

京都府内の閉鎖性海域における水質の長期変動について

近藤 博文

Long-Term Fluctuations in Water Quality in Enclosed Coastal Seas in Kyoto Prefecture, Japan

Hirofumi KONDOH

要 旨

京都府内には、日本海側に久美浜湾、阿蘇海、宮津湾、舞鶴湾の閉鎖性海域があり、個々の閉鎖性海域を対象とし、その水質の実態把握を目的として詳細な調査が実施されてきた。しかしながら、これらの先行事例は個々の閉鎖性海域に対して特定の期間の水質について解析したものが多く、複数の閉鎖性海域間における相違点や長期的な水質の変動傾向は十分には明らかにされていない。そこで、本研究では環境省の水環境総合情報サイトの公表データを用いて化学的酸素要求量 (COD) 等の水質項目について長期的な変動傾向を明らかにするとともに、対象とする閉鎖性海域間および地点間の比較を行った。COD を除く項目は一部の地点を除いて公表データの開始後 10 年間より直近 10 年間のほうが平均値は減少し、変動幅（最小値から最大値の幅）が小さくなった。また、流入河川の生物化学的酸素要求量も同様であった。これらの結果からは各閉鎖性海域の水質が流域における下水道整備や排出規制等の水質改善策の効果および流域における人口減少などにより長い年月を経て改善されてきたと言える。一方で COD については、いずれの閉鎖性海域においても直近 10 年間のほうが公表データの開始後 10 年間より平均値は増加し、変動幅は同程度または大きくなったことから、COD を指標としてみた場合には水質改善傾向は認められない結果となった。各閉鎖性海域間を比較すると、宮津湾と舞鶴湾より閉鎖性の高い久美浜湾と阿蘇海の各項目の値が高くなる傾向があり、同一閉鎖性海域の地点間の値の大小にも外海との海水交換や流入河川の位置といった地形的要因の影響を示唆すると考えられる一定の傾向がみられた。今回の結果は水質評価指標としての COD には限界があることを示すものであり、今後は閉鎖性海域ごとに適した貧酸素水塊の成層の強化対策を講じることが水質改善のためには必要と考えられた。また、対策を講じるにあたり成層の生成に関与する項目や底層溶存酸素等の詳細な測定が必要と考えられた。

キーワード：化学的酸素要求量、生物化学的酸素要求量、総窒素、総リン、底層溶存酸素、貧酸素水塊、成層
Keywords：Chemical oxygen demand, Biochemical oxygen demand, Total nitrogen, Total phosphorus, Bottom layer dissolved oxygen, Hypoxia, Stratification

はじめに

水中の溶存酸素は好気性の微生物が有機物を二酸化炭素と水に分解する際に消費されることから、供給が消費に追いつかない状況が続けば魚などが生息できなくなる。水中の有機物は酸素の消費を招くことから、生物分解可能な有機物を測定して水質指標とする考え方が生まれた。生物分解可能な有機物に対応する指標として生物化学的酸素要求量 (BOD) と酸化剤で酸化できる有機物に対応する指標として化学的酸素要求量 (COD) を用いた水質評価が行われてきた。

湖沼や内湾などの水の滞留時間が長い場所は閉鎖性水域と呼ばれ、このような場所では富栄養化が問題となっている。富栄養化した閉鎖性水域では水に含まれる栄養によって、植物性プランクトンが異常に増殖し水道などの利水障害、漁業被害、景観上・観光上の被害などが生じる。通常、富栄養化対策としては窒素やリンの削減が行われている。また、閉鎖性水域では光合成によって生成する有機物（内部生産）の比率が大きく、その削減が重要となっている。内部生産量は窒

素、リンなどの栄養塩の過多により増加することから、富栄養化対策は閉鎖性水域での有機物の低減にもつながる¹⁾。

京都府内には、日本海側に久美浜湾、阿蘇海、宮津湾、舞鶴湾の閉鎖性海域があり、個々の閉鎖性海域を対象として水質の実態把握を目的とした貧酸素水塊の形成・解消等についての詳細な調査が実施されてきた。久美浜湾については船越ら²⁾が、夏季の底層で発生した貧酸素水塊は冬季まで残存し、湾口から流入した外海水によって持ち上げられて中層貧酸素水塊となり養殖漁場へと到達すると報告している。阿蘇海については田口・井上³⁾が、5 月には水温躍層の形成が始まるとともに、底層溶存酸素（底層 DO）が減少し始め、7 月から 11 月頃まで底層の無酸素状態が継続し、冬季においても下層は 50% 程度までしか溶存酸素が回復しないと報告している。さらに中居ら⁴⁾が、夏季に水温躍層が生じて底層は無酸素状態となり強固な貧酸素水塊が形成されたこと、冬季においても貧酸素水塊が形成されるものの気象条件等により継続されない場合があると報告している。舞鶴湾については、三輪・池野^{5,6)}が夏季成層期の流れと水環境に関する数値シミュレーションを行い実測値と比較することにより、戸島の北と南において反時計回りの循環する残差流が形成されるこ

(令和 6 年 12 月 27 日受理)

と、潮流は戸島によって阻害されるため外海との海水交換は活発に行われないことを報告している。

これらの先行事例は個々の閉鎖性海域を対象としたものであり、その多くは特定の期間の水質について解析したものであることから、複数の閉鎖性海域間の比較や長期的な変動傾向については十分には明らかにされていない。そこで、本研究では公表されているデータを用いてCOD等の水質項目について長期的な変動傾向を明らかにするとともに、対象とする閉鎖性海域間および地点間の比較を行ったので報告する。

材料と方法

1. 調査対象

図1に調査対象地点を示す。調査対象海域は久美浜湾、阿蘇海、宮津湾、舞鶴湾とした。調査対象地点は公共用水域の環境基準点とした。すなわち、久美浜湾は湾口部、湾奥部とした。阿蘇海は野田川流入点、中央部、溝尻地先とした。宮津湾は島崎地先、江尻地先とした。舞鶴湾は念仏鼻地先、檣埼地先、恵比須埼地先、キンギョ鼻地先とした。また、それ

