

## 1990年代前半の中津干潟における水温、塩分、栄養塩等の水質環境

伊藤龍星

大分県農林水産研究指導センター水産研究部

### Water quality environment such as water temperature, salinity, and nutrients at Nakatsu tidal flats in the first half of the 1990s

RYUSEI ITO

Fisheries Research Division Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：栄養塩、塩分、降水量、水温、中津干潟

瀬戸内海西部の周防灘に面する大分県中津干潟は、東西に約10 km、面積1,347haの瀬戸内海最大の干潟であり、干満差は最大約400cm、大潮の干潮時には沖に向かって3 kmほど歩いて行くことができる。<sup>1)</sup> この干潟周辺には、古くからカブトガニ *Tachypleus tridentatus* やアオギス *Sillago parvisquamis*、ヒガシナメクジウオ *Brachyostoma japonicum*、スナメリ *Neophocaena phocaenoides* など数多くの希少生物が生息することが知られている。<sup>2)</sup> 一方でここは以前から好漁場でもあり、アサリ *Ruditapes philippinarum* やバカガイ *Macra chinensis* 等二枚貝の採貝やノリ養殖、オゴノリ *Gracilaria* 属海藻の採藻などが盛んに行われてきた。なかでも大分県のアサリ漁獲量は、1985年に27,600tで全国一位を記録したが、このうちの94%にあたる25,800tが中津市から、<sup>3)</sup> すなわち中津干潟とその周辺から漁獲されている。しかしながら近年、それらの漁獲量は大きく減少し、アサリは年間数トンにも満たない状況が続いている。ノリ養殖も1980年代には中津市内だけで数百の経営体があったが、<sup>4)</sup> 現在は数経営体となり生産量も激減している。オゴノリ属海藻も1990年代には年間1,000～2,000tの漁獲があったが、<sup>5)</sup> 現在はほぼ皆無となっている。

その原因として注目されているものに、瀬戸内海における窒素の貧栄養化による基礎生産力の低下があげられる。<sup>6)</sup> 瀬戸内海の西部海域では1980年代から、中部や東部海域では1990年代～2000年代初め頃から、DIN（溶存無機態窒素）の不足が顕著となり、2010年までの30年間で最高時の40%前後まで低下した。<sup>8)</sup> 大分県下の周防灘海域16地点における浅海定線調査30年間の推移でも、1980年代にはDINは平均3 μM程度だったが、2010年代には1 μM程度に減少したことが示されている。<sup>8)</sup> 瀬戸内海東部の各県では、DINの減少

が養殖ノリの色落ち原因になっていることや、<sup>9,10)</sup> 餌生物を減少させイカナゴ資源の長期的減少の要因となっていること<sup>11)</sup> 等を明らかにしており、関係漁業者団体からも豊かな海の再生を目指した要望が出されている。<sup>12)</sup> 本県でも周防灘西部沿岸に位置する豊後高田市のノリ養殖漁場では、2005年度以降のDINの平均値はそれまでの1/2程度（約50 μg/L ≒ 3.6 μM）で推移している。<sup>13)</sup> さらに近年の周防灘における冬季DINの推移は、ノリ養殖やアサリ漁業の生産量減少の推移と同調しており、DINの多寡との可能性が指摘され、<sup>14)</sup> 早期のDINの回復が求められている。

折しも2015年10月には、瀬戸内海環境保全特別措置法の改正が行われ、瀬戸内海は水質の保全だけでなく、「豊かな海」を目指して生物多様性や生産性の確保が求められる時代となった。このため、湾、灘その他の海域ごとの実情に応じて個々の取り組みが行われることになっており、<sup>15)</sup> 中津干潟においても対応が期待される。しかしながら、浅海定点調査等通常の調査船では近寄れないような水深のごく浅い干潟域や潮間帯、実際のアサリ漁場やノリ養殖漁場内における水温や栄養塩等の定期的な記録、基礎データは意外に少ない。

筆者は、今から30年ほど前の1990年代前半にあたる1993年6～9月の間、中津干潟の潮間帯において、水温、塩分、栄養塩等の水質環境を継続的に調査する機会を得た。当時すでに漁業の最盛期は過ぎていたが、アサリやオゴノリ属海藻は年間1,000t以上の漁獲量を維持し、ノリ養殖も100以上の経営体が存在するなど、一定の漁業生産があった時代である。そこで、今回の法律改正を機に、今後の本県周防灘海域の栄養塩等のあるべき方向性を決める一助になればと思い、当時の中津干潟の水質環境をとりまとめたので報告する。

材料と方法

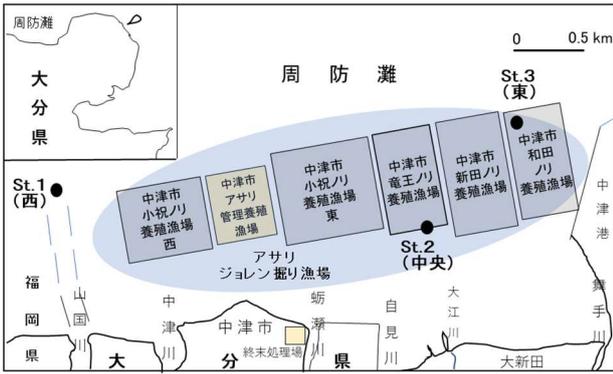


図1 大分県中津干潟（中津港以西）と調査した3定点

表1 調査定点の場所と主な漁業、緯度・経度、地盤高等

St.No.	場所と主な漁業	緯度 経度	地盤高約 (DL, cm)	調査時の水深 (m)	該当区画漁業権 (当時)
St.1	小祝灯台東側、航路内	33° 38' 9.000" N 131° 11' 33.000" E	±0	1.3~3.0	—
St.2	大新田地先、竜王ノリ養殖漁場の最も陸側、アサリジョレン掘り漁場	33° 36' 53.000" N 131° 13' 31.000" E	+70	0.5~2.5	208号のり養殖 280号あさり・はまぐり
St.3	大新田地先、和田ノリ養殖漁場の最も陸側、アサリジョレン掘り漁場	33° 36' 40.000" N 131° 14' 8.000" E	-30	1.0~3.5	206号のり養殖 280号あさり・はまぐり

