＜報　文＞

徳島県沿岸海域における溶存態無機窒素の長期変動と濃度分布について*

辻　真拓**・出羽　知佳***・上岡　新**

キーワード　①栄養塩類　②溶存態無機窒素（DIN）　③コンター図　④徳島県沿岸海域

要　　旨

本調査では，複数の既存の水質調査結果を集約し，徳島県沿岸海域における溶存態無機窒素（DIN）の長期変動と濃度分布を解析した。その結果，1990年代から2020年代初期までの徳島県沿岸海域全域のDIN濃度の減少率は57.1％であった。特に小松島港は，最大で69.2％の減少率がみられた。濃度分布については，1980～1990年代に広範囲に分布していた。0.15mg/L以上の高濃度域が2020年代初期にはほぼ消失し，0.01mg/L程度の低濃度域が出現していることが示された。また，吉野川河口や鳴門海峡周辺では，陸域負荷や潮流の影響により他の地点より高い濃度域が見られた。季節変動では，DIN濃度は秋から冬にかけて高濃度，春から夏にかけては低濃度で推移しており，長期的にみると季節間の差が縮小している傾向がみられた。

1. はじめに

瀬戸内海は我が国で最大の閉鎖性水域であり，1960年代から1970年代の高度経済成長期には富栄養化が進行し，「瀕死の海」といわれるほど瀬戸内海の水質は著しく悪化した。この状況を受け，1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法（後の特別措置法，以下「瀬戸内法」という）が制定され，CODおよび窒素・りんの水質総量規制が順次開始されたことで，水質に一定の改善がみられた[1)]。しかし，近年では栄養塩類の濃度低下による養殖ノリ・ワカメの色落ちや生長不振が発生するなど貧栄養化による被害が新たな問題となっている[2)]。このような状況を鑑み，2021年には瀬戸内法が改正され，関係府県知事が栄養塩類管理計画を策定できる制度が創設された。これにより，湾，灘その他海域ごとの実情に応じて「きめ細かな」管理を目指すこととされている[3)]。徳島県沿岸海域においても，これまでに複数の水質調査で栄養塩類が測定されているものの，それらを体系的に取りまとめた調査データが存在しなかった。そこで本調査では，瀬戸内海全域で著しい減少傾向が指摘されている溶存態無機窒素（以下，「DIN」という）に焦点を当て，既存の水質調査データを集約し長期変動を明らかにするとともに，コンター図を用いた濃度分布の把握を試みた。

2. 方法

調査で使用した既存の水質調査データを表1に示す。既存データの調査開始年から2021年までのDIN濃度の結果を解析対象とし，各年および年代（10年単位）ごとのDIN濃度の平均値を算出した。なお，2020年代のデータは2020年と2021年の2年間分とし，これを「2020年代初期」として扱った。また，硝酸態窒素(NO_3-N)，亜硝酸態窒素(NO_2-N)，アンモニア態窒素（NH_4-N）濃度の結果がある場合は，その合計値もDIN濃度として採用した。濃度単位はmg/Lに統一し，μg-at/Lで表記されているものはmg/Lに換算した（mg/L= μg-at/L×14.0067/1000）。N.D.や下限値未満の表記は「0」として扱ったが，下限値未満でも生値で表記されているものについては，その値を採用した。

徳島県沿岸海域のうち解析対象とした地点数は12地点（1980年代）～91地点（2020年代）で，DINを解析する上で使用したデータ数は約7万以上であった。

コンター図の作成については，年代ごとのDIN濃度を使用し，QGIS（ver.3.22.16）を用いて作図した。分布の補間手法として，不規則三角網法（TIN：Triangulated Irregular Network）を使用した。

*Long-term Changes and Concentration Distribution of Dissolved Inorganic Nitrogen in the Coastal Waters of Tokushima Prefecture

**Masahiro Tsuji, Shin Ueoka（徳島県立保健製薬環境センター）Tokushima Prefectural Public Health, Pharmaceutical and Environmental Sciences Center

