

伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代¹

羽生和弘

Investigation into the beginning of hypoxia expansion across the inner part of Ise Bay

KAZUHIRO HANYU

キーワード：伊勢湾，貧酸素水塊

This study analyzed the dissolved oxygen concentration (DO) data recorded by the Mie Prefecture Fisheries Research Institute and others at 1 m above the seabed of the inner part of Ise Bay from April 1956 to December 2016. Large areas of hypoxia water masses (DO \leq 3 mg/L) were not detected between 1956 and 1958. Long-term fluctuations in DO suggested that hypoxia began to affect a large area of the inner part of Ise Bay at the end of the 1950s.

伊勢湾では毎年夏季から秋季にかけて大規模な貧酸素水塊が出現する(津田 1980, 久野 1996, 黒田・藤田 2006, 笈・藤原 2007, 水野・丸山 2009)。ときに浅場・干潟にも出現し、底生生物の大量へい死を引き起こすため(糸川ら 1984, 中尾・石川 1989, 坂口ら, 1998a, 日向野・品川 2009, 天川・関口 2015), その低減は伊勢湾流域圏

の大きな課題となっている(伊勢湾再生推進会議 2015)。

伊勢湾では 1929 年 10 月に湾中央部(水深 35.5m)の水深 32 m で溶存酸素濃度 2.77 mg/L の水塊が観測されており(神戸海洋気象台 1933), 伊勢湾はもともと貧酸素化しやすい環境にあると考えられる。ただし, 伊勢湾の透明度は 1950–1970 年代に著しく低下した可能性が高く

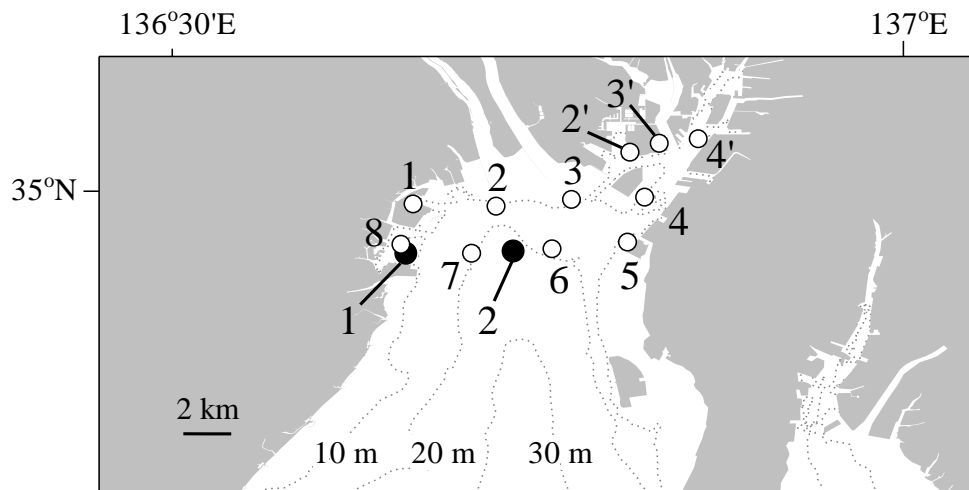


Fig. 1. Locations of the observation stations for dissolved oxygen concentration in the inner part of Ise Bay from April 1956 to December 2016. Open and solid circles: observation stations for 1956–1961 and 1967–2016, respectively. Number: station number. Dotted line: water depth. Shoreline indicates the location of the shoreline in the 2010s.

¹本研究の一部は平成 27 年度水産海洋学会地域研究集会「第 11 回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える—貧酸素水塊の漁業への影響と対策—」にて口頭発表したものである。

(石田・青山 2012), 前述したような大規模な貧酸素水塊が 1920 年代にも出現していたとは考えにくい。

伊勢湾の溶存酸素濃度は、現在、三重県水産研究所が毎月 1 回、湾全域の 16 測点で観測しており、過去の観測結果は「漁海況予報関係事業結果報告書」等の資料(三重県伊勢湾水産試験場 1978–1985, 三重県水産技術センター 1986a–1998, 三重県科学技術振興センター水産技術センター 1999–2001, 三重県科学技術振興センター水産研究部 2002–2007, 三重県水産研究所 2010–2015)として公開されている。このような観測体制が確立されたのは 1972 年であり、1970–2000 年代の貧酸素水塊の出現状況については、前述した研究により詳しく整理・検討されている。一方、それより前の年代については、1950 年代に湾奥部で「伊勢湾奥部水産振興会水産調査」として観測が開始されたものの(愛知県水産試験場尾張分場・三重県水産試験場伊勢湾分場 1957), 測点座標が 1972 年以降のものとは異なることに加え、座標が不明確であったこともあり、これまで解析対象とされてこなかった。しかし、1950 年代の溶存酸素濃度の観測事例は他に見当たらないため、当時の状況把握はこの資料に頼らざるを得ないと考えられる。また、筆者が当時の関係資料を調査したところ、測点座標の一部は別の報告書(三重県水産試験場伊勢湾分場 1959a)に記載されていること、一部の測点は 1960 年代以降の測点と隣接していたことを確認することができた。そこで本研究では、1950 年代以降の観測資料を整理し、1950–1960 年代の湾奥部における貧酸素水塊の出現状況を確認した。また、1970–2010 年代の観測結果と比較することにより、湾奥部の貧酸素水塊が大規模化した年代を明らかにした。なお、本研究では伊勢湾において底生生物群集の資源動態に対する影響が確認されている溶存酸素濃度 3 mg/L 以下の水塊(天川・関口 2015)を貧酸素水塊と定義した。