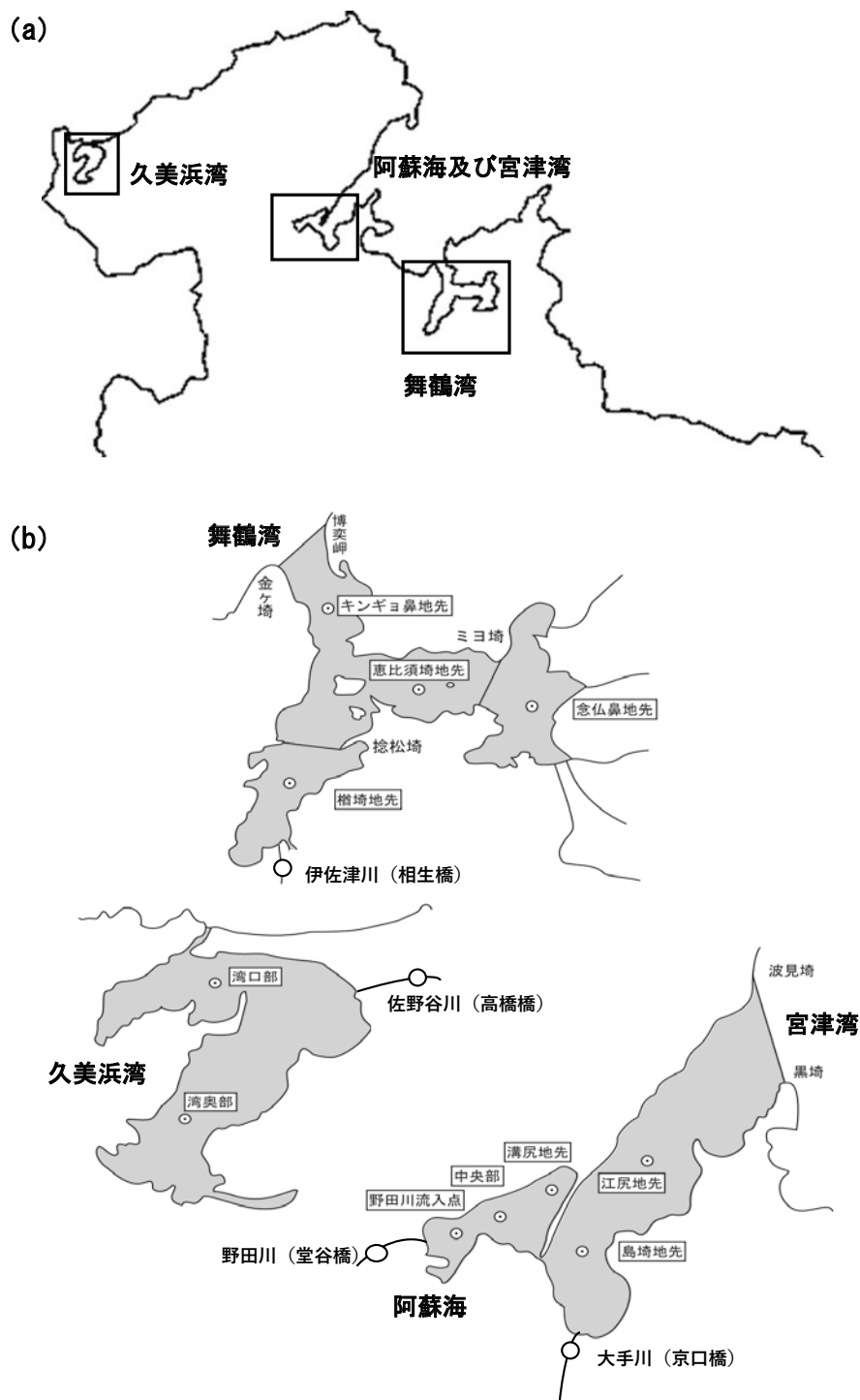


図1. 京都府北部の閉鎖性海域の概略図 (a) および各閉鎖性海域の対象地点の概略図 (b)

それぞれの海域の流入河川については、久美浜湾は佐濃谷川（高橋橋）、阿蘇海は野田川（堂谷橋）、宮津湾は大手川（京口橋）、舞鶴湾は伊佐津川（相生橋）とした。

2. データの収集および解析

各地点のデータは環境省の水環境総合情報サイト (<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/kousui/dataMap.asp> 最終確認日：令和6年5月16日) において公表されている年度平均値（以下、「公表データ」という。）を用いた。項目は20年以上の経年変化がわかるCOD、流入河川のBOD、全窒素（T-N）、全リン（T-P）とした。また、T-Nの値をT-Pの値で除して全窒素全リン比（N/P）を算出した。さらに、それぞれの項目について経年変化をみるため、公表データの開始年度からの10年間と直近の10年間のそれぞれの平均値（10年間平均値）と変動幅（最小値から最大値の範囲：10年間変動幅）を求めた。なお、公表データの年度平均値については、CODは全層の平均値、T-NおよびT-Pは上層の平均値をそれぞれ採用している。

結 果

1. 久美浜湾

1-1. COD

久美浜湾におけるCODの経年変化を図2(a)に示す。両地点とも1984年度から2003年度にかけて増減を繰り返したのち、湾奥部では2004年度に増加し、湾口部では2004年度および2005年度にかけて増加し、以後は両地点とも横ばい傾向を示した。両地点を比較すると同一年度では湾奥部のほうが高くなる傾向を示した。両地点の年度ごとの増減は類似の傾向を示した。