***Chika Deba（徳島保健所）Tokushima Public Health Center

表1　使用した既存の水質調査データ

	調査名	対象期間	年数	所管
1	広域総合水質調査（瀬戸内海）	1981年～2021年	41年間	環境省
2	瀬戸内海総合水質調査	1982年～2021年	40年間	国土交通省
3	浅海定線調査	1991年～2021年	31年間	徳島県水産研究課
4	藻類養殖漁場環境調査	2002年～2021年	20年間	徳島県水産研究課
5	旧吉野川浄化センター周辺海域水質調査	2008年～2021年	14年間	徳島県水環境整備課

3. 結果

3.1 徳島県沿岸海域全域の長期変動

1981年から2021年までのDIN濃度の推移を図1に示す。DIN濃度は1991年に最高値0.12mg/L程度に達した後，減少傾向となり，2021年には0.03mg/Lとなった。1990年代に対する2020年代初期の減少率は57.1%であり，1990年代以降の各年代とも，直前の年代と比較して約25%の割合で減少していた。これについて，反田ら[1]は，1980年以後の30年間におけるDIN濃度はいずれの海域でも最高時の40%前後（減少率として約60%）まで低下していると報告しており，瀬戸内海全体でも同程度の減少傾向であることが示されている。このようなDIN濃度の減少に関して，阿保ら[4]は，2000年代以降の瀬戸内海全域のDIN濃度低下の一因として，水質総量規制を含む環境施策の導入を挙げている。徳島県においても2002年から窒素・りんの総量削減制度が開始されており，2000年頃のDIN濃度が減少し始めた時期に近い。2002年以前からもDIN濃度の減少は見られるが，これは当該制度導入以前から実施されていた水質改善への取組みや，その他環境因子が関与していると考えられる。

図1　徳島県沿岸海域全域のDIN濃度の推移

3.2 コンター図と濃度分布

各年代のDIN濃度のコンター図を図2に示す。0.15mg/L以上の高濃度域（赤色）は，1980年代から1990年代にかけて広範囲に分布していたが，2020年代初期にはほぼ消失し，0.01mg/L未満の低濃度域（青色）が出現した。2020年代初期の濃度分布を見ると，0.05mg/L程度の中低濃度域（緑色）が広範囲を占めるなかで，吉野川河口および鳴門海峡周辺で0.075mg/L程度の中濃度域（黄色）が見られた。吉野川とその北部に近接している旧吉野川はともに流量の大きい一級河川であり，県内の他の主要河川と比較しても窒素流入負荷量が顕著に高いことが報告されている[5]。このことから，これらの河口周辺では，陸域からの負荷により高い栄養塩類濃度が維持されていると推定された。

