

ノート

伊勢湾の水質の変化とその傾向についての考察

谷村譲紀, 奥山幸俊, 国分秀樹*, 佐藤弘之**, 小林利行***
千葉賢****, 大八木麻希****

A Study on Water Quality Changes and Its Tendency in Ise Bay

Yoshinori TANIMURA, Yukitoshi OKUYAMA, Hideki KOKUBU,
Hiroyuki SATO, Toshiyuki KOBAYASHI, Satoshi CHIBA and Maki OYAGI

伊勢湾は漁業活動や親水の間として, 人々に様々な恩恵を与えている. しかし, その水質は人間活動によって, 近年大きく変化してきた. そこで, 伊勢湾の水質の変化を捉え経年的な傾向を知るために, COD, 全窒素, 全リンについて, 過去の広域総合水質調査データを取りまとめ, 考察をおこなった. その結果, 2015年の伊勢湾内の全窒素および全リンの濃度は, 調査の始まった1979年に比べると低下しているものと考えられる. 特に2000年以降全窒素の濃度は全湾的に減少傾向に変化し, 伊勢湾総量削減による全窒素の流入抑制により, 湾内の窒素成分が減少してきていることが示唆された. また, CODとクロロフィルa濃度との相関から, 湾奥では, CODへの植物プランクトン量の寄与が小さい可能性がある一方, 2000年以降鈴鹿沖から伊勢沖および湾央, 湾口, 三河湾湾口では, CODへの植物プランクトン量の寄与が大きくなっていると考えられる.

キーワード: 伊勢湾, 総量削減, 全窒素, 全リン, COD, クロロフィルa

はじめに

伊勢湾は漁業活動や親水の間として, 人々に様々な恩恵を与えている. しかし, その水質は人間活動により, 近年大きく変化してきた. 1950年代の高度経済成長期には, 生活排水や事業場排水の流入により大規模な水質汚濁が発生し, 社会的な問題となった. それに対し, 水質改善のための規制, 政策, 研究など様々な取り組みがなされ, 今日の伊勢湾の水質は改善傾向にあると考えられるようになった¹⁾.

規制については, 前身である公共用水域の水質の保全に関する法律および工場排水等の規制に関する法律に代わり, 1970年に水質汚濁防止法が公布され, 水質汚濁に対する規制の強化が図られた. 加えて, 伊勢湾を含む全国の閉鎖性海域では1979年からCODの総量削減が始まり, 2001年には全窒素, 全リンの総量削減も開始された. また, 規

制の強化に呼応するように, 伊勢湾の水質調査やモニタリングのデータも, 1970年代後半頃以降に多く残っており, 伊勢湾の水質の変化をみる上で, 貴重な資料となっている. これら調査データから, 伊勢湾の水質の変化を捉え経年的な傾向を知ること, 今後の水質改善に関する取り組みを考える上での判断材料になる.

今回は, 汚濁や富栄養化の指標として, また総量削減の対象ともなっているCOD, 全窒素, 全リンについて, 調査データを取りまとめ伊勢湾の水質の変化について考察した.

調査方法

1. 調査データ

環境省が1978年度から実施している広域総合水質調査の結果²⁾を用いて考察した. 今回用いたデータは, 調査が開始された1978年度から2014

* 三重県水産研究所鈴鹿水産研究室

*** 四日市市廃棄物対策室

** 三重県環境生活部大気・水環境課

**** 四日市大学環境情報学部

年度の三河湾を除いた伊勢湾の冬季(1月または2月)の表層のデータである。(広域総合水質調査は年度調査であるため、調査年としては、1979年～2015年のものを使用)ただし、調査地点12, 16, 23, 27, 28(図1)については1982年以前のデータが得られなかったため、1982年からのデータを用いた。冬季データを用いた理由は、湾内の内部生産や成層化の影響が小さく、陸域からの負荷の経年変化が表れやすいと考えたためである。