1984年度から1993年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。湾奥部では10年間平均値は2.3 mg/Lから3.3 mg/Lに増加し、10年間変動幅は1.8～2.8 mg/Lから2.8～3.9 mg/Lと同程度であった。湾口部では、10年間平均値は2.0 mg/Lから2.9 mg/Lに増加し、10年間変動幅は1.5～2.6 mg/Lから2.3～3.4 mg/Lと変わらなかった。

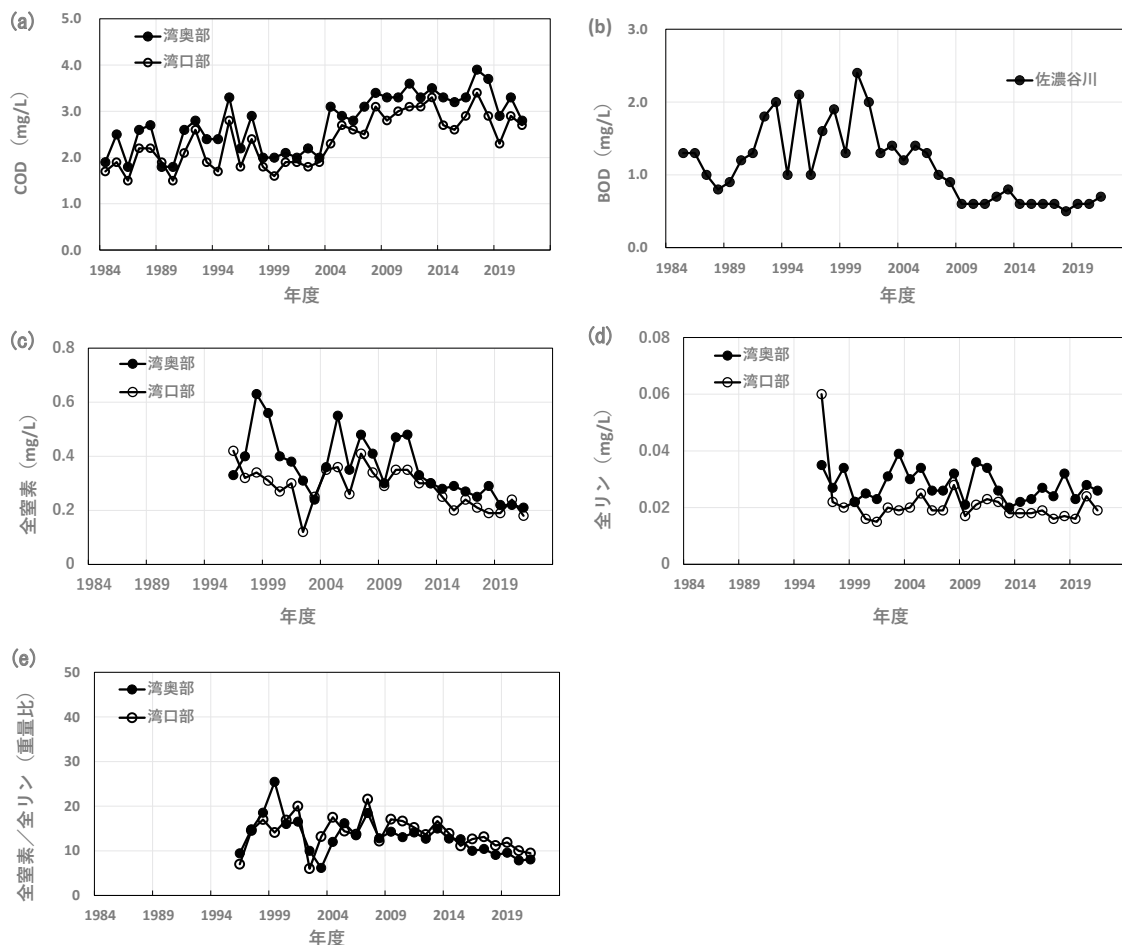


図2. 久美浜湾の各対象地点における、COD (a)、流入河川のBOD (b)、T-N (c)、T-P (d) および N/P (e) の1984年度から2021年度までの経年変化

1-2. 流入河川の BOD

久美浜湾流入河川である佐濃谷川の BOD の経年変化を図 2 (b) に示す。2000 年度までは増減を繰り返していたが、以後は減少傾向を示し年度間の変動も小さくなった。2009 年度以後は報告下限値 (0.5mg/L) 程度で推移した。

1984 年度から 1993 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。10 年間平均値は 1.3 mg/L から 0.6 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.8～2.0 mg/L から 0.5～0.8 mg/L と小さくなった。

1-3. T-N

久美浜湾における T-N の経年変化を図 2 (c) に示す。湾奥部では増減を繰り返しながらも減少傾向を示したのに対し、湾口部では 2002 年度に大きな減少がみられるものの増減が比較的少なく、2010 年度からは減少傾向を示した。両地点を比較すると同一年度では湾口部より湾奥部が高くなる傾向を示した。

1996 年度から 2005 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。湾奥部では 10 年間平均値は 0.42 mg/L から 0.27 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.24～0.63 mg/L から 0.21～0.33 mg/L と小さくなった。湾口部では 10 年間平均値は 0.30 mg/L から 0.23 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.12～0.42 mg/L から 0.18～0.30 mg/L と小さくなった。

1-4. T-P

久美浜湾における T-P の経年変化を図 2 (d) に示す。湾奥部では増減を繰り返しながらも減少傾向を示したのに対し、湾口部では 1996 年度に 0.06mg/L と高い値を示したのちは増減が少なく、2013 年度からは 0.020mg/L 程度で推移した。両地点を比較すると同一年度では湾口部より湾奥部が高くなる傾向を示した。

1996 年度から 2005 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。湾奥部では、10 年間平均値は 0.030 mg/L から 0.025 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.022～0.039 mg/L から 0.020～0.032 mg/L と小さくなった。湾口部では、10 年間平均値は 0.024 mg/L から 0.019 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.015～0.060 mg/L から 0.016～0.024 mg/L と小さくなった。

