

2008年から2010年における福岡湾でのノリ、ワカメ養殖の 不作要因について

江藤 拓也・片山 幸恵・江崎 恭志
(研究部)

2008年から2010年にかけて福岡湾においてノリ、ワカメ養殖場で養殖期間中に水質調査を行った結果、両養殖場ともDINはノリ、ワカメに必要とされる栄養塩下限値をほぼ上回っていたが、DIPは養殖期間後半の1月頃から減少し、2月以降基準値を下回り、特にワカメ養殖場では0の値もたびたびみられた。このようにDIPが大きく減少した時期にノリは色落ちし、ワカメは葉体が流出したことから、養殖期間後半のノリの色落ちやワカメ葉体の流出はDIP不足により引き起こされていると考えられる。

ノリ、ワカメと植物プランクトンはともにDINやDIPを利用する競合関係にあるが、養殖期間後半には植物プランクトン量の指標となるクロロフィルaは、2010年のワカメ養殖場を除くといずれも低い値で変動しており、DIPの減少は植物プランクトンの増殖が原因でないと思われる。

3年間の養殖期間後半でのDIPは、ノリ、ワカメ養殖場<湾内全域<湾口外<湾外の順に高い値で変動しており、冬季の栄養塩収支モデルにおいて、近年、陸域から湾内へのリン供給量が少なくなり、リンが湾外から内湾へ移流していた結果と一致する。このことから、経年的なリン供給量の減少が冬季のリン不足を引き起こしていることが大きな要因となり、ノリ、ワカメの不作が生じていることが推察された。

キーワード：福岡湾、ノリ、ワカメ、栄養塩、リン供給量

福岡湾は福岡市に面した半閉鎖的な湾である。市内には多くの河川が存在し、河川水が湾内へ流入している。また、湾周辺には下水処理場が位置しており、処理水が湾内へ放流されている。このような閉鎖性が強い地形に加え、海水交換が悪く、¹⁾河川水などに含まれる高濃度の栄養塩が供給されることから、夏季には富栄養化により赤潮や貧酸素水塊が発生している。一方、冬季には経年的に栄養塩が減少しており、²⁻³⁾近年、ノリ、ワカメの不作年がたびたび発生していることから、⁴⁻⁶⁾ノリ、ワカメ養殖と栄養塩の関係を詳細に解析する必要がある。

このように栄養塩不足による養殖への影響が指摘されるが、⁴⁻⁶⁾栄養塩と養殖生産との関係や不作要因について詳細に解析した報告はない。

そこで、ノリ、ワカメの不作要因を明らかにするために2008年から2010年にかけてノリ、ワカメ養殖場と湾内全域及び湾口外、湾外の栄養塩を中心とした水質調査を行い、栄養塩と養殖生産との関係を検討した。さらにその結果と1980年から28年間のデータを用いた経年的・季節的な栄養塩収支モデル³⁾と比較し、解析を行った。

方 法

1. ノリ、ワカメ養殖の収穫量の推移

1984年から2010年におけるノリ、ワカメ養殖の収穫量を福岡市農林水産統計書⁷⁾から整理した。

ノリ養殖の収穫量は湾内の約99%を収穫している福岡市漁業協同組合姪浜支所（以下姪浜支所）、ワカメ養殖の収穫量は現在養殖を行っている福岡市漁業協同組合志賀島支所と弘支所（以下それぞれ志賀島支所、弘支所）の合計とした。なお、本報ではノリ及びワカメの養殖期間は前年の10～11月から翌年の2～3月頃までであるが、これらの養殖期間中に収穫されたものを養殖年として前年に一括して計上した。また、'10年の両養殖の収穫量は速報値を用いた。

2. ノリ、ワカメ養殖場の水質環境及び気象の推移

ノリ、ワカメ養殖場の調査点を図1に示す。

ノリ養殖場では2008年から2010年の10月から翌年3月

に、ワカメ養殖では11月から翌年3月にかけて調査を行った。調査は姪浜支所のノリ養殖場4地点と弘、志賀島支所のワカメ養殖場3地点で、原則として週1回、ノリ、ワカメ養殖施設と同じ水深である1.5m層で採水を行い、栄養塩類の測定を行った。栄養塩類 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$) はブランルーベ社製オートアナライザーTRAACS800で測定を行った。なお、測定値は検出限界以下 ($0.02 \mu\text{mol/L}$) の場合は0として取り扱った。

各養殖場1地点でJFEアドバンテック社製クロロフィル濁度計INFINITY-CLWを1.5m層に設置し、1時間おきに水温、クロロフィルa、濁度を実測した。原則として週1回、各地点で採水した後、実験室に持ち帰り、蛍光分析法⁸⁾に従いクロロフィルaを測定し、これを元にした検量線で水質センサーによって得られた値を補正した。気象条件の降水量は、気象庁⁹⁾の福岡観測点の日別データを用いた。