一方，鳴門海峡周辺には窒素流入負荷量の大きい河川が存在しないにもかかわらず，DIN濃度が比較的高い。これは，鳴門海峡の特殊な地形が寄与していると考えられ

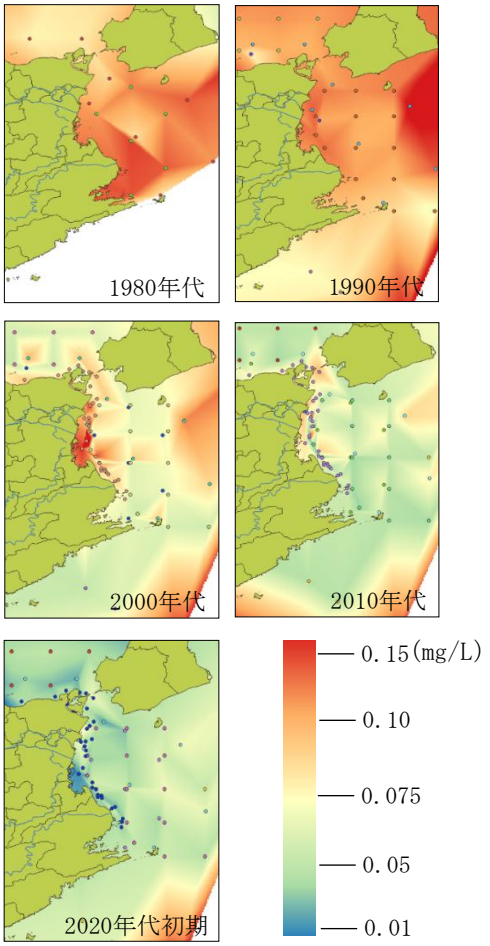

図2　DIN濃度分布

る。鳴門海峡の海峡幅は約1.3kmと狭く，日本で最も速い潮流を形成する。これにより渦潮が発生しやすく，渦潮が下層や底層中の栄養塩類を循環させ[6]，一帯に高い栄養塩類濃度を生み出していると考えられた。

3.3 地点ごとの長期変動

図3のように地点を8つに分類し，地点ごとの長期変動を確認した。年代ごとの地点別DIN濃度の推移を図4，1990年代に対する2020年代初期の減少率を表2に示す。

最も減少率が大きい地点は，小松島港で69.2%であった。小松島港は，1990年代ではDIN濃度が最も高かったにもかかわらず，2020年代初期では最も低い値となった。この要因には複数の要素が関与していると考えられる。具体的には，周辺地点と比較して塩分が低く外海からの栄養塩類の供給を比較的受けにくいことや，栄養塩類を多量に供給する大きな河川との接続がないこと，近傍に位置する吉野川の栄養塩類濃度減少に伴い小松島港への供給量が低下したことなどが挙げられる。

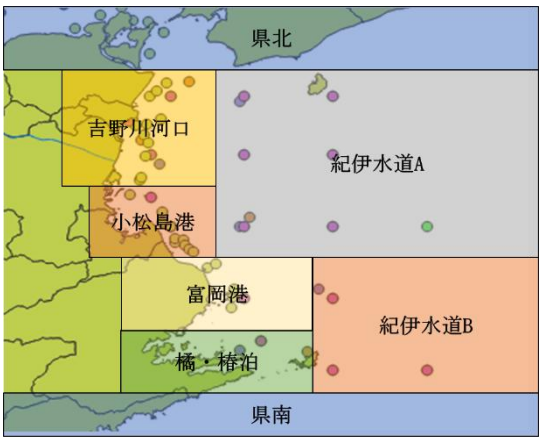

図3　地点分類

3.4 季節変動

調査データを季節ごと（春：3～5月，夏：6～8月，秋：9～11月，冬：12～2月）に分類し，DIN濃度の季節変動を確認した。年代ごとの季節別DIN濃度を図5，1990年代と2020年代初期の季節別のコンター図を図6に示す。

2020年代初期を除いて，DIN濃度は秋から冬に高く，春から夏に低くなる傾向が見られた。これについて，瀬戸内海の季節変動では，植物プランクトンの一次生産の影響を受けているとの報告があり[7]，徳島県沿岸海域でも，同様の季節変動が生じていると考えられた。

また，年代ごとの季節別DIN濃度の割合を図7に示す。1990年代では冬が34.1%と最も高かったが，2020年代初期には25.1%まで減少していた。一方で，夏は2020年代初期では34.8%となり，全体でみると季節間の差が縮小している傾向がみられた。表層DINに対する気候変動の影響として，東は[8]，水温の上昇に伴う植物プランクトンの一次生産量の変化により，今後，夏の表層DINは上昇し，冬は低下するという予測結果を出しており，また，現在すでにその影響を受けている可能性があることを示唆している。2020年代初期は2年間のみの結果のため，これをもって傾向を断定することは難しいが，今後も冬の比重が減少し季節間の差が無くなるとともに，さらに夏の比重が増加する可能性が考えられる。引き続きデータの蓄積と解析を行い，栄養塩類の季節的な動向に注視していく必要がある。