1-5. N/P

久美浜湾における N/P の経年変化を図 2 (e) に示す。両地点とも 2009 年度まで増減を繰り返したのち減少傾向を示した。両地点の年度ごとの増減は類似の傾向を示した。年度により逆転する場合もみられたが湾口部が湾奥部より高くなる傾向を示した。

1996 年度から 2005 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。湾奥部では 10 年間平均値は 14.5 から 10.8 に減少し、10 年間変動幅は 6.2～25.5 から 7.9～15.0 と小さくなった。湾口部では 10 年間平均値は 14.1 から 12.4 に減少し、10 年間変動幅は 6.0～20.0 から 9.5～16.7 と小さくなった。

動幅は 6.0～20.0 から 9.5～16.7 と小さくなった。

2. 阿蘇海

2-1. COD

阿蘇海における COD の経年変化を図 3 (a) に示す。各地点とも 1984 年度から 2002 年度にかけて減少傾向を示したのち 2003 年度および 2004 年度に増加し、以後は横ばい傾向を示した。各地点を比較すると年度ごとの増減は類似の傾向を示した。また、同一年度では野田川流入点が一番高くなる傾向を示し、中央部と溝尻地先は同程度となった。

1984 年度から 1993 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。野田川流入点では 10 年間平均値は 2.9 mg/L から 3.8 mg/L に増加し、10 年間変動幅は 2.1～3.6 mg/L から 3.1～4.3 mg/L と小さくなった。中央部では 10 年間平均値は 2.6 mg/L から 3.6 mg/L に増加し、10 年間変動幅は 2.2～3.0 mg/L から 2.8～4.3 mg/L と大きくなった。溝尻地先では 10 年間平均値は 2.6 mg/L から 3.5 mg/L に増加し、10 年間変動幅は 2.0～3.1 mg/L から 2.9～4.3 mg/L と大きくなった。

2-2. 流入河川の BOD

阿蘇海流入河川である野田川の BOD の経年変化を図 3 (b) に示す。2005 年度まで増減を繰り返していたが、以後は減少傾向を示し、年度間の変動も小さくなった。2012 年度以後は報告下限値程度で推移した。

1984 年度から 1993 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。10 年間平均値は 1.7 mg/L から 0.7 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 1.2～2.3 mg/L から 0.5～0.8 mg/L と小さくなった。

2-3. T-N

阿蘇海における T-N の経年変化を図 3 (c) に示す。中央部と溝尻地先の年度ごとの増減は類似の傾向を示し、値も同程度となったのに対し、野田川流入点は異なる変動を示すことが多く、他の 2 地点と比較して高くなる傾向を示した。中央部では 2017 年度以後、溝尻地先と野田川流入点では 2016 年度以後は減少傾向を示した。

1996 年度から 2005 年度までと 2012 年度から 2021 年度までのそれぞれの 10 年間平均値および 10 年間変動幅を求めた。野田川流入点では 10 年間平均値はいずれも 0.48 mg/L となり、10 年間変動幅は 0.38～0.60 mg/L から 0.29～0.61 mg/L と大きくなった。中央部では 10 年間平均値は 0.38 mg/L から 0.33 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.21～0.54 mg/L から 0.22～0.44 mg/L と小さくなった。溝尻地先では 10 年間平均値は 0.37 mg/L から 0.31 mg/L に減少し、10 年間変動幅は 0.23～0.49 mg/L から 0.20～0.44 mg/L と小さくなった。

2-4. T-P

阿蘇海における T-P の経年変化を図 3 (d) に示す。年度

ごとの増減は、中央部と溝尻地先は類似の傾向を示した。野田川流入点は他の2地点より高くなる傾向を示した。なお、1996年度は各地点で0.086～0.12mg/Lと1997年度以後と比べて2～4倍程度高い値を示したが、1995年度以前のデータが公表されていないことから今回の検討では除外した。

1997年度から2006年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。野田川流入点では10年間平均値は0.041 mg/Lから0.034 mg/Lに減少し、10年間変動幅は0.032～0.050 mg/Lから0.024～0.043 mg/Lと同程度となった。中央部では10年間平均値は0.031 mg/Lから0.026 mg/Lに減少し、10年間変動幅は0.021～0.047 mg/Lから0.018～0.038 mg/Lと小さくなった。溝尻地先では10年間平均値は0.031 mg/Lから0.026 mg/Lに減少し、10年間変動幅は0.019～0.050 mg/Lから0.018～0.035 mg/Lと小さくなった。

2-5. N/P

阿蘇海におけるN/Pの経年変化を図3(e)に示す。各地点とも2001年度に大きく減少したのち2007年度まで増加傾向を示し、以後は年度により増減はあるものの横ばい傾向を示した。各地点の年度ごとの増減は類似の傾向を示すものの同一年度における地点間の大小は明確な傾向を示さなかった。なお、1996年度はT-Pを除外したことからN/Pについても今回の検討では除外した。

1997年度から2006年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。野田川流入点では10年間平均値は11.6から14.2に増加し、10年間変動幅は7.6～15.0から8.8～17.9と大きくなった。中央部では10年間平均値は11.9から12.5に増加し、10年間変動幅は5.5～14.8から8.5～16.2と小さくなった。溝尻地先では10年間平均値は12.2から12.3と同程度であり、10年間変動幅は6.4～17.4から8.0～17.9と小さくなった。

3. 宮津湾

3-1. COD

宮津湾におけるCODの経年変化を図4(a)に示す。両地点とも1984年度から2000年度にかけては横ばい傾向を示したのち、2008年度まで増減を繰り返しながら増加傾向を示