また、調査結果が下限値未満のデータについては下限値の数値を用いた。

2. 調査地点

広域総合水質調査の地点図を図1に示す。

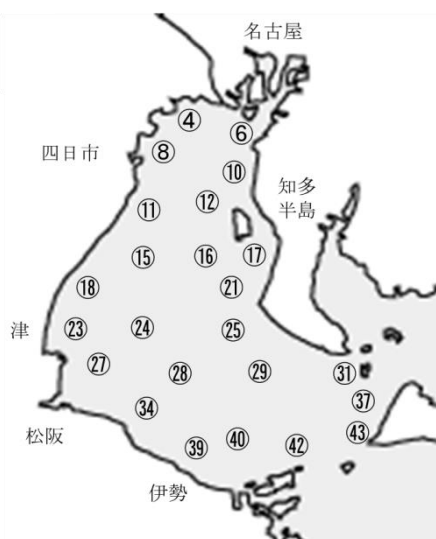


図1 広域総合水質調査地点一覧

3. 解析方法

まず、1979年から2015年の調査データから、線形回帰により回帰式を算出した。次に、1979年に対する2015年の各項目の濃度を比較するため、得られた回帰式上で1979年の濃度および2015年の濃度を計算し、そこから1979年の濃度に対する2015年の濃度の割合を求めた。最後に、得られた割合から、90%未満を減少傾向、90%以上かつ110%以下を横ばい傾向、110%より大きい場合を増加傾向として評価した。2001年から伊勢湾総量削減に全窒素、全リンが追加されたことを考慮し、1979年から2000年、2001年から2015年の期間についても同様の方法で評価をおこなった。

また、徐らの方法³⁾を用いて、得られた回帰式にt検定を適用し、有意水準5%での増減傾向の有意性を確認した。

結果および考察

1. 全窒素、全リンの経年変化

解析により求めた結果を表1～3に示す。

表1, 表2から、1979年に対する2015年の割合をみると、全窒素、全リンともに、全湾的に横ばいから減少傾向がみてとれることから、総量削減の始まった1979年に比べると、伊勢湾内の全窒素、全リンの濃度は低下しているものと考えられる。また、2009年度の窒素の汚濁負荷量は1979年度と比較すると37%削減されており⁴⁾、陸域からの汚濁負荷量と湾内の全窒素の濃度の減少傾向は同程度であることが推察される。次に、1979年に対する2000年の割合をみると、両成分とも全湾的には概ね横ばいから減少傾向であるものの、増加傾向の地点もみられる。なお、両成分で横ばいから増加傾向の地点(6, 10, 17, 21, 31, 37, 43)は愛知県側の地点である。しかし、2001年に対する2015年の割合をみると、全窒素は全湾的な減少傾向に、また全リンについては、全湾的に減少傾向が横ばいの傾向に変化していることがわかる。

t検定の結果から、有意水準5%での有意性が確認された地点を図2, 図3に示す。図2から、1979年に対して2015年の全窒素の濃度は、湾奥から湾中央北側にかけて(4, 6, 10, 12, 16, 17)、鈴鹿沖から答志島までの三重県側の地点(11, 15, 18, 23, 24, 27, 28, 34, 39, 40)で有意な減少傾向が確認できる。また、1979年から2000年の変化に比べ2001年から2015年の変化では全窒素の有意な減少傾向の地点が増加していることがわかる。さらに前段で述べたように、2000年以降の全窒素の濃度は全湾的に減少傾向に変化していることから、2001年に全窒素が総量削減に加わったことによる流入抑制により湾内の窒素成分が減少してきたと思われる。一方図3から、全リンについては、1979年に比べて2015年の濃度は名古屋港沖の地点(6)、知多半島寄りの地点(17, 21, 29)で有意な減少傾向がみられた。また、1979年から2000年までの変化では、四日市沖の地点(8)で有意な減少傾向が確認できたが、2000年から2015年の変化では、有意な傾向は確認できなかった。しかし、2009年度のリンの汚濁負荷量を1979年度と比較すると63%削減されている⁴⁾ことを加味すると、湾内の底質から溶出するリンの影響⁵⁾などにより全リンの有意な減少傾向が表れていない可能性がある。

表 1 回帰式より求めた期間最初の年に対する期間最後の年の全窒素の濃度の割合

地点番号	1979年- 2015年 (%)	1979年- 2000年 (%)	2001年- 2015年 (%)
4	43	41	56
6	64	106	63
8	61	25	69
10	73	108	77
11	51	77	46
12	64	69	78
15	65	57	60
16	71	81	55
17	69	90	76
18	62	78	46
21	78	148	75
23	52	59	42
24	37	42	42
25	80	91	81
27	52	53	43
28	62	69	49
29	86	110	83
31	84	106	61
34	53	84	41
37	80	93	74
39	59	63	32
40	62	70	38
42	70	80	44
43	100	121	81
全湾平均	66	80	59

表 2 回帰式より求めた期間最初の年に対する期間最後の年の全リンの濃度の割合

地点番号	1979年- 2015年 (%)	1979年- 2000年 (%)	2001年- 2015年 (%)
4	71	83	98
6	69	114	78
8	94	39	96
10	82	105	96
11	80	77	96
12	76	81	93
15	92	72	91
16	85	96	83
17	71	96	92
18	107	72	91
21	74	95	102
23	82	69	78
24	97	82	94
25	91	85	111
27	95	66	89
28	83	66	100
29	76	86	114
31	80	91	78
34	88	64	75
37	80	102	103
39	96	74	84
40	96	73	69
42	103	67	104
43	90	98	96
全湾平均	86	81	92