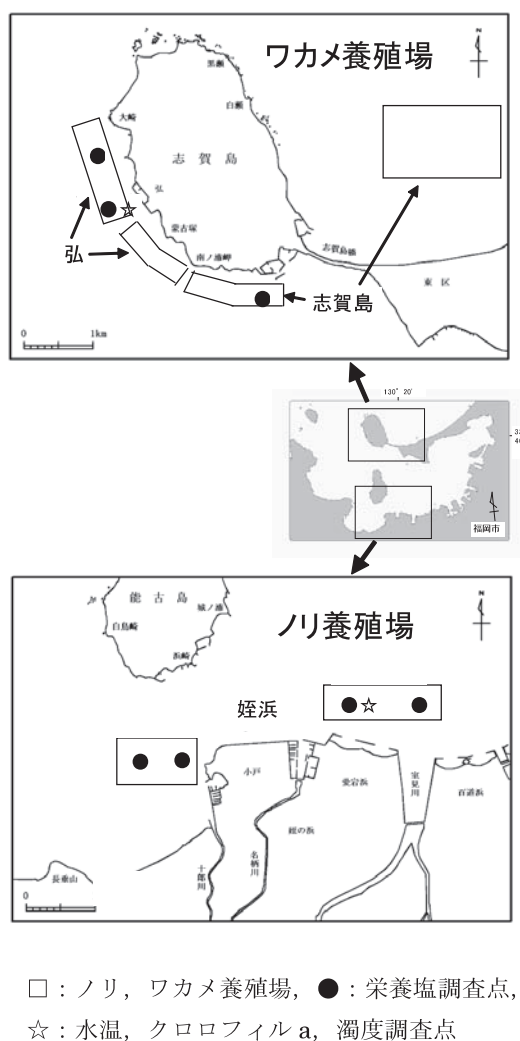


図1 ノリ，ワカメ養殖場の調査位置

3. 湾内全域と湾外のDIP変動

(1) 湾内全域

湾内全域の調査点を図2に示す。湾内12点の2m層（湾奥の3地点）又は5m層で毎月1回、採水を行い、DIPを測定した。なお、ノリ、ワカメ養殖場では水深が5～10mあり、養殖施設が水深1.5mに設置されており、これは水深の海面から2～3割に当たる。湾内全域では水深が5～25mであるため、採水層はノリ、ワカメ養殖場と同条件で比較するため、海面から水深の2～3割に当たる2m又は5m層とした。

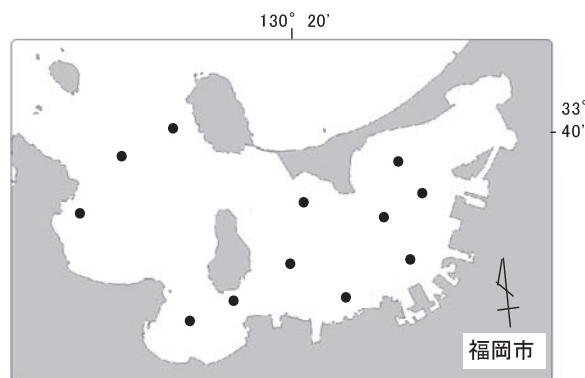


図2 湾内全域の調査位置

(採水層は湾奥の3地点では2m層，その他は5m層とする)

(2) 湾口外，湾外

湾口外，湾外の調査点を図3に示す。福岡湾から約0.5 km沖の地点（以下湾口外とする）と約3 km沖の地点（以下湾外とする）で毎月1回、両地点の10m層で採水し、DIPを測定した。なお、湾口外では水深が30m、湾外では水深が45mあり、採水層は湾内全域と同条件で比較するため、海面から水深の2～3割に当たる10m層とした。

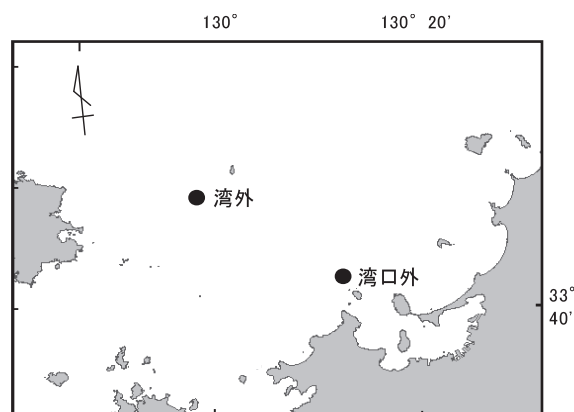


図3 湾外の調査位置

(採水層は湾口外，湾外とも10m層とする)

結 果

1. ノリ，ワカメ養殖の収穫量の推移

1984年から2010年の姪浜支所のノリ養殖，弘と志賀島支所のワカメ養殖それぞれの収穫量の推移を図4に示す。ここで，ノリ養殖の収穫量は変動幅が小さいことから26年間の平均値の9割未満を，ワカメ養殖の収穫量は減少幅が大きいことから27年間の平均値の4割未満をそれぞれ不作年とした。なお，ワカメ養殖は養殖年の2～3月と短期間で収穫されるが，ノリ養殖は長期間にわたり収穫されることから，本研究期間である2008年から2010年までの月別収穫量の推移を図5に示す。