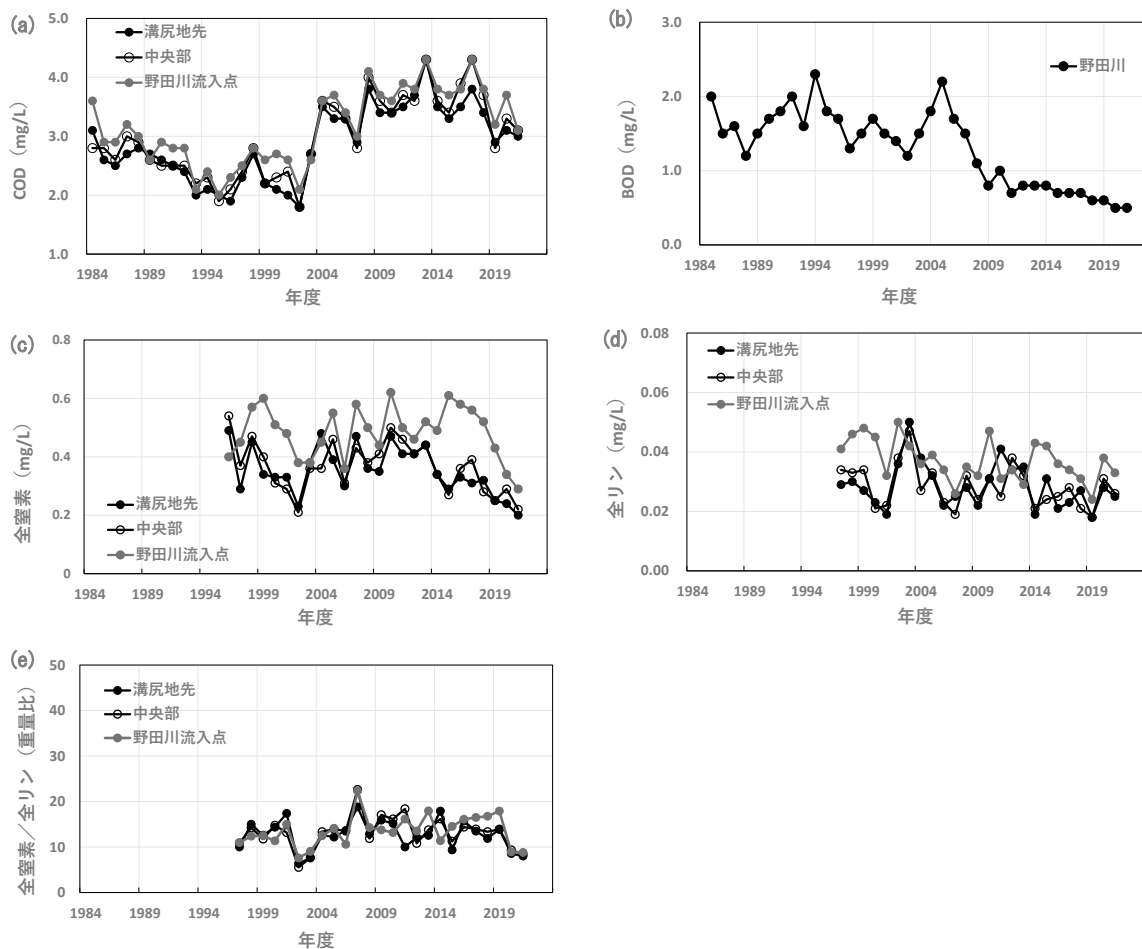


図3. 阿蘇海の各対象地点における、COD (a)、流入河川のBOD (b)、T-N (c)、T-P (d) およびN/P (e) の1984年度から2021年度までの経年変化

し、以後は横ばい傾向を示した。両地点を比較すると年度ごとの増減は類似の傾向を示すことが多かった。同一年度では島崎地先のほうが高くなる傾向を示した。

1984年度から1993年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。島崎地先では10年間平均値は1.5 mg/L から2.1 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.2～1.9 mg/L から1.6～2.3 mg/L と変わらなかった。江尻地先では10年間平均値は1.2 mg/L から1.7 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.0～1.5 mg/L から1.5～2.1 mg/L と同程度であった。

3-2. 流入河川のBOD

宮津湾流入河川である大手川のBODの経年変化を図4 (b) に示す。2012年度までは増減を繰り返しながら減少傾向を示し、以後は報告下限値程度で推移した。

1984年度から1993年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。10年間平均値は1.7 mg/L から0.6 mg/L に減少し、10年間変動幅は1.3～2.3 mg/L から0.5～1.2 mg/L と小さくなった。

3-3. T-N

宮津湾における T-N の経年変化を図4 (c) に示す。両地点とも増減を繰り返しながらも減少傾向を示した。両地点の年度ごとの増減は2010年度までは一致しないことが多かったが、以後は類似の傾向を示した。2003年度を除き島崎地先が江尻地先より高い値を示した。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。島崎地先では10年間平均値は0.39 mg/L から0.20 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.16～0.73 mg/L から0.14～0.24 mg/L と小さくなった。江尻地先では10年間平均値は0.27 mg/L から0.13 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.14～0.53 mg/L から0.09～0.18 mg/L と小さくなった。

3-4. T-P

宮津湾における T-P の経年変化を図4 (d) に示す。両地点とも明確な傾向を示さなかった。島崎地先では2004年度に高い値を示したのち2006年度まで減少し、以後は横ばい傾向を示した。江尻地先では2009年度から2014年度にかけて