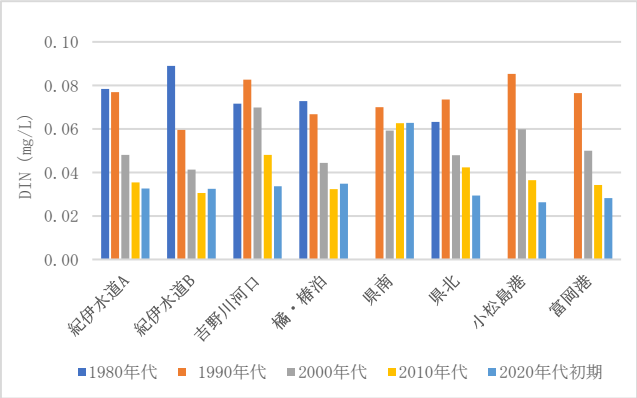

図4　地点別DIN濃度の推移

表2　1990年代と2020年代初期のDIN濃度と減少率

	1990年代 DIN濃度（mg/L）	2020年代初期 DIN濃度（mg/L）	減少率(%)
紀伊水道A	0.077	0.033	57.7
紀伊水道B	0.060	0.033	45.4
吉野川河口	0.083	0.034	59.4
橘・椿泊	0.067	0.035	47.8
県南	0.070	0.063	10.5
県北	0.073	0.029	60.0
小松島港	0.085	0.026	69.2
富岡港	0.076	0.028	63.1
全体	0.074	0.032	57.1

4. まとめ

本調査から次のことがわかった。

1　徳島県沿岸海域全域のDIN濃度は，1990年代以降，最高値0.12mg/L程度から0.03mg/Lまで減少し，1990年代に対する2020年代初期の減少率は57.1%であった。