資料

溶存酸素濃度の出典は Table 1 のとおりであり、観測手法の違いにより資料 I–VI に区分された。資料 I では複数の機関により観測が行われ、対象海域は四日市沖から名古屋港までの湾奥部に限られた。本研究では三重県水産試験場伊勢湾分場(現 三重県水産研究所鈴鹿水産研究室)が観測した 11 測点を解析対象とした(Fig. 1)。資料 II–VI については、湾奥部に配置された測点 1 と 2 を解析対象とした(Fig. 1)。ただし、資料 V の 1995 年 4 月から

2001 年 3 月までの測点 1 では観測が行われていなかった。

本研究では各測点の海底直上 1 m の溶存酸素濃度を解析対象とした。なお、資料 I–III では各測点の観測最深層が「底層」と表記されているが、資料 II と III のものは実際には海底直上 1 m の値であり(石川² 私信)、資料 I のものについても同様と見なした。資料 V と VI は、溶存酸素濃度が水深 0.5 m の間隔で記録された観測データ(フィルタ処理されたものであり、生データではない)の電子ファイル(未発表資料)である。その最深層の溶存酸素濃度が海底直上 1 m の値を表し、その値が欠測の場合、報告書では隣接する水深の観測データを代用する処理が行われていたが、本研究では欠測のままとした。また、1980 年 4 月から 1992 年 3 月、1996 年 4 月から 1997 年 3 月、および 1998 年 4 月以降については観測・分析の野帳(未発表資料)が保管されているため、これらの期間に該当する資料 III と IV において外れ値が確認された場合は、野帳の値と比較することにより、確認・修正した。資料 I–III の溶存酸素濃度はウインクラ法によるものであり、単位が mL/L となっていたため、次式(半谷 1960)により mg/L に換算した。

$$1 \text{ mL/L} = 1.429 \text{ mg/L}$$

各測点の水深を記録として残すとともに測点座標の確からしさを確認するため、観測時の水深の平均値(すなわち、平均水面を 0 m としたときの水深)と標準偏差を資料 I–VI のそれぞれについて算出した。ただし、野帳が残されているものについてはその値を、また、報告書の水深が誤りであることが関係資料により確認できたものについては修正した値を使用した。また、海図上での水深(略最低低水面を 0 m としたときの水深)に変換するため、四日市港における平均水面から略最低低水面までの距離 1.3 m(海上保安庁ホームページの 2016 年公表資料)を上記の水深の平均値から減じた。

以上により整理したものを Appendix Table 1, 2, 3, 4 に示した。

方法

本研究では Appendix Table 1, 2, 3 の溶存酸素濃度を解析に用いた。ただし、Appendix Table 4 に示したように、最近年の一部のものを除いて各測点の水深の標準偏差は名古屋港における観測潮位の標準偏差 0.6 m(気象庁ホー

² 当時の観測担当者。

Table 1. Reference data and the measurement methods used to detect dissolved oxygen concentration (DO)

Year	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1956				I									
1957–1960													
1961													
1962–1966													
1967				II									
1968–1971													
1972				III									
1973–1983													
1984										IV			
1985–1992													
1993								V					
1994–2001													
2002					VI								
2003–2016													

I: DO data refers to the measurements taken by the Aichi Prefectural Fisheries Experimental Station, Owari Branch and the Mie Prefectural Fisheries Experimental Station, Ise Bay Branch (1957); the Mie Prefectural Fisheries Experimental Station, Ise Bay Branch (1959b–1961). DO was measured using the Winkler method. DO unit mL/L was converted to mg/L in this study.

II: DO data refers to the measurements taken by the Mie Prefectural Ise Bay Fisheries Experimental Station (1969–1971, publication date unknown). DO was measured by the Winkler method. DO unit mL/L was converted to mg/L in this study.

III: DO data refers to the measurements taken by the Mie Prefectural Ise Bay Fisheries Experimental Station (1978–1981, 1984–1985, unpublished data) and the Fisheries Research Institute of Mie (1986a, unpublished data). DO was measured by the Winkler method. DO unit mL/L was converted to mg/L in this study.

IV: DO data refers to the measurements taken by the Fisheries Research Institute of Mie (1986a–1987, 1992a–1993, unpublished data). DO was measured using YSI Co. Ltd. DO sensors.

V: DO data refers to the measurements taken by the Mie Prefecture Fisheries Research Institute (unpublished data). DO was measured using YSI Co. Ltd. DO sensors and Sea Bird Co. Ltd. systems.

VI: DO data refers to the measurements taken by the Mie Prefecture Fisheries Research Institute (unpublished data). DO was measured by Sea Bird Co. Ltd. DO sensors and systems.

ムページの「2015年観測潮位」より算出)より大きく、とりわけ資料I–III(1980年代以前)のものは大きい傾向があった。これは、潮位変動以外の影響により測点座標の水深が変化していたことを示しており、資料I–IIIについては、当時の測位システムがGlobal Positioning Systemによるものではなかったことや調査船の機関馬力が小さかったことを考慮すると、悪天候等の影響により測点座標が目標座標とは異なる場合があったことによるものと

推測される。このように各測点の観測データは座標の相違による観測誤差が加わったものである可能性があるため、本研究では、測点間での厳密な比較は行わず、複数の測点の観測データを一括して取り扱うこととした。

1956–1960年における湾奥部広域での貧酸素水塊の出現状況を確認するため、欠測の少ない測点3', 4', 2, 3, 4, 6, 7, 8の観測データを一括して、各年各月の溶存酸素濃度の最小値、中央値、最大値を算出した。欠測の少