ノリ養殖の収穫量は0.3 t から259 t の範囲であり，姪浜支所が養殖を開始した'85年は0.3 tであったが，その後急激に増加し，'92年は259 tと期間中の最高収穫量となった。その後やや減少し，ほぼ150～200 tの範囲であったが，'90，'96，'98，'03～'04，'06年に不作年が発生した。'04年は赤潮による栄養塩低下¹⁰⁾が原因であるが，その他の不作年の要因は明らかにされていない。本研究期間である'08～'10年は不作年に該当しないが，いずれも平均収穫量未満であった。'08～'10年の月別収穫量をみると，'08年は9 t から74 t，'09年は0 t から81 t，'10年は18 t から62 t の範囲であり，3年間とも12月は約25 tであったが，その後増加し，'08年と'09年は1月に約80 t，'10年は2月に62 tと期間中の最高収穫量となった。その後急激に減少し，3年間とも3月に20 t 未満となり，特に'09年は収穫できなかった。'05～'10年の月別平均収穫量の9割未満を不作月とすると，2月の'08年と'09年が，3月の'08～'10年がそれぞれ不作月に該当する。

ワカメ養殖の収穫量は0.3 t から1,355 t の範囲であり，'84年は1,139 tであったが，その後増加し，'85年は1,355 tと期間中の最高収穫量となった。その後急激に減少し，'93，'95，'96，'98及び'02～'05，'08～'10年に不作年が発生した。'93，'95，'96及び'98年の不作要因は，ワカメ葉体の先腐れであるが，'02，'04年は赤潮による栄養塩低下が原因¹¹⁾とされているが，その他の不作年の要因は明らかにされていない。本研究期間である'08～'10年はすべて不作年に該当する。⁽⁴⁻⁶⁾

2. ノリ，ワカメ養殖場の水質環境及び気象の推移

(1) 栄養塩の変動

'08～'10年における養殖期間中のDIN，DIPの変動を図6に示す。

1) ノリ養殖場

DINは'08年では3.7～46.6 $\mu\text{mol/L}$ ，'09年度では7.4～

62.1 $\mu\text{mol/L}$ ，'10年では6.3～45.7 $\mu\text{mol/L}$ の範囲であった。3年間とも概ね同様の変動を示し，10月上旬に約10 $\mu\text{mol/L}$ であったが，中旬から増加し，11月下旬から2月上旬にかけて約45～60 $\mu\text{mol/L}$ の最高値を示した。その後減少し，3月まで7～20 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で変動した。

DIPは'08年では0～0.75 $\mu\text{mol/L}$ ，'09年度では0～0.69 $\mu\text{mol/L}$ ，'10年では0～1.04 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で変動した。'08年と'09年は11月上旬に0.1 $\mu\text{mol/L}$ であったが，その後増加し，12月まで0.1～0.8 $\mu\text{mol/L}$ の高い値で変動した。'10年は11月上旬に0.3 $\mu\text{mol/L}$ であったが，その後低下し，10月中～11月下旬にかけて低い値で変動し，0の値もたびたびみられた。12月には増加し，1月上旬に1.04 $\mu\text{mol/L}$ の最高値を示した。その後，3年間とも1月中旬に急激に減少し，2月以降は0.4 $\mu\text{mol/L}$ より低い値で変動し，0の値もたびたびみられた。ノリ養殖場では3年間の2～3月のDIP平均値 (n=23) が0.06 $\mu\text{mol/L}$ であり，ノリに必要な栄養塩下限値0.50 $\mu\text{mol/L}$ より低い値であった。

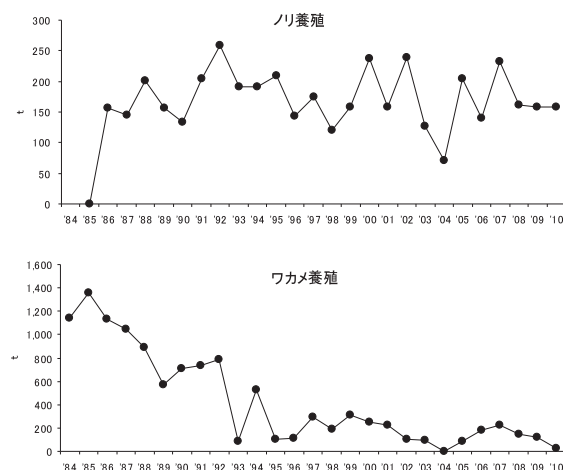


図4 ノリ，ワカメ養殖の収穫量の推移

(ノリは姪浜支所，ワカメは弘と志賀島支所の合計とする)