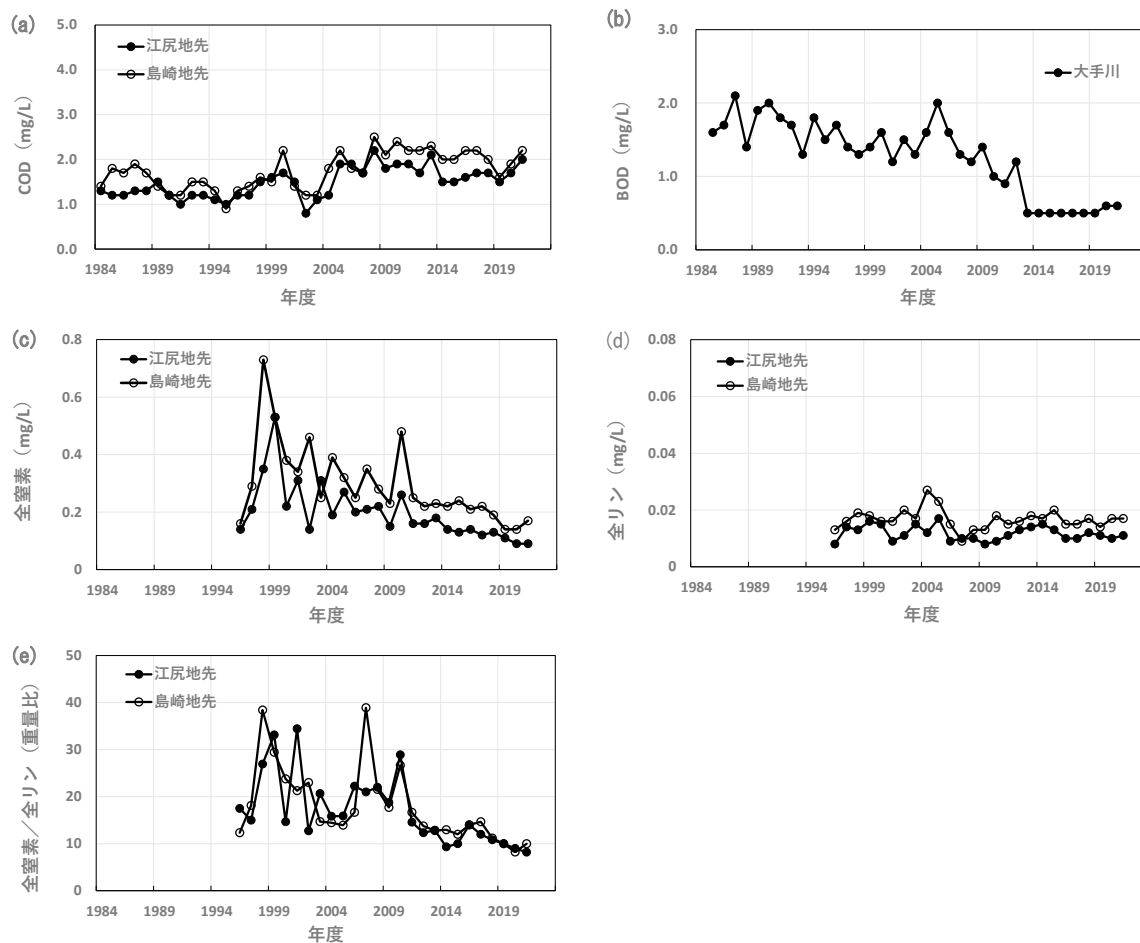


図4. 宮津湾の各対象地点における、COD (a)、流入河川のBOD (b)、T-N (c)、T-P (d) および N/P (e) の1984年度から2021年度までの経年変化

増加傾向を示したのち横ばい傾向を示した。両地点の年度ごとの増減は異なる傾向を示すことが多かった。2007年度を除き島崎地先が江尻地先より高い値を示した。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。島崎地先では10年間平均値は0.019 mg/L から0.017 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.013～0.027 mg/L から0.014～0.020 mg/L と小さくなった。江尻地先では10年間平均値は0.013 mg/L から0.012 mg/L と同程度であり、10年間変動幅は0.008～0.017 mg/L から0.010～0.015 mg/L と小さくなった。

3-5. N/P

宮津湾におけるN/Pの経年変化を図4(e)に示す。両地点とも2010年度まで増減を繰り返したのち減少傾向を示した。両地点の年度ごとの増減は2010年度までは異なる傾向を示すことが多かったが、以後は類似の傾向を示した。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求め

た。島崎地先では10年間平均値は20.9から12.0に減少し、10年間変動幅は12.3～38.4から8.2～14.7と小さくなった。江尻地先では10年間平均値は20.7から10.9に減少し、10年間変動幅は12.7～34.4から8.2～14.0と小さくなった。

4. 舞鶴湾

4-1. COD

舞鶴湾におけるCODの経年変化を図5(a)に示す。各地点において1989年度から1993年度にかけてピークを示したのち減少傾向を示したが、2003年度から2008年度にかけて増加傾向に転じたのち横ばい傾向を示した。各地点の増減は類似の傾向を示した。同一年度では1998年度までは檜崎地先と念仏鼻地先が他の2地点に比べて高い値となることが多かったが、以後は地点間の差が小さくなり地点間の大小は明確な傾向を示さなかった。

1984年度から1993年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。キンギョ鼻地先では10年間平均値は1.5 mg/L から1.9 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.0～1.8 mg/L から1.4～2.4