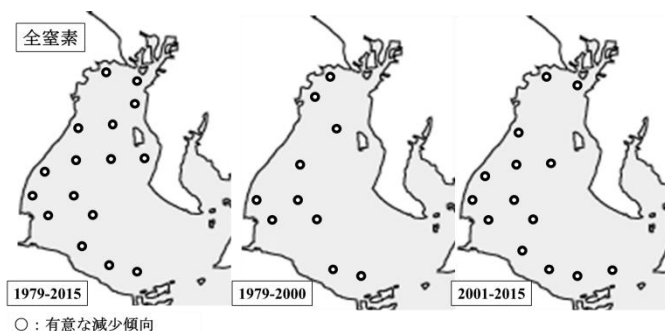


図 2 一定期間における全窒素の回帰式に対する t 検定結果

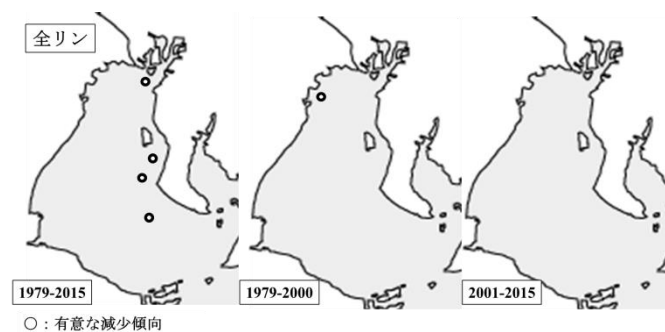


図 3 一定期間における全リンの回帰式に対する t 検定結果

2. COD の経年変化

解析により求めた結果を表 3 に示す。また、COD とクロロフィル a の濃度との決定係数 (R^2) を表 4 に示す。

表 3 から、1979 年に対する 2015 年の割合をみると、愛知県側の地点 (10, 21, 25, 37, 43) では増加傾向がみられるものの、全湾的には横ばいである。また、1979 年に対する 2000 年の割合でも同様に愛知県側の地点 (10, 16, 25, 29, 31, 43) で増加傾向がみられるが、2001 年に対する 2015 年の割合では、三重県側の地点 (4, 34, 39, 42) で増加傾向がみられ、増加傾向にあった愛知県側の地点 (地点 10 を除く) では減少傾向を示している。

t 検定の結果を図 4 に示す。1979 年から 2000 年までの傾向としては愛知県側の地点 (25, 29) で有意な増加傾向を示したが、2000 年から 2015 年の変化では一転して愛知県側の地点 (16, 17, 21, 25, 29, 37) で有意な減少傾向となった。また、1979 年に対して 2015 年の COD は四日市沖の地点 (8) および津沖から湾中央にかけての地点 (23, 24, 27) で有意な減少傾向となったものの、前段で述べたとおり全湾的な傾向としては横ばいであり、2015 年の COD 濃度は 1979 年から大きく変化していないと考えられ、総量削減の効果を明確な形で捉え

ることはできなかった。

次に、植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a の濃度と COD の関係⁶⁾に着目し、両者の相関を求めた。表 4 から、どの期間においても湾奥の地点 (4, 6, 8) では、相関係数が小さく、COD への植物プランクトン量の寄与が小さいことが示唆された。湾奥には木曾三川があり伊勢湾最大の河川流入量があることから、陸域負荷の影響が相対的に大きいため、COD とクロロフィル a の相関が小さくなった可能性がある。一方、2001 年から 2015 年の結果より、鈴鹿沖から伊勢沖の地点 (11, 15, 18, 23, 27, 34, 39, 40) および湾中央 (16, 24, 28), 湾口 (42, 43), 三河湾湾口 (31) の地点では、クロロフィル a と COD の間に正の相関があることが確認できた。特に、決定係数の大きい鈴鹿沖の地点 (11, 15) では、植物プランクトン量と COD は密接な関係にある可能性がある。また、1979 年から 2000 年の間では、愛知県側の地点 (10, 12, 17, 21, 25) においてクロロフィル a の濃度と COD の間に正の相関が認められるものの、2000 年から 2015 年では相関は確認されず、2000 年以降 COD への植物プランクトン量の寄与が小さくなっていることが示唆された。