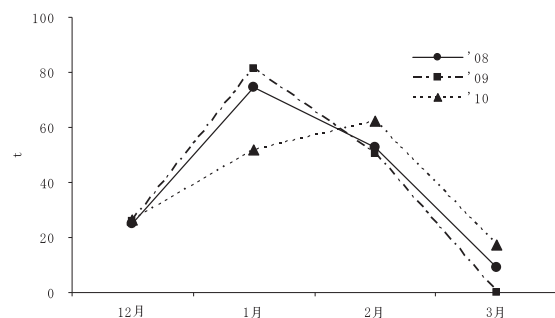


図5 ノリ養殖の月別収穫量の推移

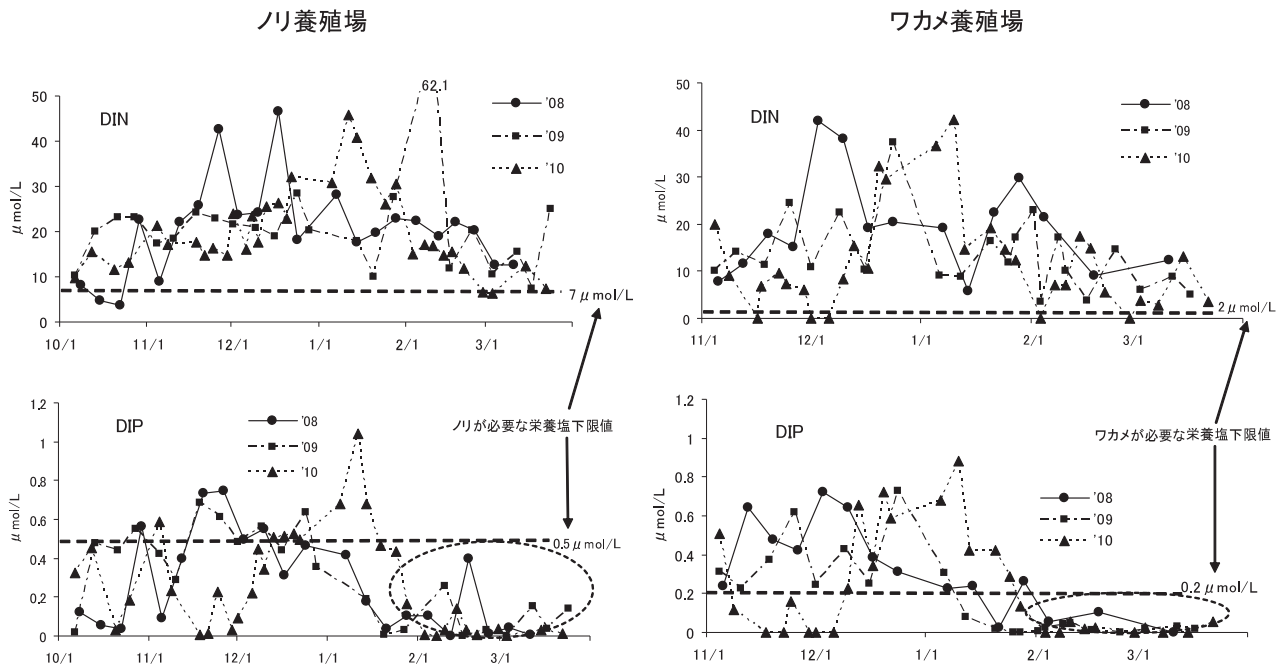


図6 栄養塩 (DIN, DIP) の変動

(ノリは姪浜地先4地点, ワカメは弘, 志賀島地先の3地点の平均値を示す)