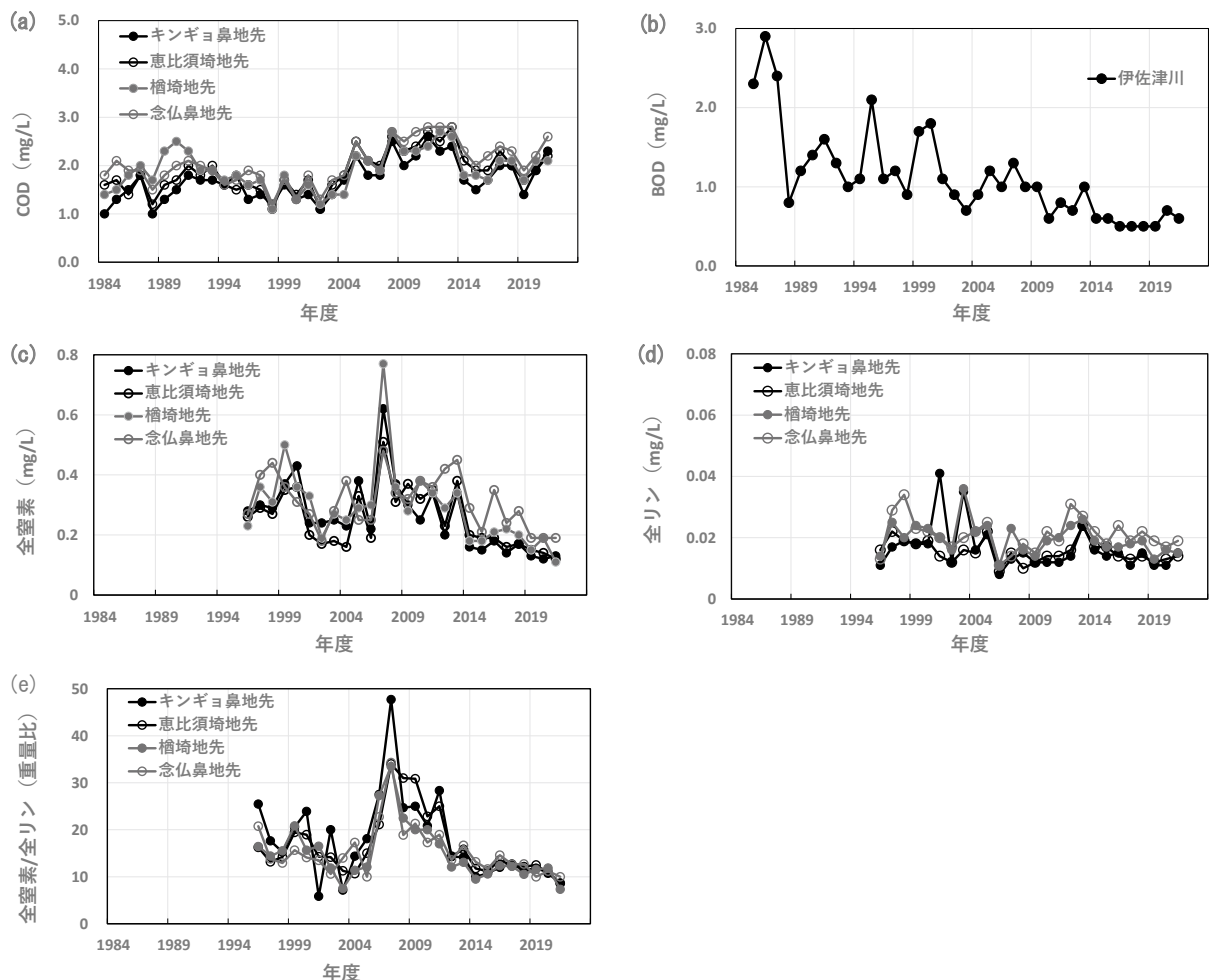


図5. 舞鶴湾の各対象地点における、COD (a)、流入河川のBOD (b)、T-N (c)、T-P (d) およびN/P (e) の1984年度から2021年度までの経年変化

mg/L と大きくなった。恵比須埼地先では10年間平均値は1.7 mg/L から2.1 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.2～2.0 mg/L から1.7～2.8 mg/L と大きくなった。榑埼地先では10年間平均は1.9 mg/L から2.1 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.4～2.5 mg/L から1.7～2.7 mg/L と同程度であった。念仏鼻地先では10年間平均値は1.9 mg/L から2.4 mg/L に増加し、10年間変動幅は1.5～2.1 mg/L から1.9～2.8 mg/L と大きくなった。

4-2. 流入河川のBOD

舞鶴湾流入河川である伊佐津川のBODの経年変化を図5 (b) に示す。増減を繰り返しながら減少傾向を示し2014年度以後は報告下限値程度で推移した。

1984年度から1993年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。10年間平均値は1.6 mg/L から0.6 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.8～2.9 mg/L から0.5～1.0 mg/L と小さくなった。

4-3. T-N

舞鶴湾におけるT-Nの経年変化を図5 (c) に示す。各地点とも同様の変動を示した。2007年度にいずれの地点も高い値を示したが、他の年度は減少傾向を示した。年度ごとの地点間における大小は明確な傾向を示さなかったが2010年度以後は念仏鼻地先が最も高くなる傾向を示した。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。キンギョ鼻地先では10年間平均値は0.30 mg/L から0.17 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.23～0.43 mg/L から0.12～0.34 mg/L と大きくなった。恵比須埼地先では10年間平均値は0.26 mg/L から0.19 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.16～0.36 mg/L から0.12～0.38 mg/L と大きくなった。榑埼地先では10年間平均値は0.31 mg/L から0.21 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.19～0.50 mg/L から0.11～0.34 mg/L と小さくなった。念仏鼻地先では10年間平均値は0.31 mg/L から0.28 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.18～0.44 mg/L から0.19～0.45 mg/L と変わらなかった。

4-4. T-P

舞鶴湾におけるT-Pの経年変化を図5 (d) に示す。2006年度までは明確な傾向を示さなかったが、2007年度から2011年度にかけてはいずれの地点においても増加傾向を示したのち減少傾向を示した。2007年度以後は同一年度ではキンギョ鼻地先と恵比須埼地先、榑埼地先と念仏鼻地先がそれぞれ類似の傾向を示し、キンギョ鼻地先と恵比須埼地先に比べて榑埼地先と念仏鼻地先が高い値を示した。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。キンギョ鼻地先では10年間平均値は0.021 mg/L から0.015 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.011～0.041 mg/L から0.011～0.024 mg/L と小さくなった。恵比須埼地先では10年間平均値は0.017 mg/L から0.015 mg/L に減少

し、10年間変動幅は0.012～0.022 mg/L から0.012～0.024 mg/L と大きくなった。榑埼地先では10年間平均値は0.022 mg/L から0.018 mg/L に減少し、10年間変動幅は0.014～0.036 mg/L から0.013～0.026 mg/L と小さくなった。念仏鼻地先では10年間平均値は0.023 mg/L から0.022 mg/L と同程度であり、10年間変動幅は0.013～0.034 mg/L から0.017～0.031 mg/L と小さくなった。