表 3 回帰式より求めた期間最初の年に対する期間最後の年の COD の濃度の割合

地点番号	1979年- 2015年 (%)	1979年- 2000年 (%)	2001年- 2015年 (%)
4	96	87	117
6	82	98	96
8	71	75	94
10	112	118	113
11	73	87	97
12	101	98	87
15	82	98	91
16	106	145	54
17	109	111	73
18	85	93	103
21	120	110	67
23	72	73	101
24	75	92	87
25	136	201	69
27	65	74	78
28	78	82	99
29	102	181	70
31	107	123	63
34	84	84	115
37	120	110	66
39	84	91	119
40	90	88	101
42	95	86	130
43	123	118	89
全湾平均	95	105	91

逆に、鈴鹿沖から伊勢沖の地点 (11, 15, 18, 23, 27, 39, 40) および湾中央 (16, 24, 28), 湾口 (42, 43), 三河湾湾口 (31) では相関係数の値が大きくなっており、2000 年以降 COD への植物プランクトン量の寄与が大きくなっていると考えられる。

まとめ

以上から、2015年の伊勢湾内の全窒素および全リンの濃度は、総量削減の始まった1979年に比べると低下しているものと考えられる。特に2000年

表 4 一定期間中の COD の濃度とクロロフィル a の濃度との決定係数 (R²)

地点番号	1979年- 2015年	1979年- 2000年	2001年- 2015年
4	0.05	0.10	0.00
6	0.06	0.13	0.08
8	0.20	0.18	0.08
10	0.15	0.41	0.00
11	0.45	0.41	0.60
12	0.19	0.30	0.06
15	0.38	0.24	0.74
16	0.37	0.38	0.47
17	0.20	0.27	0.07
18	0.13	0.06	0.36
21	0.17	0.33	0.01
23	0.32	0.22	0.50
24	0.25	0.20	0.35
25	0.12	0.21	0.06
27	0.44	0.39	0.54
28	0.37	0.38	0.45
29	0.05	0.03	0.12
31	0.25	0.26	0.31
34	0.49	0.52	0.46
37	0.03	0.17	0.20
39	0.26	0.23	0.44
40	0.17	0.07	0.47
42	0.13	0.11	0.38
43	0.26	0.16	0.48

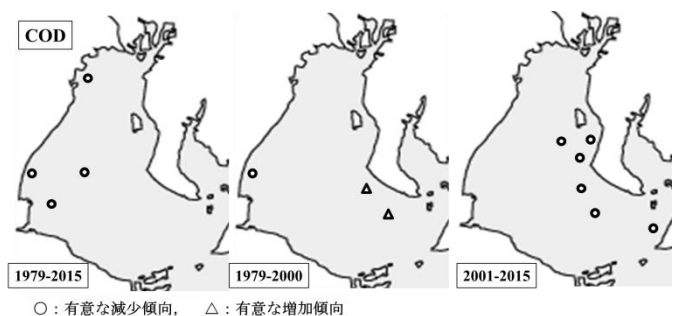


図 4 一定期間における COD の回帰式に対する t 検定結果

以降全窒素の濃度は全湾的に減少傾向に変化しており、総量削減による全窒素の流入抑制により湾内の窒素成分が減少してきている可能性が示唆された。また、2015年のCODは、1979年から大きく変化していないと考えられる。

また、CODとクロロフィルaとの相関を調べると、湾奥では、CODへの植物プランクトン量の寄与が小さいことが示唆された。一方、2000年以降鈴鹿沖から伊勢沖および湾央、湾口、三河湾湾口では、CODへの植物プランクトン量の寄与が大きくなっていることが確認された。

最後に、今回の計算結果では、三重県側と愛知県側のどちらか片側に同様の増減傾向を示す地点が偏る場合が複数回確認された。風向や風速の影響⁷⁾や局所的な負荷の違い、湾内流の影響など様々な要因が関係していると考えられるが、各項目の増減傾向との明確な関係性は確認できていないため、今後検討を進めていく必要がある。

文 献

- 1)環境省：平成 28 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書。
- 2)環境省：水環境総合情報サイト (<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/>)。広域総合水質調査データ (水質)。
- 3)徐 宗学, 竹内邦良, 石平 博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究. 水工学論文集, 第 46 卷(2002), 121-126.
- 4)中央環境審議会：第 8 次水質総量削減の在り方について (答申)。2017.
- 5)千葉 賢：浮遊低次生態系・海底堆積物結合モデルによる伊勢湾水質と底質の長期計算. 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol. 71, No. 2(2015), I_1255-I_1260.
- 6)保坂成司, 岩下圭之, 大木宜章：クロロフィル a と各水質項目の関連性に関する研究. 日本大学生産工学部研究報告 A, 第 42 巻第 2 号(2009), 19-31.
- 7)東 博紀, 越川 海, 木幡邦男, 村上正吾, 水落元之：伊勢湾における水質の長期変動傾向と風向・風速の経年変化の関係に関する数値解析. 水工学論文集, 第 53 巻 (2009), 1483-1488.