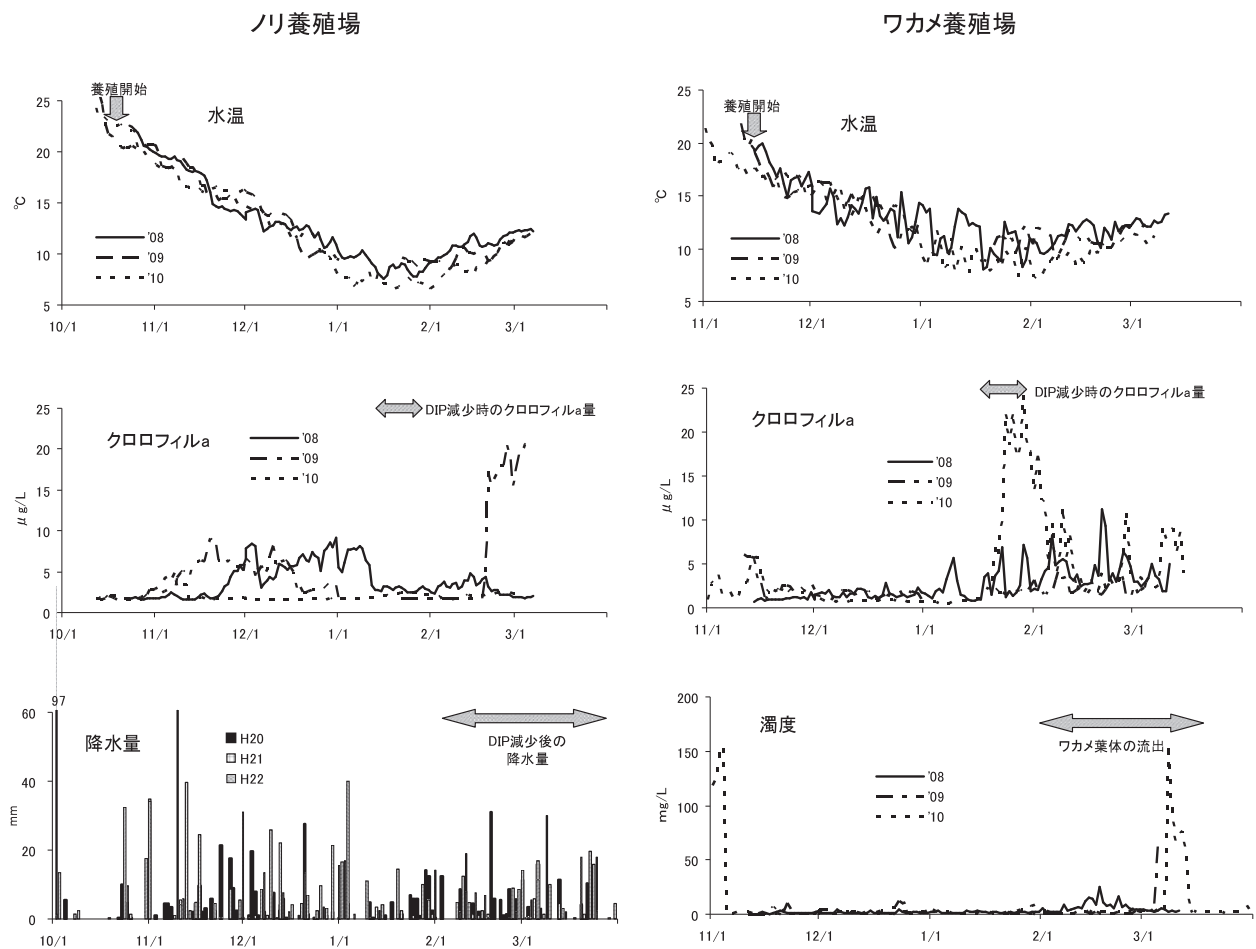


図7 水質環境と気象 (降水量) の変動

(ノリは姪浜地先, ワカメは弘地先それぞれ1地点の測定値を示す)

2) ワカメ養殖場

DINは'08年では $5.8 \sim 41.8 \mu\text{mol/L}$ ，'09年では $3.6 \sim 37.4 \mu\text{mol/L}$ ，'10年では $2.7 \sim 42.1 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった。3年間とも概ね同様の変動を示し，11月上旬に $10 \sim 20 \mu\text{mol/L}$ であったが，中旬から2月上旬にかけて増加し，12月上旬から1月上旬にかけて約 $40 \mu\text{mol/L}$ の最高値を示した。その後，徐々に減少し，3月まで $2 \sim 30 \mu\text{mol/L}$ の範囲で変動した。

DIPは'08年では $0 \sim 0.72 \mu\text{mol/L}$ ，'09年度では $0 \sim 0.73 \mu\text{mol/L}$ ，'10年では $0 \sim 0.88 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった。'08年と'09年は11月上旬に $0.2 \mu\text{mol/L}$ であったが，その後増加し12月まで $0.2 \sim 0.8 \mu\text{mol/L}$ の高い値で変動した。'10年は11月上旬に $0.5 \mu\text{mol/L}$ であったが，その後減少し，11月中～下旬にかけて0の値もたびたびみられた。12月には増加し， $0.88 \mu\text{mol/L}$ の最高値を示した。その後，3年間とも1月に急激に減少し，2月以降は $0.2 \mu\text{mol/L}$ より低い値で変動し，ノリ養殖場より0の値が多くみられた。ワカメ養殖場では3年間の2～3月のDIP平均値 ($n=20$) が $0.03 \mu\text{mol/L}$ であり，ワカメが必要な栄養塩下限値 $0.20 \mu\text{mol/L}$ より低い値であった。

(2) 水質環境と気象の推移

'08～'10年における養殖期間中の水温，クロロフィルa，濁度及び降水量の推移を図7に示す。

1) ノリ養殖場

水温は'08年では $7.5 \sim 22.5^\circ\text{C}$ ，'09年度では $8.4 \sim 25.4^\circ\text{C}$ ，'10年では $6.4 \sim 24.3^\circ\text{C}$ の範囲であった。3年間とも養殖開始時の10月中旬は $20 \sim 25^\circ\text{C}$ であり，その後低下し，1月には約 10°C の最低水温となり，その後上昇し，3月には約 15°C となった。

クロロフィルaは'08年では $1.6 \sim 9.2 \mu\text{g/L}$ ，'09年では $1.6 \sim 20.7 \mu\text{g/L}$ ，'10年では $1.6 \sim 4.9 \mu\text{g/L}$ の範囲であった。'08年と'09年は10月上旬に約 $2 \mu\text{g/L}$ であったが，その後，11月中旬から12月上旬にかけて $10 \mu\text{g/L}$ 付近まで増加し，1月以降は $5 \mu\text{g/L}$ より低い値で変動した。'09年は3月上旬に急激に増加し， $20.6 \mu\text{g/L}$ の最高値を示した。ノリ養殖場では養殖がほぼ終了した'09年3月上旬の高い値を除くと， $10 \mu\text{g/L}$ より低い値で変動した。

降水量は'08年では $0 \sim 31\text{mm}$ ，'09年では $0 \sim 97\text{mm}$ ，'10年では $0 \sim 40\text{mm}$ の範囲であった。3年間とも養殖期間前半の10月から12月に比較的まとまった降雨を記録しており，特に'09年は10月上旬に 97mm ，11月中旬に 60mm の降水量を記録している。養殖期間後半の1月以降は前半に比べ降雨が少なく，2月以降は 30mm 以下であったが，極端な少雨傾向はみられなかった。

2) ワカメ養殖場

水温は'08年では $8.1 \sim 19.9^\circ\text{C}$ ，'09年では $9.0 \sim 21.9^\circ\text{C}$ ，'10年では $7.0 \sim 21.4^\circ\text{C}$ の範囲で，ノリ養殖場に比べ変動幅が大きかった。3年間とも養殖開始時の11月上旬は約 20°C であったが，その後低下し，1月には約 10°C の最低水温となり，その後上昇し，3月には約 15°C となった。