調査は図1に示すとおり、大分県中津市沿岸の中津干潟とよばれる潮間帯において、1993年6~9月の間、毎週木曜日の計16回実施した。同干潟のうち、小祝~中津港の間に、St.1（西）、St.2（中央）、St.3（東）の3定点を設け、午前8時30分~9時の間に3定点を小型のモーターボートで移動しながら調査した。調査項目は、水温、水深、塩分、DIN、DIP、SS（懸濁物質）とし、表層をバケツで採水した。水温は棒状温度計（0~35℃）、水深は測深ロープを使用した。塩分やDIN等の分析は、採水後冷蔵保存し、漁況海況予報事業調査指針（南西海区水産研究所）の方法に準拠した。

各定点の場所と主な漁業、緯度・経度、地盤高、調査時水深及び該当する区画漁業権を表1に示した。St.1は小祝地先の灯台東側で山国川河口のほぼ真北にあり、地盤高は±0cm程度、St.2は大新田地先で地盤高は+70cm程度、St.3はSt.2の東側で中津港の西側にあたり地盤高は-30cm程度であった。St.2とSt.3の2点はいずれも区画漁業権内（第3種あさり、第1種のり養殖）に属し、調査当時はアサリのジョレン漕ぎが日常的に行われ、毎年冬季には支柱式ノリ養殖が行われていた。St.2は日常的に干出し、St.3も春の大潮干潮時（14~16時頃）には胴長で作業ができる場所であった。

調査期間中の日平均気温と日降水量は、気象庁ホームページ（各種データ・資料 過去の気象データ検索：

[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=83&block\\_no=0794&year=&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=83&block_no=0794&year=&month=&day=&view=), 2023年1月20日）から、中津市の観測データを利用した。各定点の日降水量と水温、日平均気温と水温、日降水量と塩分、日降水量とDIN、日降水量とDIPの関係を調べた。また、降雨があった場合、その影響が干潟の水温、塩分、DINへ何日後に表れるのかを明らかにするため、それぞれと調査前日（1日前）、2日前、3日前、以降7日前までの単独（単独日）の降水量

との相関係数を求めた。同時に、前日+2日前、前日+2日前+3日前、以降7日前までの積算（積算日）の降水量との関係についても相関係数を求めた。さらに3定点の塩分とDINの関係、DINとDIPの関係、SSとDINの関係についても同様に調査した。求めた相関係数は検定を行った。

結果

**1993年の気候の特徴** 1993年夏季の気候は全国的に「低温・多雨・日照不足」で、例年より気温が低く推移し、降水量も多いなど特徴的な夏であった（気象庁HP 災害をもたらした気象事例：

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/kanman/1993/1993.html>, 2023年1月20日）。このため、国内の農作物被害が1兆円を超えた。中津市においても、降雨の頻度、降水量ともに例年より多く、気温も低めに推移した年であった。<sup>16)</sup>

**日降水量と水温** 観測期間中の日降水量と水温（3定点と平均値）を図2Aに示した。観測開始時6月の水温は22~23℃台、7月中旬には25℃台へ上昇し8月中旬まで推移、8月下旬~9月上旬には最高水温の27℃台となったが、その後速やかに低下して、中旬には23℃台、下旬には22℃台になった。最低水温は6月30日St.1の18.5℃、最高水温は8月25日と9月1日のSt.2の27.4℃であった。各定点での変動は、山国川河口に位置するSt.1が最も大きかったが、後述する塩分やDIN、DIPの変動に比べると小さかった。

中津干潟から東方の豊後高田市までは豊前海干潟ともよばれる広大な干潟域が連なるが、豊後高田市地先の日平均気温と沿岸水温との間には、強い正の相関関係があることが知られている。<sup>17)</sup>そこで、中津市の日平均気温と今回調査した3定点の平均水温の関係を図3に示した。両者の間には、 $y=0.4977x+12.513$  ( $r=0.7029$ ,  $p<0.01$ ) で示される強い正の相関があることがわかった。

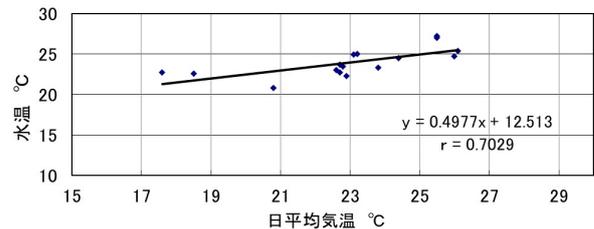


図3 中津市の日平均気温と中津干潟の平均水温の関係

また、図2Aから水温は日降水量が多くなると低下し、少ないと上昇するような傾向がみられたため、日降水量と3定点の平均水温の関係について図4に示した。図4Aには、調査前日（1日前）、2日前、3日前の降水量と水温の関係を示し、図4Bには、日降水量を積算した値との関係を示した。図4Cには、それらの相関係数と相関係数の検定ライン（危険率5%、1%）を示した。干潟の水温は降水量が多いと下がる傾向が認められた。調査前日の相関係数は-0.4320、2日前-