考 察

ない測点とは、便宜的に、貧酸素水塊の主たる出現期間である6-10月において、各月1回計5回の観測のうち3回以上の観測が実施された測点（6-10月の観測実施率が60%以上の測点）とした。

1956-2016年の湾奥部における貧酸素水塊の経年変化を明らかにするため、1956-1960年の測点6, 7, 8, およびそれらに隣接する1967-2016年の測点1と2の各測点について各年の溶存酸素濃度の最小値を算出し、3 mg/Lを上回った測点の数を確認した。ただし、6-10月において、各月1回計5回の観測のうち3回以上の観測が実施された年（6-10月の観測実施率が60%以上の年）を解析対象とし、この基準を満たさない年は欠測とした。

結 果

1956-1960年の湾奥部では毎年夏季から秋季にかけて溶存酸素濃度が低下する傾向が認められた（Fig. 2）。1956-1958年については半数以上の測点で貧酸素水塊が確認されず、1959-1960年については逆に半数上の測点で貧酸素水塊が確認された（Fig. 2）。

1956-2016年において、溶存酸素濃度の最小値は0.00-4.19 mg/Lの範囲で変動し、最小値が3 mg/Lを上回った測点は1956年, 1957年, 1958年, 1960年, 1993年に確認された（Fig. 3）。

本研究において1956-1958年の湾奥部では半数以上の測点で貧酸素水塊が確認されなかったことから、この年代の湾奥部では大規模な貧酸素水塊が発生していなかったと考えられる。また、大規模な貧酸素水塊が出現していなかった可能性の高い年は、1970年代以降では1993年に限られることが明らかとなった。1993年は夏季に記録的な低気温・低水温が観測された特異年であり（三重県水産技術センター1994, 気象庁ホームページの「日本の夏（6-8月）の平均気温の偏差の経年変化（1898-2016年）」）、このことが溶存酸素濃度に影響した可能性が指摘されている（石田・青山2012）。本研究の結果もそれを反映したものと考えられるが、1993年は9月以降の海底直上1mの溶存酸素濃度が欠測であったため、他の年の観測例のように、9月や10月に貧酸素水塊が出現していた可能性も否定できない。一方、1956-1958年については、夏季の平均気温が1993年より高かったことに加え（気象庁ホームページの上記資料）、本研究において3年間連続して同様の観測結果が確認され、いずれの年も欠測の少ない観測年であったことから、1993年のような特異現象や年間最小値の過大推定の可能性は低いと考えられる。なお、伊勢湾の貧酸素水塊は底層付近に出現することが多く（津田1980, 久野1996, 水野・丸山2009）、1956-2016年の測点6, 7, 8の水深は7.3-20.7 m, 1967-

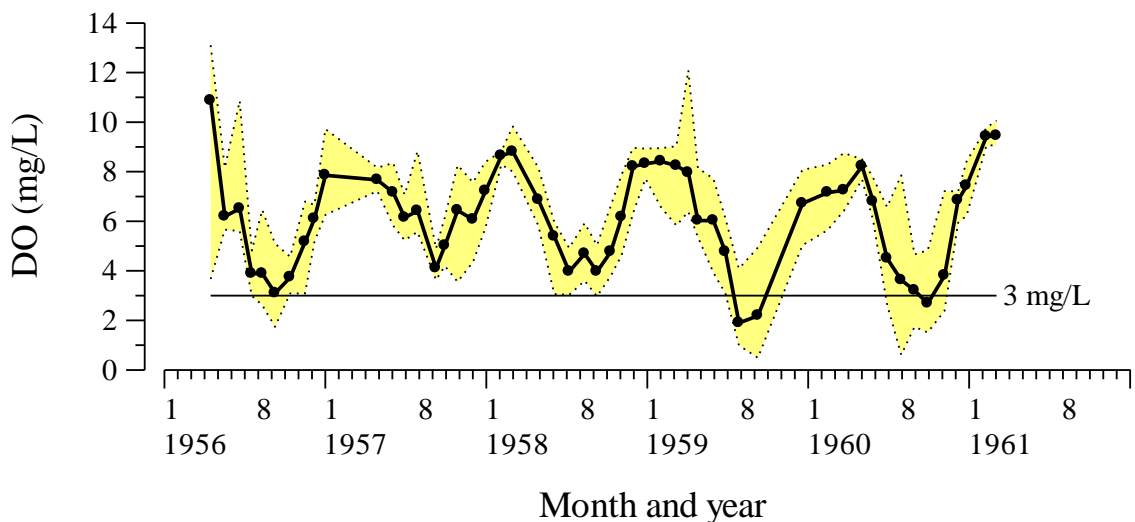


Fig. 2. Dissolved oxygen concentration (DO) in the inner part of Ise Bay from April 1956 to February 1961. Bold solid line: median for DO at stations 3', 4', 2, 3, 4, 6, 7, and 8. Dotted lines: maximum and minimum DO at these stations.