クロロフィルaは'08年では $0.7 \sim 11.2 \mu\text{g/L}$ ，'09年では $0.9 \sim 6.1 \mu\text{g/L}$ ，'10年では $0.6 \sim 24.2 \mu\text{g/L}$ の範囲であった。3年間とも11～1月上旬まで $5 \mu\text{g/L}$ 以下の低い値で変動したが，その後やや増加し，'08年と'09年はほぼ $10 \mu\text{g/L}$ であった。一方，'10年は1月中旬から急激に増加し，下旬に $24.2 \mu\text{g/L}$ の最高値を示した。その後減少し， $10 \mu\text{g/L}$ より低い値で変動した。ノリ養殖場も含めて $10 \mu\text{g/L}$ 以上の高い値を示したのは'10年のワカメ養殖場のみであった。

濁度は'08年では $1.0 \sim 24.6\text{mg/L}$ ，'09年では $0.2 \sim 65.0\text{mg/L}$ ，'10年では $0.4 \sim 156.4\text{mg/L}$ の範囲であった。'10年の11月上旬と3月中旬の高い値を除くと，3年間とも比較的低い値で変動した。

3. 湾内全域と湾外のDIP変動

(1) 湾内全域

湾内全域での養殖期間中のDIP変動を図8に示す。

'08年は $0.13 \sim 0.38 \mu\text{mol/L}$ ，'09年は $0.02 \sim 0.48 \mu\text{mol/L}$ ，'10年は $0.04 \sim 0.75 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった。3年間とも10月はほぼ $0.4 \mu\text{mol/L}$ 前後で変動した。'08と'09年は12月まで横ばい，1月以降は減少傾向を示した。'10年は11月から増加し，1月に $0.76 \mu\text{mol/L}$ の最高値を示した。その後，急激に減少した。湾内全域では3年間の2～3月のDIP平均値 ($n=6$) は $0.10 \mu\text{mol/L}$ であり，ノリ養殖場 $0.06 \mu\text{mol/L}$ ，ワカメ養殖場 $0.03 \mu\text{mol/L}$ に比べ高い値であった。

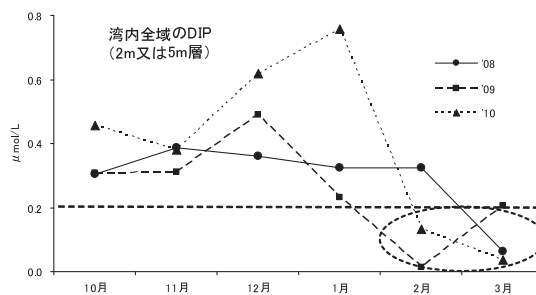


図8 福岡湾内全域のDIP変動
(湾内12地点の平均値を示す)

(2) 湾口外, 湾外

湾口外と湾外での養殖期間中のDIP変動を図9に示す。

湾口外では'08年は $0.07 \sim 0.31 \mu\text{mol/L}$, '09年は $0.02 \sim 0.21 \mu\text{mol/L}$, '10年は $0.13 \sim 0.38 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった。3年間とも10月はほぼ $0.1 \mu\text{mol/L}$ であり, その後増加し, '08年は12~2月まで, '10年は12~3月までほぼ $0.2 \mu\text{mol/L}$ より高い値で変動し, '09年は12月以降減少し, $0.2 \mu\text{mol/L}$ より低い値で変動した。湾口外では3年間の2~3月のDIP平均値 ($n=6$) が $0.15 \mu\text{mol/L}$ であり, 湾内全域 $0.10 \mu\text{mol/L}$ に比べ高い値であった。

湾外では'08年は $0.09 \sim 0.31 \mu\text{mol/L}$, '09年は $0.12 \sim 0.17 \mu\text{mol/L}$, '10年は $0.04 \sim 0.35 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった。3年間とも10月は $0 \sim 0.2 \mu\text{mol/L}$ であり, その後増加し, '08年は12~2月まで, '10年は12~3月までほぼ $0.2 \mu\text{mol/L}$ より高い値で変動し, '09年は12月以降減少し, $0.2 \mu\text{mol/L}$ より低い値で変動した。湾外では3年間の2~3月のDIP平均値 ($n=6$) が $0.19 \mu\text{mol/L}$ であり, 湾口外 $0.15 \mu\text{mol/L}$ に比べ高い値であった。

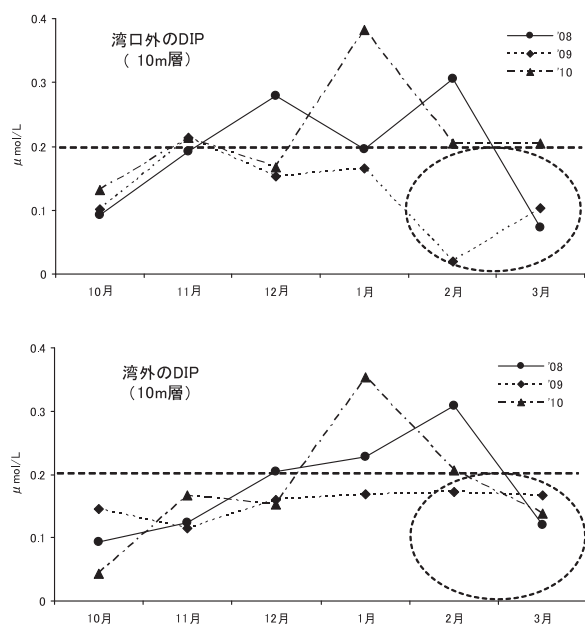


図9 湾外のDIP変動
(上図: 湾口外, 下図: 湾外)