0.4096, 3 日前-0.3404 と離れていくほど相関は低くなっていき、いずれも危険率(5%)を満たすものではなかった。一方、積算した場合には、前日の相関係数-0.4320 よりも 2 日前-

0.4815, 3 日前-0.5367, 4 日前-0.5164, 5 日前-0.5508 と高くなり、その後は大きく下がった。3~5 日前までの積算の相関係数は危険率 5%で信頼できることがわかった。

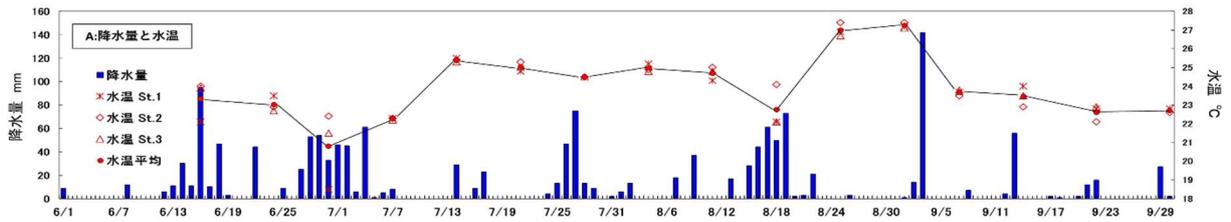


図2A 中津干潟の日降水量と水温の推移

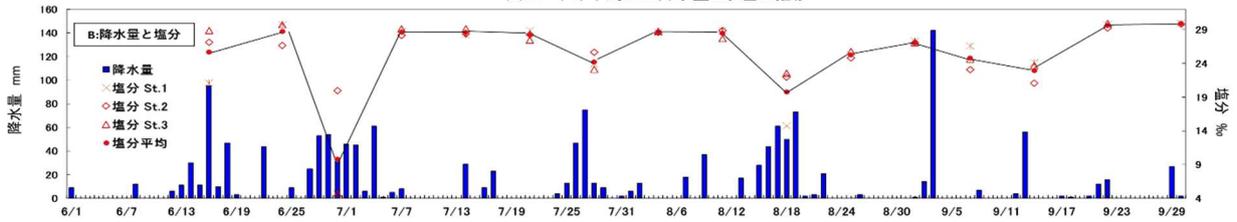


図2B 中津干潟の日降水量と塩分の推移

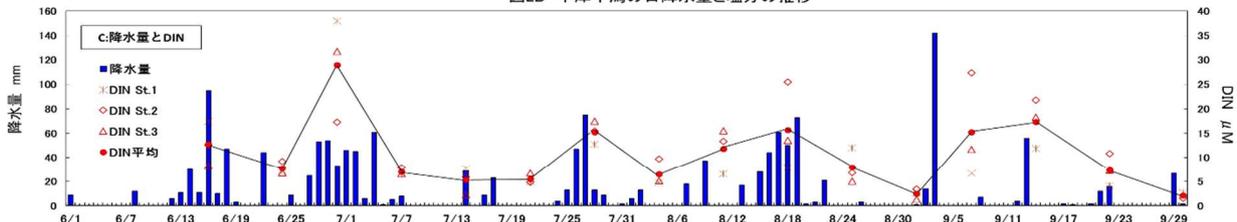


図2C 中津干潟の日降水量とDINの推移

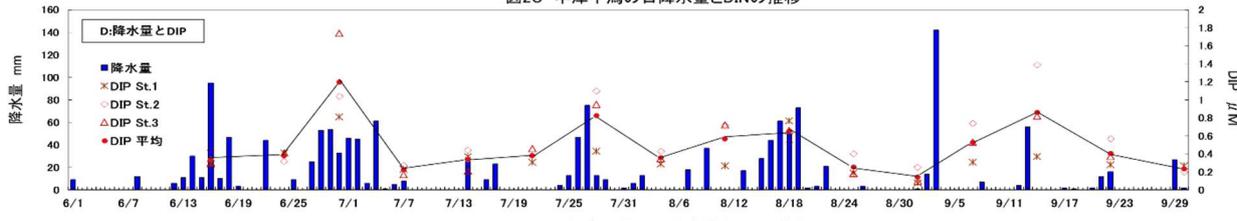


図2D 中津干潟の日降水量とDIPの推移

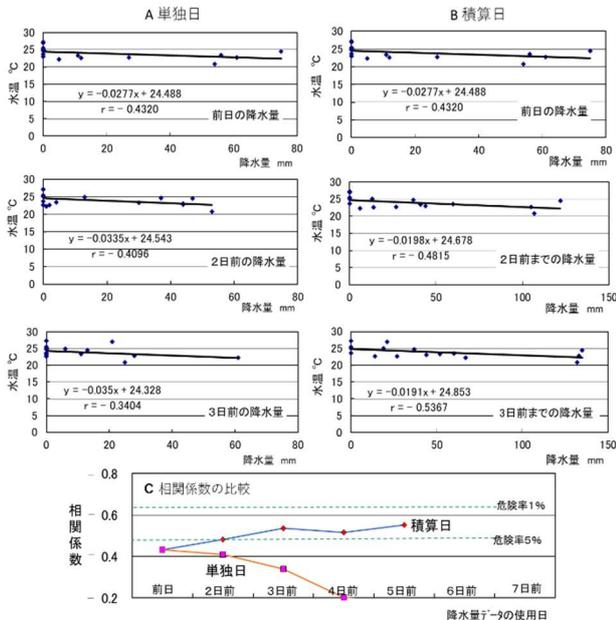


図4 中津干潟における日降水量と水温の関係 (図 4A : 調査前日, 2 日前, 3 日前の日降水量と水温, 図 4B : 調査前日, 2 日前までの積算, 3 日前までの積算の降水量と水温, 図 4C : 各相関係数の比較と相関係数の検定結果)

