の4点となった。

やや内湾性、かなり内湾性に分類された漁場のうち、小田代、野崎、桑浦の3点については、佐伯湾の湾奥部に位置する湾口に対して垂直に開く枝湾の中にある調査点であること、片神、彦島については、佐伯湾の湾奥部に位置する大入島、彦島により挟まれた島陰の入り江の中にある調査点であること、加羽根、小向については、その存在する蒲江湾の湾口部前方に屋形島が存在すること、猪串については、その存在する猪串湾口部前方に屋形島が存在し、湾口幅が若干狭くかつ湾口部に軽度のシルを有し、湾口幅に対して湾の奥行きが長いこと、入津については、その存在する入津湾口部に強度のシルが存在し、湾内は4つの枝湾に分か

れ複雑な海岸線を有していることなどの地形的特徴が見られる。これらの地形的特徴は、調査点の海水流動を弱めるものと思われ、今回の内湾性漁場の分類結果とは良く対応するものであった。

一方、やや沖合性、かなり沖合性に分類された漁場は、主湾内にあっても湾口部に直接面している筏島、赤崎外、仙水、上浦魚や、豊後水道に直接面している屋形島外、下入津、尾浦沖などである。これらの地形的・位置的特徴は、調査点の海水流動を妨げる働きが少ないものと思われ、今回の分類結果とは良く対応するものであった。

養殖漁場に酸素供給をもたらす、漁場の環境収容能力に影響を与えるという意味で重要である海水の流動に関する論議は、様々な形で展開されている。

まず、第一に地形的要素としてのアプローチである。これには、湾口幅、湾の面積、湾岸線の長さから求める湾口相対距離(X)と湾の形状の単純度(Y)の和で示される開放度¹¹⁾と、湾口から湾奥までの長さ、湾内の周囲の長さ、湾口幅、湾内の表面積、湾内の最大水深、湾口部の最大水深により示される閉鎖度¹²⁾の2つがあり、双方ともに、その地形的要素から海水流動を類推するものである。このうち開放度については、漁場の類型化の指標としての有効性が言われており¹³⁾、また閉鎖度については、地形形状を特徴づける指標として適用され、海水交換能力と負の相関関係にある¹²⁾と言われている。しかし、これらの2つの方法は、沿岸海域を相互比較する有力な方法であるとしながらも、似通った値を持つ海域についての精度の高い議論には、不十分な可能性がある³⁾と言われている。また、これらの方法では、同一主湾に存在する複数の枝湾内や、島嶼部の影響を受ける島陰、湾外に存在する沖合については、それぞれ別々に表現することが難しいように思われる。

第二に海水流動を直接測定する方向からのアプローチである。これについては、武岡³⁾が各調査点で直接流動調査を行い、その結果から海水交換速度(海水交換時間)を求め、漁場の類型化を図る必要性を述べている。この方法が、最も有効な方法であると思われるが、海水交換速度の推定には、高度な知識と手法が必要とされており、今後、パソコン等を利用した簡便な方法の開発・普及が望まれるところである。

今回、海水流動の特徴を検討するにあたり、水温、塩分からのアプローチを試み、その年較差、及び鉛直安定度を複合した結果から漁場の内湾性の強弱について比較した。この方法は、気象的条件が同じであるこ

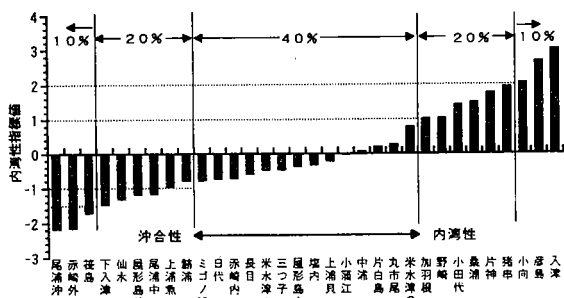


図7 各調査点の内湾性指標値

(内湾性指標値：水温年較差、塩分年較差、鉛直安定度の主成分分析による第一主成分)

との前提条件が付随するものの、水温、塩分の2つの身近な観測データの蓄積により簡単に検討できること、枝湾内や島嶼部にある島陰の漁場、湾外にある沖合の漁場など全ての調査点について、表現が可能であることなどの利点があり、前述の2つの方法とは、別の意味で有効な方法の一つであると考えられる。