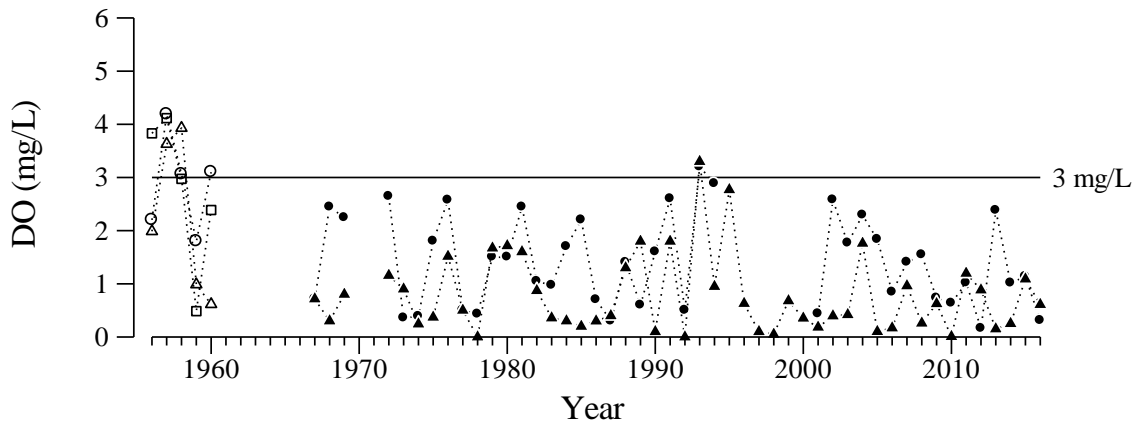


Fig. 3. Annual fluctuations in minimum dissolved oxygen concentration (DO) in the inner part of Ise Bay from April 1956 to December 2016. Open triangles, circles, and rectangles: 1956–1960 DO data for stations 6, 7, and 8, respectively. Solid circle and triangle: 1967–2016 DO data for stations 1 and 2, respectively.

2016年の測点1と2の水深は7.9–23.5 mであり、後者の水深がやや深い傾向があった(Appendix Table 4)。しかし、前者では水深20.7 mの測点6で貧酸素水塊が出現していなかった年が複数年認められ、後者では水深7.9–9.0 mの測点1でさえそのような年は1993年に限られたことから

(Fig. 3)、年代による測点水深の相違が貧酸素水塊の出現年代の推定に影響した可能性は低いと考えられる。以上より、1956–1958年の観測結果は、1950年代以前の湾奥部では大規模な貧酸素水塊が頻発していなかったことを示したものと結論付けてよいであろう。

湾奥部では本研究が解析対象としなかった1962年5月から1963年12月までについても溶存酸素濃度が観測されていた(愛知県水産試験場尾張分場 発行年不明、愛知県水産試験場尾張分場・三重県水産試験場伊勢湾分場 発行年不明)。その測点の一部は四日市沖と新舞子沖の間に6測点配置され、これらは本研究が解析対象とした測点と隣接していた可能性があるが、資料には手書きの配点図が示されているだけであり、測点座標は不明確であった。1962–1963年の観測データについてはこのような問題があることに留意する必要があるが、本研究の方法に準じて底層の溶存酸素濃度を算出・整理したところ、西寄りの測点と湾中央の測点の計2測点において、年間1–2回、貧酸素水塊が観測されていたことが確認された。この観測結果に加え、本研究により、貧酸素水塊は1967–1969年にも観測されていたことが確認されたことから、湾奥部の貧酸素水塊の大規模化は1960年代にはすでに進行していた可能性が高いと考えられる。

以上のように、伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代は1950年代末期と推定され、これは伊勢湾の

透明度が激変した1950–1970年代(石田・青山 2012)と一致している。

要約

三重県水産研究所等が観測した伊勢湾奥部の海底直上1 mにおける1956年4月–2016年12月の溶存酸素濃度を解析した結果、大規模な貧酸素水塊は1959年以降に観測されていたことが確認された。1956–2016年の溶存酸素濃度の最小値は0.00–4.19 mg/Lの範囲で変動し、最小値が3 mg/Lを上回った測点は1956年、1957年、1958年、1960年、1993年に確認された。以上より、伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代は1950年代末期と推定され、1950年代末期以降は、その状況が長期にわたって継続していると推測された。

引用文献

- 愛知県水産試験場尾張分場・三重県水産試験場伊勢湾分場 (1957): 昭和31年度伊勢湾奥部水産振興会水産調査報告。
- 愛知県水産試験場尾張分場・三重県水産試験場伊勢湾分場・東京大学付属新舞子水産実験所 (発行年不明): 昭和37年度伊勢湾水産振興会水産調査報告。
- 愛知県水産試験場尾張分場・三重県水産試験場伊勢湾分場 (発行年不明): 昭和38年度伊勢湾水産振興会水産調査報告。
- 天川哲也・関口秀夫 (2015): 伊勢湾のメガベントス群集の分布と底層環境との関係。沿岸海洋研究, 53 (1), 97–

110.