**日降水量と塩分** 日降水量と塩分 (3 定点と平均値) を図 2B に示した。定点ごとでは山国川河口の直下にある St.1 が最も大きく変動し、6 月 30 日の観測で 5PSU まで低下していたが、St.3 も同程度まで低下していた。一方 St.2 は 3 定点中変動幅が最も小さく比較的安定していた。図 2B から、日降水量が多いと塩分も低下する傾向がみられたため、日降水量と 3 定点の平均塩分との関係について図 5 に示した。図 5A には、調査前日 (1 日前)、2 日前、3 日前の降水量と塩分の関係を示した。図 5B には、日降水量を積算した値との関係を示した。図 5C には、それらの相関係数と相関係数の検定ライン (危険率 5%, 1%) を示した。干潟の塩分は降水量が多いと低下していくが、測定前日の降水量の影響を最も強く受け (相関係数-0.6385)、2 日前-0.5652, 3 日前-0.3051 と離れていくほど関係は弱くなった。相関係数の検定で、2 日前までは危険率 5%で信頼できることがわかった。一方、積算した場合には、前日の相関係数-0.6385 よりも 2 日前-0.6869, 3 日前-0.7031 で最も高く、その後は下がっていったが、6 日前までは危険率 5%で信頼できることがわかった。また、図 5A および B から、降水量が前日、もしくは積算で 40~50mm を超えるあたりから、塩分の低下傾向がみられ、さらに降水量

が100mmを超えると10PSUを下回り極端に低下することが読み取れた。

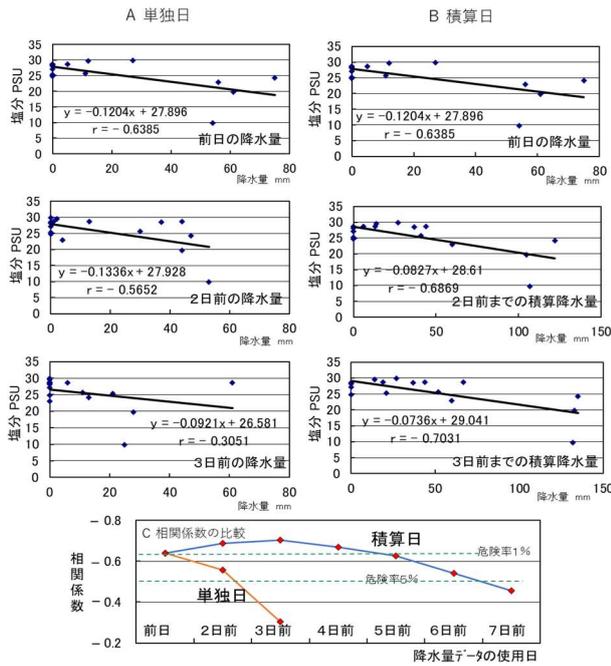


図5 中津干潟における日降水量と塩分の関係（図5A：調査前日、2日前、3日前の日降水量と塩分、図5B：調査前日、2日前までの積算、3日前までの積算の降水量と塩分、図5C：各相関係数の比較と相関係数の検定結果）

**日降水量とDIN** 日降水量とDIN（3定点と平均値）を図2Cに示した。定点ごとでは塩分と同様にSt.1の変動が目立ち、6月30日の観測では38.0μMまで上昇し、St.3も31.8μMを記録した。図2Cから日降水量が多いとDINも上昇するような傾向がみられたため、日降水量と3定点の平均DINとの関係について図6に示した。図6Aには、調査前日（1日前）、2日前、3日前の降水量と塩分の関係を示した。図6Bには、日降水量を積算した値との関係を示した。図6Cには、それらの相関係数と相関係数の検定ライン（危険率5%、1%）を示した。干潟のDINは降水量が増えると上昇する傾向にあり、観測前日の降水量の影響を最も強く受け（相関係数0.6443）、2日前0.5987、3日前0.2279と離れていくほど関係は弱くなっていった。相関係数の検定では、2日前までは危険率5%で信頼できることがわかった。一方、積算した値の場合には、前日の0.6443よりも2日前まで0.7299、3日前まで0.7138、4日前までが0.7875で最も高くなり、その後低下していったが7日前までの積算でも相関係数0.4994、危険率5%で信頼できることがわかった。

また、図6Aから降水量が前日の場合は40～50mmを超えるあたりからDINの上昇がみられるが、図6Bの積算の場合には、2日前や3日前までの降水量が30mmを超えるあたりからDINの上昇がみられ、いずれも降水量が多いほどDINも上昇することがわかった。