4-5. N/P

舞鶴湾におけるN/Pの経年変化を図5 (e) に示す。いずれの地点も2006年度まで増減を繰り返しながら減少傾向を示した。2007年度にいずれの地点も高い値となったのち減少傾向を示した。各地点の年度ごとの増減は類似の傾向を示した。同一年度における地点間の大小は明確な傾向を示さなかった。

1996年度から2005年度までと2012年度から2021年度までのそれぞれの10年間平均値および10年間変動幅を求めた。キンギョ鼻地先では10年間平均値は16.8から11.7に減少し、10年間変動幅は5.9～25.5から8.7～14.3と小さくなった。恵比須埼地先では10年間平均値は14.7から12.3に減少し、10年間変動幅は10.7～19.4から8.6～15.8と小さくなった。榑埼地先では10年間平均値は14.2から11.1に減少し、10年間変動幅は7.5～20.8から7.3～13.1と小さくなった。念仏鼻地先では10年間平均値は14.3から12.6に減少し、10年間変動幅は10.0～20.8から10.0～16.7と小さくなった。

考 察

対象とした閉鎖性海域はCODを除く項目においては一部の地点を除いて公表データの開始後10年間より直近10年間のほうが10年間平均値が減少し10年間変動幅も小さくなった。さらに流入河川のBODも同様であった。これらの結果からは各閉鎖性海域の水質が流域における下水道整備や排出規制等の水質改善策の効果および流域における人口減少などにより長い年月を経て改善されてきたと言える。

一方でCODについては、いずれの閉鎖性海域においても直近10年間のほうが10年間平均値は公表データの開始後10年間より増加し、10年間変動幅は同程度が大きくなった。藤原・鈴木⁷⁾が、瀬戸内海等においてT-Nが0.4 mg/Lまで低下すると全有機態窒素量は顕著に低下したもののCODは低下せず、CODの難分解化によってCODの生産量が増えなくても濃度が増加する海域があること、また、1990年以降はT-Nを削減しても海域のCODは低下せず、閉鎖性の強い海域では逆にCODが増加したと報告しているが、本研究においてもT-Nは低下したもののCODは低下せず、CODを指標とした場合には各閉鎖性海域の水質改善傾向は認められない結果となった。

各閉鎖性海域間を比較すると、宮津湾と舞鶴湾より閉鎖性の高い久美浜湾と阿蘇海の各項目の値が高くなる傾向があり、同一閉鎖性海域の地点間の値の大小にも外海との海水交換や流入河川といった地形的要因の影響を示唆すると考え

られる一定の傾向がみられた。さらに阿蘇海においては10年間平均値が減少し10年間変動幅が小さくなった他の閉鎖性海域とは異なり、N/Pの10年間平均値がいずれの地点も増加し、閉鎖度が高く流入した汚濁物質が蓄積しやすい構造となっており（京都府の川と海の水質 <https://www.pref.kyoto.jp/suishitu/jyoutjikanshi/wakasawan.html>）、底泥の有機物含量が高くなりヘドロ状となったことにより底泥が劣化し⁸⁾、底質からリンが溶出した影響等が考えられた。山室ら⁹⁾は、CODを指標として有機物濃度を削減することにより貧酸素化を減らすという試みは、閉鎖性水域本来の機能に支障を来す危険があるとし、貧酸素水塊の成層の強固化を防ぐことが有効な水質保全対策になると述べている。本検討で対象とした閉鎖性海域においても、今回の結果からはCODを指標として有機物濃度を削減し貧酸素化を減らすという手法が有効とは考えにくく、閉鎖性海域ごとに適した貧酸素水塊の成層の強固化対策を講じることが一層の水質改善のためには必要と考えられた。対策を講じるには成層の生成状況や貧酸素化の状況について把握する必要がある、水温、塩分濃度、濁度といった成層の生成に関与する項目や底層DO等の項目の垂直分布等を継続的に測定することが必要と考えられた。また、数値シミュレーションは閉鎖性海域全域における状況把握や将来予測を行うために有益である。

引用文献

- 1) 浦瀬太郎. 2011. 明解 水質環境学, p5-32, 有限会社ブリアデス出版, 長野.
- 2) 船越裕紀, 田中雅幸, 小林志保, 藤原建紀. 2023. 汽水湖（久美浜湾）における貧酸素水塊の解消課程－冬季の鉛直混合を阻害する淡水流入－. 水環境学会誌, 46 (6), 173-180.
- 3) 田口寛, 井上知明. 2006. 北部閉鎖性海域の溶存酸素の鉛直分布調査結果について（Ⅱ）－阿蘇海－. 京都府保健環境研究所年報, 第51号, 87-95.
- 4) 中居千和, 多田哲子, 牧秀明, 一二三純子, 北野隆一, 武田真由美, 田中豊稔, 木南敬之. 2017. 阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について. 京都府保健環境研究所年報, 第62号, 42-47.
- 5) 三輪浩, 池野英利. 2008. 舞鶴湾における夏季成層期の流れと水質分布の数値解析. 水工学論文集, 52, 1387-1392.
- 6) 三輪浩, 池野英利. 2007. 密度分布を考慮した舞鶴湾の流れ場と水環境に関する数値解析. 舞鶴工業高等専門学校紀要, 42, 47-58.
- 7) 藤原建紀, 鈴木元治. 2024. 閉鎖性海域のCOD上昇. 水環境学会誌, 47 (1), 37-46.
- 8) 山本民治, 花里孝幸. 2015. 海と湖の貧栄養化問題, pp.84-85, 株式会社地人書館, 東京.
- 9) 山室真澄, 神谷宏, 石飛裕. 2011. 汽水湖沼である宍道湖における成層に伴う貧酸素化とCOD (Mn) との関係. 水環境学会誌, 34 (4), 57-64.