- 半谷高久 (1960): 水質調査法. 丸善株式会社, 東京.
- 日向野純也・品川 明 (2009): アサリの代謝生理からみた貧酸素の影響とその対策. 水産学シリーズ 161 アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として (日本水産学会編). 恒星社厚生閣, 東京, 87–100.
- 伊勢湾再生推進会議 (2015): 伊勢湾再生行動計画 (第 2 回見直し版).
- 石田基雄・青山高士 (2012): 伊勢・三河湾における水質変動と漁獲量変動について. 海洋と生物, 34 (2), 149–157.
- 糸川貞之・松本兼一・池田 正・中西捨吉 (1984): アサリ斃死調査. 昭和 57 年度三重県伊勢湾水産試験場年報, 105–124.
- 笥 茂穂・藤原建紀 (2007): 伊勢湾の貧酸素化をモデル化し予測する—貧酸素化はひどくなっているか良くなっているか—. 月刊海洋, 39 (1), 15–21.
- 神戸海洋気象台 (1993): 伊勢海, 三河湾海洋観測報告. 海洋時報, 5, 1–97.
- 久野正博 (1996): 伊勢湾における海況の季節変化. 三重県水産技術センター研究報告, 6, 27–46.
- 黒田伸郎・藤田弘一 (2006): 伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の短期変動及び長期変動の比較. 愛知県水産試験場研究報告, 12, 5–12.
- 三重県水産試験場伊勢湾分場 (1959a): 海洋観測. 昭和 32 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告. 1–34.
- 三重県水産試験場伊勢湾分場 (1959b): 伊勢湾奥部水産調査. 昭和 32 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告. 73–93.
- 三重県水産試験場伊勢湾分場 (1960a): 伊勢湾奥部水産振興会調査. 昭和 33 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告. 95–114.
- 三重県水産試験場伊勢湾分場 (1960b): 伊勢湾奥部水産振興会調査. 昭和 34 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告. 101–117.
- 三重県水産試験場伊勢湾分場 (1961): 伊勢湾奥部調査. 昭和 35 年度三重県水産試験場伊勢湾分場事業報告. 129–162.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1969): 伊勢湾海洋観測. 昭和 42 年度三重県伊勢湾水産試験場事業報告. 2–35.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1970): 伊勢湾海洋観測. 昭和 43 年度三重県伊勢湾水産試験場事業報告. 1–35.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1971): 伊勢湾海洋観測. 昭和 44 年度三重県伊勢湾水産試験場事業報告. 3–19.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1978): 昭和 47～51 年度伊勢湾海洋観測資料.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1979): 昭和 53 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1980): 昭和 52 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1981): 昭和 54 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1984): 昭和 55・56 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (1985): 昭和 57・58 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県伊勢湾水産試験場 (発行年不明): 伊勢湾海洋観測. 昭和 45・46 年度三重県伊勢湾水産試験場事業報告. 3–19.
- 三重県水産技術センター (1986a): 昭和 59 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1986b): 昭和 60 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1987): 昭和 61 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1992a): 昭和 62 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1992b): 昭和 63 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1992c): 平成元年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1992d): 平成 2 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1992e): 平成 3 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1993): 平成 4 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1994): 平成 5 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1995): 平成 6 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1996): 平成 7 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1997): 平成 8 年度漁海況予報事業結果報告書.
- 三重県水産技術センター (1998): 平成 9 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産技術センター (1999): 平成 10 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).

伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代

- 三重県科学技術振興センター水産技術センター (2000): 平成 11 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産技術センター (2001): 平成 12 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2002): 平成 13 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2003): 平成 14 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2004): 平成 15 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2005): 平成 16 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2006): 平成 17 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県科学技術振興センター水産研究部 (2007): 平成 18 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2008): 平成 19 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2009): 平成 20 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2010): 平成 21 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2011): 平成 22 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2012): 平成 23 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2013): 平成 24 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2014): 平成 25 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 三重県水産研究所 (2015): 平成 26 年度漁海況予報関係事業結果報告書 (漁海況データ集).
- 水野知巳・丸山拓也 (2009): 伊勢湾のアサリ資源と漁場環境. 水産学シリーズ 161 アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として (日本水産学会編). 恒星社厚生閣, 東京, 9–25.
- 坂口研一・南 勝人・瀬古準之助・伊藤 徹 (1998): 貧酸素によるアサリ漁場影響調査. 平成 9 年度三重県水産技術センター事業報告, 187–188.
- 津田平蔵 (1980): 伊勢湾の水質について I 季節変化・水平分布・鉛直分布. 三重県伊勢湾水産試験場年報, 89–112.

Appendix Table 1. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed in the inner part of Ise Bay from April 1956 to February 1961

Year	Month	Day	Station number										
			2'	3'	4'	1	2	3	4	5	6	7	8
1956	4	5	14.15	10.87	13.10	12.80	10.21	3.67	11.73				
		5	7	6.09	8.16	8.05	6.82	5.66	6.17	6.20	8.07		5.80 7.10
		6	10	8.29	6.62	5.73	8.53	7.23	5.60	7.15	7.26	6.40	10.86 6.02
		7	7	3.84	3.92	4.02	8.16	2.99	3.87	4.19	6.49	3.77	3.10 4.82
			31	9.86	2.62	3.16	6.13	2.96	4.80	6.46	6.97	5.02	3.96 3.83
		8	29	2.52	1.74	3.99	4.57	2.21	4.03	4.72	5.34	1.99	2.20 5.10
		10	2	3.00	3.23	3.17	3.03	3.09	3.76	4.16	4.63	4.57	3.72 4.43
		11	5		6.80		4.39	4.27	5.17	6.17	7.60	5.72	3.09 4.43
			26	6.14	6.07	6.30	6.43	5.52	6.20	6.13	9.42	6.66	5.17 5.62
		12	21	9.37	8.39	8.57	9.95	9.72	7.17	7.33	9.29	6.26	7.15 8.90
	1957	4	18	7.16	7.96	7.22	7.97	7.49	8.16	7.92	8.62	7.62	7.26 7.73
			5	24	8.65	6.93	8.17	7.52	7.00	7.32	8.35		6.43 5.82 7.57
		6	19	5.06	6.67	6.53	6.07	5.23	5.72	7.07	7.37	5.26 5.82 6.49	
		7	18	6.95	8.83	7.86	6.77	7.77	5.57	5.82		5.72 7.03 5.64	
		8	29	3.43	3.69	4.13		4.20	4.10	4.90		3.63 3.86 4.12	
		9	18	5.82	5.06	6.17	3.93	4.69	5.13	4.97	4.89	4.84 4.19 5.47	
		10	17	4.99	7.70	4.03	5.70	3.56	8.26	5.46	7.62	6.87 6.02 7.25	
		11	21	5.02	6.33	6.06	4.64	5.50	6.07	5.67	7.55	7.03 7.57 4.36	
		12	19	8.43	7.72	7.15	8.96	5.93	8.39	6.83	8.85	7.86 5.73 7.29	
1958		1	24				8.30	8.29	8.53	8.75	8.17	8.82	8.40 8.75
			2	19	9.32	8.29	9.15	9.30	8.43	8.93	9.83	9.12	8.69 8.99 8.00
			4	18					5.83	6.89	8.17		6.20 6.86 7.17
		5	24	5.60	5.89	5.50	8.29	5.93	4.64	5.97	6.10	5.29 3.06 5.06	
		6	27				5.93	4.00	4.49	4.92		3.93 3.89 3.03	
		8	1	4.36	3.60	5.09	5.50	4.17	4.69	4.93	4.29	5.92	3.63
			29	4.07	4.49	3.63		3.66	4.46	5.03	5.43	4.29	3.09 2.97
		9	29	5.46	3.86	4.54	5.03	5.52	3.79	6.62	4.29	5.49 5.00 3.93	
		10	24		7.35	6.03		6.17		7.89	5.12	4.64 6.57 5.83	
		11	19	7.43	8.25	8.35		6.50	8.17	6.80		8.96 8.43 6.33	
		12	17	8.20	8.32	7.83		8.32	8.46	8.93	8.57	7.76 7.72	