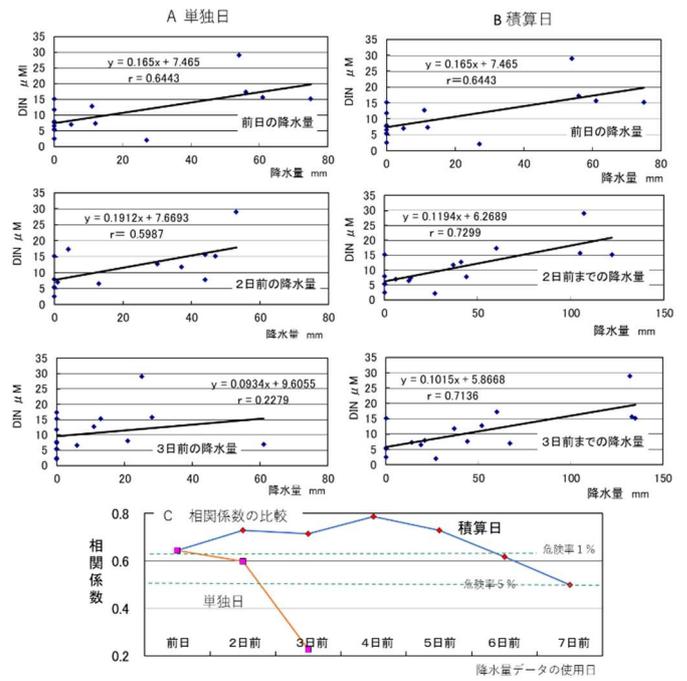


図6 中津干潟における降水量とDINの関係（図6A：調査前日、2日前、3日前の日降水量とDIN、図6B：調査前日、2日前までの積算、3日前までの積算の降水量とDIN、図6C：各相関係数の比較と相関係数の検定結果）

**塩分とDINの関係** 3定点の塩分の平均値とDIN、および各定点の塩分とDINの関係を図7に示した。中津干潟の塩分とDINとは明らかな負の相関があることがわかった。また、定点ごとにみると、St.1の相関が最も高くなっており、次いでSt.3、St.2の順となっていた（すべて $p < 0.01$ ）。

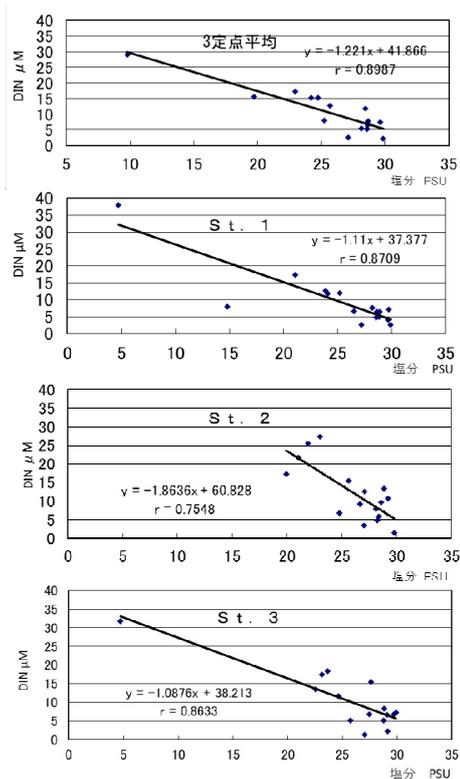


図7 中津干潟における塩分とDINの関係

**DIN と DIP の関係** DIN と DIP の関係を図 8 に示した。両者の間には、 $y=0.0314x+0.1452$  ( $r=0.7438$ ,  $p<0.01$ ) であらわされる正の相関があった。また、海域の窒素とリンの比から効率よく植物プランクトンが増殖できる目安であるレッドフィールド比 (N:P=16:1, モル比)<sup>18)</sup> になる直線を示したが、調査事例の多くはこの直線より下側にあり、窒素の割合が高くリンが少ない傾向にあった。

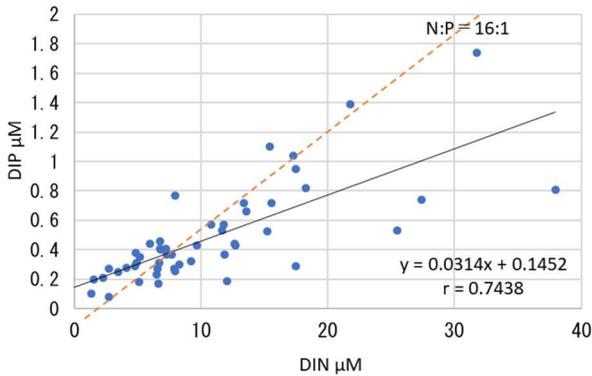


図 8 中津干潟における DIN と DIP の関係

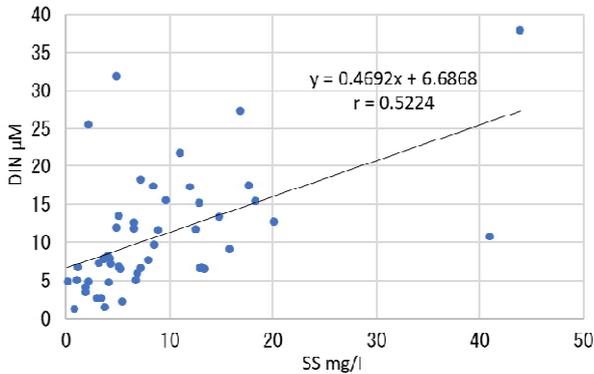


図 9 中津干潟における SS と DIN の関係

**SS と DIN の関係** SS と DIN の関係を図 9 に示した。両者の間には、 $Y=0.4692X+6.6868$  ( $r=0.5224$ ,  $p<0.05$ ) で示される正の相関があることがわかった。

## 考 察

中津干潟の水質環境は日々目まぐるしく変化するが、それは降水量、すなわち降雨による河川水の影響を強く受けていることが示唆された (図 2A~D)。冒頭にも述べたが、調査を行った 1993 年は、北日本~西日本にかけて低温、多雨、日照不足が顕著であり、1 兆円を超す農作物被害がでるなど特異な年であった。このため、観測期間中の気温、水温はともに例年より低く、日降水量も例年よりも多かったことが推察される。実際、調査した現地の水温は最高でも 27°C 台であったが (図 2A)、周防灘南部の大分県海域 16 定点の過去 40 年間の調査記録によると、<sup>19)</sup> 1993 年夏季の表層水温はその前後数年より 5°C 前後も低い 25°C 程度となっていることから、同年夏季は特異的に水温が低かった年ということになる。