考 察

ノリ, ワカメ養殖の収穫量の推移をみると, 両者とも'90年代に不作年が発生し始め, '00年代に入ると栄養塩が原因と思われる不作年が頻発するようになっていく。そこで不作要因を特定すべく, まず, 第1にその要因を3年間の実際の水質環境と気象条件から検討する。

ノリ, ワカメなど藻類の生育に必要な栄養塩についてみると, 福岡県有明海¹²⁾では, 過去の養殖経過を踏まえ, ノリのDIN限界濃度を $7 \mu\text{mol/L}$, 大阪府¹³⁾では, DIP警戒濃度を $0.5 \mu\text{mol/L}$ としている。また, 徳島県¹⁴⁾では, 過去のワカメ養殖経過からDINで $2 \mu\text{mol/L}$, DIPで $0.2 \mu\text{mol/L}$ から色落ちが始まると報告している。

これらに基づけば, この3年間のDIN量はほぼ $7 \mu\text{mol/L}$ 以上で変動しており, 福岡湾のノリ, ワカメ養殖場のDINについては十分量であるといえる。一方で, DIPは, 3年間とも養殖期間後半の1月頃から減少し, 2月以降基準値を下回り, 特にワカメ養殖場では0の値もたびたびみられた。このようにDIPが大きく減少した時期に, ノリは色落ちし, ワカメは葉体が流出した。⁴⁻⁶⁾このことから, 1月下旬までにノリ, ワカメなどがDIPを消費し, その結果, 2月以降のノリの色落ちやワカメ葉体の流出はDIP不足により引き起こされていると考えられる。

ノリ, ワカメの不作要因について, これまでに高水温,¹¹⁾赤潮,¹⁰⁻¹¹⁾気象条件の降水量,¹¹⁾濁り¹⁵⁾(ワカメのみ)等の影響が報告されている。

水質環境では, ノリの生育に適している水温は 24°C 以下といわれているが,¹⁶⁾3年間とも養殖開始時期の10月中旬以降この値を下回った。一方, ワカメの生育に適している水温は 20°C 以下といわれているが,¹⁷⁾3年間とも養殖開始時期の11月中旬以降この値を下回った。また, ワカメ養殖場では, 濁度が比較的低い値で変動した。このことから, いずれの年も水温がノリ, ワカメ, 濁度がワカメの生育に影響を及ぼすものではなかったと判断される。ノリ, ワカメと植物プランクトンは, ともにDINとDIPを利用して生長・増殖しており, 両者は競合関係にある。植物プランクトン量の指標となるクロロフィルaは, 養殖期間後半には, '10年度のワカメ養殖場を除くといずれも低い値で変動していたことから, 植物プランクトンの増殖が原因となるDIP不足は起きていないと推察される。

気象条件では, DIPが減少する2月以降に極端な少雨傾向はみられないことから, 降雨不足が原因となるDIP不足は起きていないと思われる。

以上のことから, 2月以降のノリの色落ちやワカメ葉体の流出はDIP不足により引き起こされていると考えられるが, 3年間の実際の水質環境と気象条件からDIP不足となる原因はわからない。

第2に不作要因を3年間の調査結果と冬季の栄養塩(DIP)収支モデル³⁾(図10)を比較し, 解析する。

2月以降のDIP不足の原因について, 冬季の栄養塩収支モデルによると, '80年代から'00年代にかけて, 湾奥, 湾央, 湾口部では, DIP現存量が減少しており, 言いか

えると海水中のリン濃度が低下している。それに伴い，'80年代から'00年代にかけて，湾中央部のノリや湾口部のワカメのDIP現存量及び取り込み量も減少している。このことから，近年はリン濃度が低下し，かつての養殖規模のノリ，ワカメが必要なリン現存量をまかないきれなくなっていると考えられる。

3年間の2～3月のDIP平均値（表1）をみると，湾内全域ではノリ，ワカメ養殖場より，湾口外は湾内全域より，湾外は湾口外より高い値であった。すなわち，3年間の養殖期間後半でのDIPは，ノリ，ワカメ養殖場<湾内<湾口外<湾外の順に高い値で変動しており，冬季の栄養塩収支モデルで，近年，陸域から湾内へのリン供給量が少なくなり，海水中のリン現存量が減少し，その結果，リンが湾外から内湾へ移流していた結果と一致する。

このように経年的なリン供給量の減少が冬季のリン不足を引き起こし，ノリ，ワカメの不作が生じていることが推察された。

リン供給量については，江藤ら¹⁸⁾は，福岡湾へのリン負荷量は河川が約60%，下水処理が約40%を占めており，過去28年間に於いて減少傾向を示していることを明らかにしている。また，上野ら¹⁹⁾は，福岡湾東部海域において，下水処理の高度処理導入により，全リン及びクロロフィルa濃度が減少傾向であることを報告している。さらに片山ら，²⁾佐藤ら，²⁰⁾はリン濃度の減少が高度処理による影響である可能性を指摘している。