Blank: no data.

伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代

Appendix Table 1. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed in the inner part of Ise Bay from April 1956 to February 1961 (continued)

Year	Month	Day	Station number											
			2'	3'	4'	1	2	3	4	5	6	7	8	
1959	1	21	7.26	8.29	6.57	8.19	8.72				10.00	7.75	8.55	8.95
	2	25	9.29	8.63	6.99	9.32	9.03	8.19	8.55	8.95	8.29	8.09	5.83	
	3	24	8.69	8.85	7.86	8.45	8.06	7.09		7.83	7.96	6.39	12.09	
	4	15	6.22	8.15	6.09		5.56	7.15	5.93	8.72	5.97	7.35	5.36	
	5	20	6.52	7.72	5.86	7.35	5.93	7.35	5.92	6.43	6.13	3.93	7.29	
	6	16	6.17	4.50	6.13		5.03	4.49	3.86	7.29	3.10	5.79	5.64	
	7	17	4.50	1.86	4.09		1.80	1.21	3.07		0.99	3.72	1.94	
	8	29	3.57	2.14	4.94	1.63	1.23	3.00	2.23	0.63	3.89	1.80	0.49	
	12	8	5.57	6.12	8.00	5.93	7.29	7.00	5.03	8.69	8.07	6.43	6.22	
1960	2	3	6.40	5.99	5.64	8.07	6.86	7.03	7.36	7.76	7.43	8.29	7.29	
	3	11				8.29	6.43	8.75	8.32		6.46	7.36	7.15	
	4	21	8.46	8.29		6.64	7.87	7.75	8.22	8.15	8.36	8.50	7.69	
	5	16				6.96		6.17	7.76	5.49	6.80	6.04	7.07	
	6	17	8.55	2.63	5.03	7.05	4.84	4.10	6.57	6.66	5.67	4.16	3.79	
	7	19	1.76	3.47	2.59	3.32	3.79	7.86	5.50	5.70	0.61	3.13	4.02	
	8	18	1.66	1.74	2.03	3.63	4.20	2.59	4.66	3.06	4.42	3.10	3.32	
	9	17	2.80	2.79	4.83	3.00	1.97	1.51	3.12	4.89	2.56	3.37	2.59	
	10	25	3.20	3.06	3.52	1.04	4.10	7.22	3.32	4.64	5.09	4.93	2.39	
	11	25	8.59	7.20	5.94	7.26	6.17	6.49	6.80	7.87	7.17	6.90	7.16	
	12	14	7.80	7.26	8.16	6.80	7.55	7.99	6.22	8.60	8.42	7.09	7.32	
	1961	1	28	9.60	9.37	9.53	9.65		9.77	9.45	9.32	9.42	9.05	9.36
2		20	10.06	9.53	9.07	10.37	9.95	9.36	9.50	9.55	10.06	9.40	9.29	

Blank: no data.

Appendix Table 2. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed for station 1 in the inner part of Ise Bay from June 1967 and December 2016