中津干潟の水温は、気温の影響を強く受けることや (図 3)、

河川水の影響を受けることが判明した (図 4)。ここで近年の中津干潟の夏季の地温を調査した例をみると、地球温暖化にあわせるように 2010 年夏季<sup>20)</sup> や 2015 年夏季<sup>21)</sup> には 40°C を超えた記録が多数あり、これがアサリ稚貝の越冬を困難にして資源減少の一因であると推察されている。<sup>20, 21)</sup> 夏季に干潟全域の地温を下げることは困難であろうが、今回の結果から河川水を利用すれば、干潟のある程度の範囲を冷却することは可能である。今後も温暖化の進行で夏季の中津干潟は高温にさらされる可能性があるが、明らかな高温が予測される場合には、例えば、山国川に設置されているダム等から緊急放水を行うなどして干潟の地温や水温を下げる試みも考えられる。放水もダム湖の湖底近くから行えば、夏季でも低水温が期待できる。他県では養殖ノリの色落ち対策として、冬季に緊急ダム放水を行った事例<sup>22, 23)</sup> もあり、貧栄養化した海域への栄養塩添加も同時に行うことができる。

また、中津干潟は塩分や栄養塩においても降水量、すなわち降雨や河川水の影響を強く受けることが判明した (図 2B~D)。塩分は、降雨翌日には中津干潟に影響が出るが (図 5)、影響がもっとも強いのは、3 日前までの積算降水量であることがわかった。なお、図 2 の降水量をみると、降雨は 1 日で終わるよりも数日間降り続くパターンが多い。数日間降り続きながら、中津干潟へ降雨に由来する河川水が広がると考えられる。塩分低下は、前日の降水量や積算降水量が 50mm を超えるあたりからはつきりしてくるが (図 5)、100mm を超えると干潟は 10PSU を下回る明らかな低塩分となるため、アサリの斃死や養殖ノリの芽痛み、干潟の生物への影響等が懸念される。同時に河川上流からの土砂流入等の危険性も増してくるため、災害への警戒が必要である。

一方、降水量と DIN との関係を見ると (図 6)、塩分同様、降雨翌日には干潟へ栄養塩が供給されることがわかった。ただし降水量を積算した場合、4 日前までの相関が最も高く、7 日前まででも危険率 5% で相関がみられることから、降雨による DIN 上昇は、塩分よりも長い期間中津干潟に現われると考えられる。DIN 上昇は降水量が前日の場合は 40~50mm を超えるあたりからみられるが、積算の場合には 2 日前や 3 日前までの降水量が 30mm を超えるあたりからみられている (図 6)。DIP は DIN と正の相関にあるため (図 8)、DIN が上昇すれば DIP の増加も期待できる。

塩分と DIN の関係 (図 7) では、塩分が低いほど DIN は高くなることが判明した。塩分低下は降雨による河川水の流入によるが、降雨により陸域の無機窒素成分が河川水を通して中津干潟へ供給されたことになる。なお、降り始めの雨水には  $\text{NO}_3$  や  $\text{NH}_4$  が多く含まれており、50mm の降水量で海面下 50cm では約 2 $\mu\text{M}$  の DIN 上昇が期待できるとの報告<sup>24)</sup> もあることから、貧栄養対策として雨水自体の利用も考えられよう。

SS (懸濁物質) と DIN は正の相関がみられた (図 9)。SS は、工場排水試験法 (JIS K 01202-14) で 2mm 目のフルイを通過して、ろ紙またはその他のろ過器で水と分離できるものとされている。降雨により DIN を含む河川水が懸濁物質と

もに海域に流入したり、波浪等で海底がかく乱され、底泥から DIN が溶出した場合などには SS と DIN が同時に上昇することが考えられる。ノリ養殖業者は時化や河川水の流入による海水の濁り具合で栄養塩の多寡を判断することがあるが、今回の結果からその判断はある程度正しいと考えられる。

ところで、St.2 や St.3 は付近に大きな河川が見当たらないが、まとまった降雨のあとには塩分低下が確認され（特に St.3）、同時に DIN や DIP の上昇が確認されている。調査当時、現地のノリ養殖漁場では、St.2 や St.3 付近の養殖ノリはそれより西側のものよりも色が黒く質の良いノリが生産されていた実態があり、St.2 や St.3 付近は中津干潟の中でも栄養塩の高いエリアといえる。この理由がこれら調査定点の南側に位置する蛸瀬川や自見川、舞手川など小河川からの河川水の影響なのか、西側の流量の多い山国川や中津川に由来するのかなどは確認できていない。また、蛸瀬川下流で干潟と接する地点には、終末処理場があり同河川に処理水を放流している（図1）。同場は1980年代に稼働を始め、2010年度以降は地元漁協の要望を受け栄養塩供給のための季節別運転管理を実施しており（国土交通省 HP 下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的運転のための運転方法に係る手順書（案）：<https://www.mlit.go.jp/common/001105123.pdf>, 2023年3月5日）一定の効果が確認されている。<sup>25,26</sup> ただし、その効果が St.2 や St.3 付近まで及ぶのかは確認されていない。また、梶原ら<sup>27</sup> による中津干潟の調査によると、前浜のほぼ全域で地下水の湧出があり、窒素やリン等栄養塩濃度の高い地下水の湧出も確認されている。干潟や砂質海岸での豊富な栄養塩を含む地下水の存在は、有明海<sup>28</sup> や鹿児島県吹上浜<sup>29</sup> でも確認されており、本県別府湾でもラドン（Rn）曳航調査<sup>30</sup> やドローンを利用した調査<sup>31</sup> で地下水が確認されている。中津干潟においても、この地下水が貴重な栄養塩供給源になっている可能性があり、より詳しい湧出場所や量的な情報、栄養塩濃度等の解明が望まれる。年々貧栄養化していく当該干潟や周防灘においては、河川水以外にもこのような地下水の積極的な利用を検討すべきである。