2　地点別にみると，DIN濃度の減少率が最も大きい地点は小松島港であり，69.2%であった。

3　季節別のDIN濃度は，秋から冬にかけて高く，春から夏にかけて低い傾向がみられた。また，長期的にみると季節間の差が縮小している傾向がみられた。

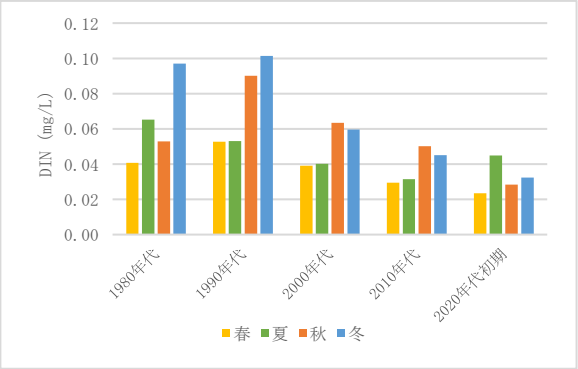

図5　季節別DIN濃度

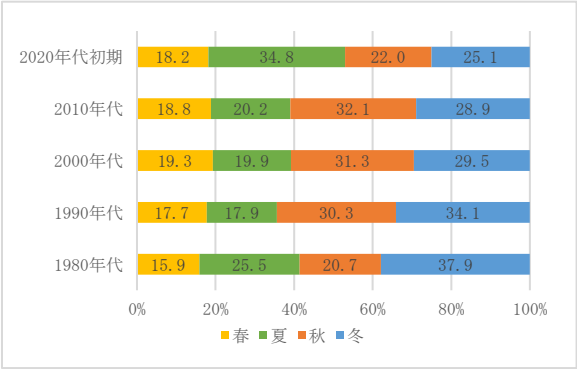

図7　季節別DIN濃度割合

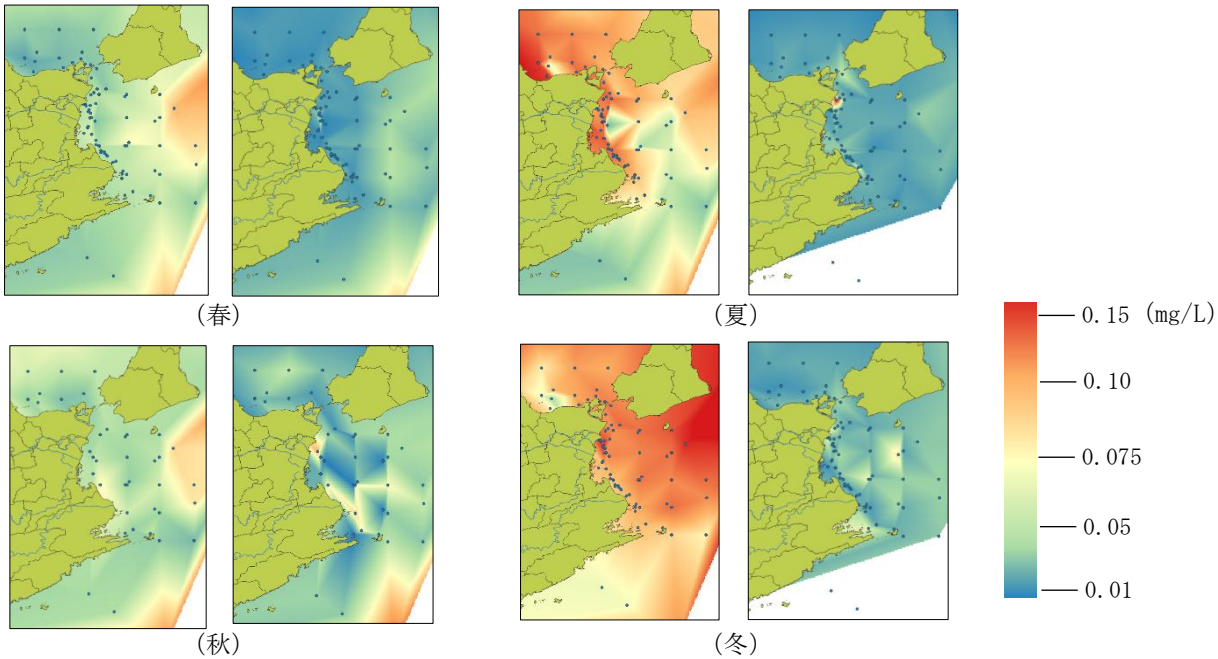

図6　季節ごとの1990年代（左）と2020年代初期（右）のDIN濃度分布

5. 謝辞

本調査を行うにあたり，データ提供にご協力いただきました徳島県生活環境部環境管理課，徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課および徳島県県土整備部水環境整備課の皆様に深く感謝申し上げます。

6. 引用文献

1)　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,**7**,(1),37-46，2014

2)　徳島県：瀬戸内海の環境の保全に関する徳島県計画（令和5年3月），https://www.pref.tokushima.lg.jp/file/attachment/835586.pdf（2025.10.20アクセス）

3)　環境省：瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律について，https://www.env.go.jp/water/heisa/setonaikai_law_rev.html（2025.10.20アクセス）

4)　阿保勝之，秋山諭，原田和弘，中地良樹，林浩志，村田憲一，和西昭仁，石川陽子，益井敏光，西川智，山田京平，野田誠，徳光俊二：瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因．沿岸海洋研究，**55**，（2），101－111，2018

5)　浅川愛，酒池遼，管生伸矢，中石明希：徳島県内における陸域からの窒素流入負荷特性．徳島県立保健製薬環境センター年報，**10**，35-40，2020

6)　南あわじ市：鳴門海峡の渦潮のしくみ，https://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/soshiki/uzushio/shikumi.html（2025.10.20アクセス）

7)　小林志保，藤原建紀，阿保勝之，堀豊，藤沢節茂：播磨灘における全窒素濃度の季節変動と窒素の形態変化．　沿岸海洋研究，**47**，（1），61-69，2009

8)　東博紀：瀬戸内海における水環境への気候変動の影響と適応策．水環境学会誌，**44**，（5），142-146，2021