ところで、豊後水道沿岸域の水温を急激に変化させる現象として急潮現象¹⁴⁾が知られているが、今回の検討にはその影響を考慮に入れていない。急潮現象の影響は、豊後水道東側沿岸域（四国側）に比べて西側沿岸域（大分県側）は比較的弱い¹⁵⁾ものと思われるが、大分県沿岸域と外洋（豊後水道）との相互作用に関する今後の詳細な研究結果によっては、その影響を考慮に入れて検討する必要性が生じる可能性もあることを付記しておきたい。また、今後実際に現場での海水流動の強弱を知るための流向・流速調査を実施する予定にしており、その平均流速等の結果と今回の結果とを是非比較してみたいと考える。さらに今後、底質環境について検討を行う際には、今回得られた漁場の内湾性指標の結果と底質環境の相関について検討を加える予定である。

摘 要

1. 海水流動からくる内湾性の特性をよく表した8月の鉛直安定度、表層の水温・塩分の年較差を用いた主成分分析により、内湾性指標を作成した。
2. 今回作成した内湾性指標により、内湾性の強い漁場に分類されたのは、片神、彦島、小田代、野崎、桑浦、入津、小向、加羽根、猪串の9点、沖合性の強い漁場に分類されたのは、筏島、赤崎外、仙水、上浦魚、尾浦中、尾浦沖、下入津、屋形島外の8点であった。
3. 内湾性指標による漁場の分類結果は、地形的・位置的特徴と比較的一致し、海水流動の特性を良く表した。内湾性指標は、水温・塩分の身近な観測データの蓄積により、枝湾内、島陰、湾外を含むすべての漁場で表現が可能であり、海水流動の特性を知る有効な方法の一つであることがわかった。

4. 今後、内湾性指標と流向・流速調査による平均流速等について比較検討するとともに、底質環境との相関についても近い将来検討を加える予定である。

文 献

- 1) 日本水産学会編：浅海養殖と自家汚染，恒星社厚生閣，東京，1977，pp9.
- 2) 福田 稔，樋下雄一，渡辺隆道，三宅和仁：ブリ養殖における混合餌量の実用性－Ⅱ 養殖現場における使用例．大分県水産試験場調査研究報告，13，13-19(1988).
- 3) 武岡英隆，大森浩二：底質の酸素消費速度に基づく適正養殖基準の決定法，水産海洋研究，60(1)，45-53(1996).
- 4) 杉浦健三：漁場での水温、塩分からの海況の見方（指標としての意味）．水産土木，16(1)，37-42(1980).
- 5) 神園真人：周防灘西部のクラスター分析による海域区分について．福岡県豊前水産試験場研究業務報告，211-213(1982).
- 6) 門谷 茂：瀬戸内海の生物資源と環境，岡市友利，小森星児，中西 弘編，恒星社厚生閣，東京，1996，pp. 9-11.
- 7) 田森裕茂，岩男 昂，神園真人，吉田幹英，池田武彦，馬場俊典，小泉喜嗣，内間満明，三浦秀夫，矢沼 隆：西部瀬戸内海における *Gymnodinium nagasakiense* の初期出現域とその環境特性．日本誌，57(12)，2179-2186(1991).
- 8) 秋山秀樹，真田康広：豊後水道における水塊分布の季節変動，南西外海の資源・海洋研究，13，1-20(1997).
- 9) 愛媛県水産試験場，愛媛大学工学部：急潮現象予知手法開発研究報告書，1992，pp3-4.
- 10) 気象庁：地上気象観測統計指針，1990，pp14-15.
- 11) 日本水産資源保護協会：養殖漁場管理定量化開発調査報告書，1988，pp10-13.
- 12) 中尾徹，松崎加奈恵：地形形状による富栄養化の可能性．海の研究，4(1)，19-28(1995).
- 13) (社)全国かん水養魚協会：魚類養殖対策調査事業報告書(養殖ガイドライン作成検討調査)，1995，pp74-76.
- 14) 宇野木早苗：沿岸の海洋物理学，東海大学出版会，東京，1993，pp. 468-471.
- 15) 秋山秀樹，阿南宏重，武岡英隆：豊後水道における表層水温場の変動特性，南西外海の資源・海洋研究，14，5-16(1998).