以上のことから，近年のノリ，ワカメ養殖の不作は，下水処理の高度処理が発達したことなどにより，陸域から湾内への経年的なリン供給量が減少し，その結果，海水中のリン濃度が低下することに加えて，ノリ，ワカメなどが1月下旬までに海水中のリンを消費するために，かつての養殖規模のノリ，ワカメが必要なリン現存量をまかないきれなくなっていることが要因と考えられる。

今後は，ノリ，ワカメ養殖に限らず，栄養塩負荷量の変動が福岡湾の基礎生産から漁業生産へどのように変化するか生態系全体の関連についても検討する必要がある。

表1 2～3月のDIP平均値（2008～2010年）

調査位置	測定回数	DIP平均値 ($\mu\text{mol/L}$)
ノリ養殖場	n=23	0.06
ワカメ養殖場	n=20	0.03
湾内全域	n=6	0.10
湾口外	n=6	0.15
湾外	n=6	0.19

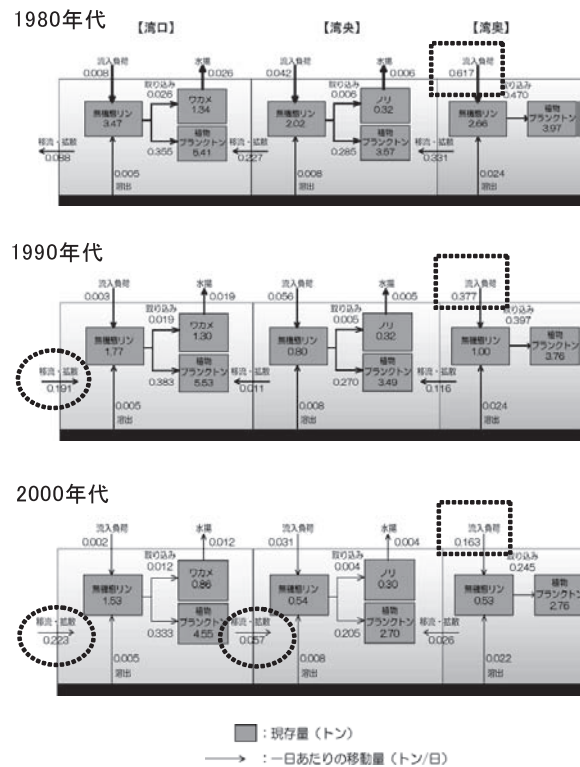


図10 冬季の栄養塩 (DIP) 収支モデル

文 献

- 1) 福岡市環境調整課：博多湾環境保全計画 2002：10-12.
- 2) 片山幸恵・江藤拓也・江崎恭志：福岡湾の水質環境の長期変動について．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009；19：51-59.
- 3) 江藤拓也・片山幸恵・江崎恭志：福岡湾における栄養塩収支について．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2011；21：47-58.
- 4) 洲上哲・江藤拓也・中本崇・江崎恭志：博多湾栄養塩変動現況調査．福岡県水産海洋技術センター事業報告 2009：139-149.
- 5) 洲上哲・江藤拓也・中本崇：博多湾栄養塩変動現況調査．福岡県水産海洋技術センター事業報告 2010：107-118.
- 6) 小池美紀・江崎恭志・江藤拓也・中本崇：藻類養殖技術調査．福岡県水産海洋技術センター事業報告 2011：52-118.
- 7) 福岡市水産振興課：福岡市農林水産統計書 1984～2010.
- 8) 気象庁：海洋観測調査指針 1999：257-264.
- 9) 気象庁：福岡県気象月報 1980-2007.

- 10) 捌上哲：博多湾の栄養塩環境とノリ養殖．海洋と生物 2009；171-172.
- 11) 佐藤博之・後川龍男：養殖ワカメの収穫量と漁場環境について．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2006；16：31-34.
- 12) 半田亮司・岩渕光伸・福永剛・本田一三・山下輝昌：1992年度有明海福岡県地先ノリ養殖における特異な色落ち現象．福岡県水産海洋技術センター研究報告 1994；2：135-141.
- 13) 佐野雅基・上之郷谷健治：藻類養殖指導．大阪府立水産試験場事業報告 2006：107-112.
- 14) 湯浅明彦・酒井基介・宮田匠：海域藻類養殖漁場環境調査．徳島県水産試験場事業報告書 1998：141-144.
- 15) 篠原直哉・大村浩一・内場澄夫・本田清一郎：福岡湾におけるワカメ養殖の不調について．平成7年度福岡県水産海洋技術センター事業報告 1996：105-111.
- 16) 鬼頭鈞：わが国の水産業「のり」．日本水産資源保護協会 2004：6-7.
- 17) 大野正夫：有用海藻誌．内田老鶴圃 2004：46-47.
- 18) 江藤拓也・片山幸恵・江崎恭志：福岡湾への窒素・リン負荷量の長期変動について．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009；19：35-40.
- 19) 上野祐子・宮原正太郎：博多湾東部海域における栄養塩及びクロロフィルaの経年変化．福岡市保健環境研究所報告 2005；28：399-409.
- 20) 佐藤博之・山本千裕・寺井千尋：福岡湾における *Heterocapsa circularisquama* 赤潮発生年の海域環境について．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2005；15：71-75.