Year	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967						4.09		2.83		0.71		5.53
1968					4.29	2.44		2.94		2.96		6.13
1969		7.67	7.15			6.43		2.24		2.99		
1970		8.47			5.83	2.94				11.43		6.75
1971			8.47		6.12	5.44		3.19				10.09
1972	8.10	11.72		8.17	5.94	2.64	2.86	3.49	4.02	2.73	3.60	6.96
1973	6.75	8.45	8.42	6.52	6.86	9.07	2.84	1.36	0.36	2.56	2.42	5.36
1974	8.77	8.97	8.60	5.52	5.70	1.44	1.93	1.56	1.34	0.39	7.79	7.80
1975	9.27	7.66	7.23	6.33	6.73	6.72	2.11	1.80	2.29	1.81	3.82	6.36
1976	6.95	7.89	7.96	7.05	6.07	3.77	4.10	2.72	3.82	2.57	5.64	6.24
1977	7.56	9.05	7.93	7.53	5.74	2.84	2.76	1.27	2.32	1.60	0.50	6.03
1978	6.92	8.77	10.99	6.76	4.80	4.17	1.59	1.03	0.43	0.76	3.92	6.69
1979	7.22	6.63	7.76	7.69	6.03	7.67	3.30	1.50	1.54	3.46	3.70	5.79
1980	7.72	8.60	8.29	7.93	6.39	5.56	1.96	1.50	2.70	3.74	5.83	6.09
1981	8.96	8.90	8.53	7.36	4.70	6.06	3.50	2.44	2.70	2.84	3.52	6.14
1982	7.12	8.07	8.23	7.02	5.69	2.96	7.26	1.33	3.36	1.04	3.49	5.46
1983	7.20	9.65	8.23	5.56	4.13	3.10	2.34	3.56	1.46	0.97	1.66	6.72
1984	7.86	8.37	8.12	8.16	6.49	5.23	4.30	3.76	2.17	1.7	9.0	7.4
1985	7.0	7.8	8.3	8.0	6.5	6.0	3.2	4.4	2.2	2.6	3.5	4.4
1986	8.0	7.7	11.3	8.1	6.1	6.20	2.9	5.1	3.0	0.7	5.0	7.6
1987	7.4	6.7	7.8	6.8	7.9	7.7	0.3	3.0	1.0	5.7	3.1	3.6
1988	8.0	8.6	9.3	8.1	7.8	6.8	4.0	2.2	5.6	1.4	6.6	6.6
1989	8.6	8.8	7.7	6.8	8.7	10.0	2.5	4.1	0.6	3.5	2.0	3.6
1990	6.6	5.0	5.3	5.7	5.6	5.4	3.8	1.6	2.7	1.6	3.0	4.2
1991	7.0	7.8	7.1	4.8	7.5	4.7	3.8	4.2	2.6	5.1	3.0	3.9

Blank: no data.

伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代

Appendix Table 2. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed for station 1 in the inner part of Ise Bay from June 1967 and December 2016 (continued)

Year	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992	5.9	8.4	8.6	6.8	4.7	4.3	2.5	3.2	1.8	4.3	0.5	4.7
1993	7.8	7.5	7.7	6.5	5.4	3.2	4.3	4.10				
1994	6.91			6.55	3.74		2.88	3.14	3.29	2.89	8.00	
1995	12.56		8.21									
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001				7.16	4.29	2.99	3.02	5.83	3.29	0.43	4.29	7.49
2002	4.73	8.24	7.83	6.59	4.70	4.27	3.13	2.58	4.18		5.88	7.07
2003	8.24	8.94	7.43	8.10	5.95	4.24	1.76	3.65	2.07	2.47	2.02	4.40
2004	8.02	8.24	7.10	6.34	5.41	4.11	3.74	3.42	3.10	3.75	2.29	5.97
2005	8.06	8.91	8.11	6.02	5.79	4.99	2.81	2.99	1.83	7.83	7.01	7.38
2006	8.04	7.94	7.14	7.03	7.54	3.62	2.25	0.84	1.23	2.79	3.14	4.25
2007	5.62	7.93	6.17	7.29	7.56	5.83	4.01	3.10	3.21	1.40	7.82	5.44
2008	5.66	6.87	8.21	6.62	6.98	2.40	4.28	1.54	1.79	2.25	5.72	5.49
2009	8.42	7.28	8.59	6.53	5.48	3.62	0.73	4.83	3.28	2.50	5.23	2.79
2010	7.93	8.11	5.96	4.19	6.41	4.71	2.45	2.77	2.56	0.64	4.77	7.21
2011	6.15	8.75	8.19	5.15	6.91	4.02	1.97	1.01	2.73	1.46	4.13	
2012	6.30	6.47	7.51	7.27	7.02	4.50	4.19	4.56	0.16	2.93	3.70	5.35
2013	8.17	6.74	7.13	7.55	8.70	6.04	5.10	3.51	2.38	5.25	2.86	5.04
2014	10.48	8.67	8.98	7.32	3.56	5.58	3.66	3.19	1.01	1.24	1.92	6.27
2015	9.04	8.99	6.87	7.20	8.54	6.09	7.12	2.41	3.21	1.14	7.16	7.08
2016	7.92	8.62	7.80	6.60	4.20	3.56	3.02	3.16	0.31	1.20	2.29	5.22

Blank: no data.

Appendix Table 3. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed for station 2 in the inner part of Ise Bay from May 1967 and December 2016

Year	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967					4.62	4.06		0.86		0.71		6.14
1968					4.84	2.60		0.30		3.82		7.33
1969		7.80	7.40			2.56		0.80		3.67		
1970		8.67			4.73	5.13				11.43		7.13
1971			8.03		5.39	3.97		3.00				6.99
1972	8.20	11.72			4.43	3.79	1.19	1.16	1.63	2.21		8.27
1973	6.85		7.39	5.60	5.03	2.43	3.13	0.90	1.06	0.96	5.12	7.40
1974	8.49	8.96	8.47	5.94	3.17	1.33	1.21	0.24	0.79	1.63	5.46	6.27
1975	8.45	7.87	8.43	9.43	9.29	3.76		0.37	2.29	4.09	2.04	6.49
1976	7.82	7.67	7.47	6.80	5.73	3.99	2.84	1.51	2.36	2.76	5.43	6.37
1977	8.22	8.83	8.03	5.30	5.39	3.23	4.00	1.94	0.91	0.50	3.96	6.43
1978	7.57	8.70	8.36	7.19	3.96	2.29	0.00	0.61	2.44	0.66	4.99	6.96
1979	7.15	7.79	7.05	6.69	4.42	4.62	1.70	3.06	1.67	2.70	4.54	6.85
1980	7.79	8.26	8.56	6.04	5.60	5.23	1.71	3.52	2.50	4.73	5.62	4.90
1981	8.49	8.60	8.32	7.05	4.04	3.50	3.64	2.24	2.79	1.60	6.13	7.23
1982	8.07	8.39	8.65	6.73	5.39	2.84	2.69	0.87	2.89	4.49	4.70	6.34
1983	7.12	8.60	7.69	4.52	2.26	2.32	3.23	3.10	0.36		4.06	6.87
1984	8.09		9.55	7.52	7.57	2.83	2.54	5.52	0.30	1.1	3.6	6.7
1985	7.5	8.5	7.6	6.7	5.8	3.6	2.1	1.8	0.2	2.5	2.7	6.1
1986	7.8	8.5	10.4	8.0	4.5	4.45	0.5	1.6	0.3	2.2	5.2	6.6
1987	7.8	7.9	8.6	7.2	4.7	5.6	0.9	0.4	1.4	0.6	4.2	3.9
1988	7.6	7.9	8.6	7.1	5.3	3.2	4.8	2.9	1.3	1.8	5.1	7.2
1989	8.0	8.3	7.5	6.1	5.7	3.8	2.6	3.1	1.9	1.8	3.1	4.8
1990	7.5	5.6	5.1	5.2	3.0	1.6	1.4	0.1	0.1	1.1	3.3	3.7
1991	6.8	7.4	7.2	4.2	4.9	3.1	2.8	1.8	3.1	3.6	5.2	6.2