最近では、河川水の DIN も減少（下水処理の普及と処理能力の向上、人口減や農業用肥料の使用削減等が影響）しているとの報告もあり、<sup>32</sup> 沿岸海域への栄養塩の供給源は年々乏しくなっている。中津干潟域への栄養塩供給源としては、山国川等の大小9河川、ダム等の放水、終末処理場の放流水や雨水利用、地下水の存在等があげられる。なお、山国川の河川水は、本県ほか隣県福岡県の工業用水としても利用されているため、中津干潟へ流入する水量が減少している懸念もある。貴重な栄養塩確保のためには、水利用実態の再確認や一定の基準を設けること等も必要であろう。

また近年、アサリ等養殖二枚貝からの排泄による栄養塩供給でノリの色落ち対策を行う研究がなされているが、（環境省：<https://www.env.go.jp/content/900501531.pdf>, 2023年3月5日）かつての中津干潟の莫大な生産力（例えば中津市のアサリ漁獲量1980年25,800t,<sup>3</sup> やバカガイ資源量1996年10,023t<sup>33</sup>）等から推定して、当時生息していた大量の二枚貝から相当

量の排泄があっており、それが栄養塩として干潟に供給され、干潟の漁業生産を底支えしていた可能性が推察される。このメカニズムの解明が進んで二枚貝類の排泄による栄養塩供給のシステムが確立すれば、二枚貝養殖による栄養塩供給の手段が具体的になる。現在、地元漁協が中津干潟で取り組んでいるマガキ養殖（ブランド名：ひがた美人、2014年商標登録<sup>34</sup>）を振興する強力な根拠にもなりえるため、研究の進展に期待したい。

表2 各調査定点の項目別平均値

St.No.	水温 (°C)	塩分 (PSU)	DIN (μM)	DIP (μM)	SS (mg/l)
St.1	23.7	25.0	9.6	0.4	9.0
St.2	24.2	26.2	12.1	0.6	10.6
St.3	24.1	25.5	9.9	0.5	6.4
全平均	24.0	25.6	10.5	0.5	8.7

最後に表2には、今回調査した3定点（各16回）の調査項目ごとの平均値を示した。水温や塩分は、山国川河口に近い St.1 が最も低かった。栄養塩の DIN と DIP は St.2 が最も高く、ついで St.3、St.1 の順となった。SS も St.2 が最も高く、ついで St.1、St.3 の順であった。栄養塩について、ノリ養殖に最低限必要な栄養塩濃度は水産用水基準<sup>35</sup> で DIN0.07~0.1mg/l（約5~7μM）、福岡県有明海<sup>36</sup> では7μM とされており、DIP は大阪府<sup>37</sup> では0.5μM を警戒濃度としている。ワカメの場合、徳島県<sup>38</sup> では DIN で2μM、DIP で0.2μM で色落ちが始まるとされている。今回の調査はノリやワカメの養殖時期ではなかったが、DIN は十分に満たしているが、DIP のほうがやや少なくなっていた。平均値の DIN:DIP は21:1となり、レッドフィールド比<sup>18</sup> からみると、窒素よりもリンがプランクトン増殖の制限要因になる可能性があったことになる。調査期間中 DIN と DIP が水産用水基準等を下回ったのは、16回の調査のうち1回（9月1日、DIN:2.49μM、DIP:0.14μM）のみであった。以上から、1990年代前半の中津干潟の栄養塩量は、長期的にはすでに低下傾向にあったとされるが<sup>8</sup>、比較的良好であったと思われる。

## 引用文献

- 1) NPO 法人水辺に遊ぶ会. 「中津干潟レポート2013」2014; 127p.
- 2) 清野聡子, 足利由紀子, 安倍元子, 宇多高明. 大分県中津干潟における海岸の変遷—写真資料に基づく解析—. 海洋開発論文集2003; 19: 261-266.
- 3) 大分農林統計協会. 大分県漁業の動き. 九州農政局大分統計情報事務所（編）1987.
- 4) 大分県西高地方振興局, 大分県中津下毛地方振興局, 大分県宇佐両院地方振興局. 「黒の輝き—豊前海ノリ養殖の歴史—」2000; 98p.
- 5) 伊藤龍星. 日本の採取・増養殖の現状. 「水産学シリーズ オゴノリの利用と展望」（寺田竜太, 能登谷正浩, 大野正