Blank: no data.

伊勢湾の貧酸素水塊が湾奥部で大規模化した年代

Appendix Table 3. Dissolved oxygen concentration (mg/L) at 1 m above the seabed for station 2 in the inner part of Ise Bay from May 1967 and December 2016 (continued)

Year	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992	6.8	8.0	9.4	6.4	4.6	1.8	1.7	0.0	1.6	3.9	3.3	5.4
1993	5.4	7.5	7.6	7.2	5.2	3.3	4.42	3.30				
1994			7.89	5.98			1.95	1.10	0.95	2.35	6.26	
1995	11.69			7.48		4.93	3.22	2.77	3.14	4.47		8.72
1996	10.36			8.10	5.53	4.12	3.69	1.14	0.63	1.30	5.03	5.46
1997	6.51	7.15	7.36	4.54	6.61	0.50	0.10	2.21	0.85	3.57	5.83	6.30
1998	6.85	7.47	6.30	4.09	4.23	4.26	3.91	0.05	1.55	0.29	5.27	7.06
1999	8.27	8.05	6.93	6.19	5.03	3.83	2.92	2.22	0.78	0.68	5.21	6.90
2000	7.10	7.67	8.08	5.62	4.81	3.08	2.84	0.35	1.19		4.69	6.90
2001	8.14	7.74	7.43	5.29	3.52	3.32	0.18	3.40	2.78	0.45	2.71	6.17
2002	5.20	8.04	7.24	6.26	3.83	3.58	2.51	1.12	0.39	1.07	6.68	7.44
2003	7.90	8.87	7.26	6.44	5.53	4.98	0.42	3.98	2.30	0.63	4.50	6.26
2004	8.12	8.16	7.36	6.96	4.28	3.81	2.62	1.76	4.01	4.40	4.02	3.64
2005	7.96	8.08	7.60	5.98	3.16	2.85	1.54	0.10	1.43	1.39	3.32	7.16
2006	8.37	7.80	7.91	6.68	3.37	3.81	2.76	0.24	0.17	2.78	2.82	6.09
2007	7.21	6.78	7.11	6.98	5.37	4.51	2.01	2.44	0.96	1.13	6.13	5.58
2008	5.77	7.64	7.35	5.77	5.13	1.65		2.48	0.26	1.23	2.27	6.62
2009	7.74	7.93	7.00	5.02	3.72	3.45	1.11	0.63	3.05	4.16	4.96	5.81
2010	7.31	8.23	7.22	4.30	3.47	2.68	2.17	1.11	0.01	0.08	4.93	7.03
2011	7.17	8.53	8.12	7.11	4.84	4.95	1.20	2.71	2.76	2.00	3.26	
2012	6.28	6.97	6.13	6.45	5.57	3.15	2.76	4.05	0.88	2.93	4.56	6.03
2013	7.29	7.53	8.27	6.12	4.00	2.22	3.00	3.58	0.15	0.75	5.69	6.19
2014	8.17	8.05	6.18	6.35	2.98	2.34	1.38	4.21	2.19	0.25	2.86	6.93
2015	8.76	8.99	7.02	4.70	3.42	2.21	3.52	1.53	1.09	1.46	1.52	6.51
2016	7.57	7.88	6.53	6.00	3.76	2.48	2.08	2.83	1.64	0.61	3.90	6.91

Blank: no data.

Appendix Table 4. Means and standard deviations of water depth (m) in each station

Reference ^{*1}	Station number ^{*2}												
	2'	3'	4'	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2
I	2.9 (2.1)	3.2 (1.0)	3.8 (0.7)	5.4 (1.2)	13.4 (3.1)	9.1 (1.7)	7.6 (0.9)	4.8 (1.5)	19.0 (1.9)	20.7 (2.6)	7.3 (1.0)		
II												9.0 (1.4)	23.5 (2.0)
III												8.6 (1.2)	22.5 (1.3)
IV												7.9 (0.7)	22.3 (0.8)
V												8.1 (0.7)	22.0 (0.8)
VI												8.3 (0.5)	22.7 (0.7)

^{*1} Numbers correspond to references in Table 1. ^{*2} Numbers correspond to station numbers in Figure 1. Numbers in parentheses: standard deviation. Blank: no data.