- 夫編) 恒星社厚生閣, 東京. 2001 ; 58-74.
- 6) 藤原建紀, 渡邊康憲, 樽谷賢治編. 海の貧栄養化とノリ養殖. 海洋と生物 2009 ; 31(2) : 109-172.
  - 7) 藤原建紀. ミニシンポジウム記録 瀬戸内海の栄養 塩不足とその対策—河川水利用技術の開発— 1.瀬戸内海の栄養塩と生物生産. 日本水産学会誌 2011 ; 77(1) : 111.
  - 8) 反田 實, 赤繁 悟, 有山啓之, 山野井英夫, 木村博, 團 昭紀, 坂本 久, 佐伯康明, 石田祐幸, 壽 久文, 山田卓郎. 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. 水産技術 2014 ; 7(1) : 37-46.
  - 9) 堀 豊, 望月松寿, 島本信夫. 播磨灘北部海域におけるノリ色落ちと漁場環境の変遷. 水産海洋研究 2008 ; 72(2) : 107-112.
  - 10) 高木秀蔵・藤沢節茂・藤原建紀, 2009 : 備讃瀬戸のノリ養殖の現状と河川からの栄養塩供給, 海洋と生物, 31, 118-122.
  - 11) 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター. 豊かな瀬戸内海の再生を目指して. リーフレット 2020 ; 1-7.
  - 12) 瀬戸内海関係漁連・漁業連絡会議. 「新瀬戸内海再生法」の整備に向けて かつて瀬戸内海は宝の海だった. 瀬戸内海関係漁連・漁業連絡会議事務局 2012 ; 7p.
  - 13) 伊藤龍星. 鉄鋼スラグを利用した養殖ノリへの施肥の試み. 大分県農林水産研究指導センター研究報告 (水産編) 2012 ; 2 : 7-12.
  - 14) 都留勝徳. 瀬戸内海の栄養塩は少ないかい? おおいたアークア・ニュース 2022 ; 54 : 9-10.
  - 15) 山本民次. 「きれいな海」から「豊かな海」へ. 豊かな海 2015 ; 37 : 50-54.
  - 16) 大分地方気象台. 「大分県気象月報 (平成5年6~9月)」2013.
  - 17) 伊藤龍星. 周防灘大分県海域ノリ漁場の水温, 比重の近年の動向と病害との関係. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告 2004 ; 5 : 23-28.
  - 18) 水産庁漁港漁場整備部. 磯焼け対策における施肥に関する技術資料 2015 ; 31p.
  - 19) 瀬戸内海区水産研究所. 大分県海域 (周防灘) 瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測 40年成果 (海況の長期変動) 2015 ; 224-239.
  - 20) 木村聡一郎. 夏季高温下におけるアサリのへい死. 大分県農林水産研究指導センター研究報告 (水産編) 2014 ; 4 : 1-8.
  - 21) 梶原直人, 手塚尚明, 浜口昌巳. 大分県中津干潟における地温とアサリ着底稚貝個体数の変動特性. 水産工学 2017 ; 53(3) : 149-157.
  - 22) 岩本俊樹・難波洋平. 児島湾周辺のノリ養殖漁場に及ぼすダム上乗せ放流を含む河川水の影響 (平成17-19年度). 岡山県水産試験場研究報告 2009 ; 24:63-69.
  - 23) 林 俊搭, 長谷川健一, 梶山 誠. ノリ色落ち対策のための亀山ダム放水の効果について千葉県水産総合研究センター研究報告 2015 ; 9 : 15-25.
  - 24) 阿部和雄. 広島県で採取された雨水中の栄養塩濃度について. 水産技術 2019 ; 11(1) : 31-36.
  - 25) 菅沼倫美, 山田英俊, 岩野英樹, 伊藤龍星. 下水処理管理運転が二枚貝生産に及ぼす影響調査 赤潮・貧酸素水塊対策推進事業 2017 ; 230.
  - 26) 都留勝徳・西陽平・入江隆乃介. 中津干潟における栄養塩拡散試験. 大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告 2022 ; 249-257.
  - 27) 梶原 楓, 南條楠土, 阿部真比古, 足利由紀子, 山守 巧, 和田太一, 須田有輔. 地下湧水が干潟のマクロベントス群集構造に及ぼす影響 2021. 水産大学校研究報告 ; 70(1) : 1-9.
  - 28) 塩川麻保, 山口 聖, 梅澤 有. 有明海西岸域への地下水由来の栄養塩供給量の評価. 沿岸海洋研究 2013 ; 50(2) : 157-167
  - 29) 松本和剛, 早川康博, 須田有輔. 鹿児島県吹上浜海岸における砂浜地下水による栄養塩供給. 水産海洋研究 2007 ; 71(4) : 309-310.
  - 30) 大沢信二, 岸田 立, 本田尚美, 三島壮智, 杉本 亮, 谷口真人. ラドン曳航調査でみた別府湾沿岸の海底温泉湧出. 陸水物理学会誌 2022 ; 4 : 3-13.
  - 31) 山田 誠, 小路 淳, 寺本 瞬, 大沢信二, 三島壮智, 杉本 亮, 本田尚美, 谷口真人. 夏季の大分県日出町沿岸部におけるドローンをを用いた海底湧水の探索. 日本水文学会誌 2016 ; 46(1) : 29-38.
  - 32) 青山裕晃. 矢作川・豊川中流域の栄養塩濃度の低下. 愛知県水産試験場研究報告 2020 ; 25 : 22-24.
  - 33) 伊藤龍星, 林 亨次, 平澤敬一, 平川千修, 原 朋之. 周防灘西部海域中津干潟におけるバカガイの基礎的生態と資源の推移. 大分県農林水産研究指導センター研究報告 (水産研究部編) 2022 ; 8 : 27-35.
  - 34) 伊藤龍星, 平澤敬一. 大分の海 北から南まで 一多様な海洋環境とブランド水産物— .大分自然博物誌ブンゴエンス 2019 ; 3 : 123-125.
  - 35) 日本水産資源保護協会. 水産用水基準 第8版, 2018.
  - 36) 半田亮司, 岩淵光伸, 福永 剛, 本田一三, 山下輝昌. 1992年度有明海福岡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.
  - 37) 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.
  - 38) 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.

