

周防灘と関門海峡, 北九州

京都大学 名誉教授
藤原 建紀

1. はじめに

瀬戸内海を外海とむすぶ3つの水路のうち、周防灘と関門海峡について、海洋学的記述がなされることは希である。本報では、大阪湾や播磨灘とならび、大きな水質変化、貧栄養化が起きている周防灘西部（豊前海）の海況、水質および生物生産の変化について述べる。また、瀬戸内海を東西に横断するフェリーによって測定された水温、塩分、海水密度を用いて、瀬戸内海における周防灘の特徴について述べる。

2. 地形と漁業

西部瀬戸内海の海底地形を図1に示す。周防灘の地形は、東部で深く、西部に向かって浅くなり、西側の沿岸部は水深10 m以浅の水域が広くみられる。海底地形は極めてなだらかなり、海岸近くで急に深くなる、瀬戸内海の他の湾・灘とは異なった海底地形となっている。

周防灘の漁獲物組成は、瀬戸内海の他の湾・灘とは大きく異なり、かつては二枚貝が漁獲量の過半を占め、瀬戸内海のアサリ漁獲量の大部分を担っていた(図2a)¹⁾。これは、主に周防灘西部の豊前海干潟およびその地先の浅海域においてアサリ、ハマグリなどが大量に育っていたからである。なお、このころ、山口県側の浅海域においても二枚貝類の生産は盛んであった。一方、現在は二枚貝の生産量が激減し、漁獲物は他の湾・灘と類似の組成となっている(図2b)。なお、養殖ノリの生産量も著しく低下している。

3. 海象

3.1 関門海峡

関門海峡は幅約1 kmの、瀬戸内海と北九州の日本海をむすぶ水路である。関門海峡の大部分を占める関門航路は、現在水深12 mまで浚渫されている。海峡の断面積は、豊後水道南部の断面積の0.2 %と小さいため、関門海峡の潮流往復流量は、瀬戸内海の潮汐に影響を及ぼす大きさではない²⁾。しかし、冬季の季節風(北西風)の影響を受けて、関門海峡の西側(日本海)と東側(周防灘)の間に40 cmに及ぶ大きな水位差が生じる(図3)³⁾。このため、日本海から周防灘に向かう通過流が生じ、その流量は $1.4 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ に達する(12月から2月の平均値)。これは備讃瀬戸の同時期の通過流量($4.3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)の33 %に相当する³⁾。つまり北九州市の日本海側の海水は、瀬戸内海(周防灘)へと流入しやすい。

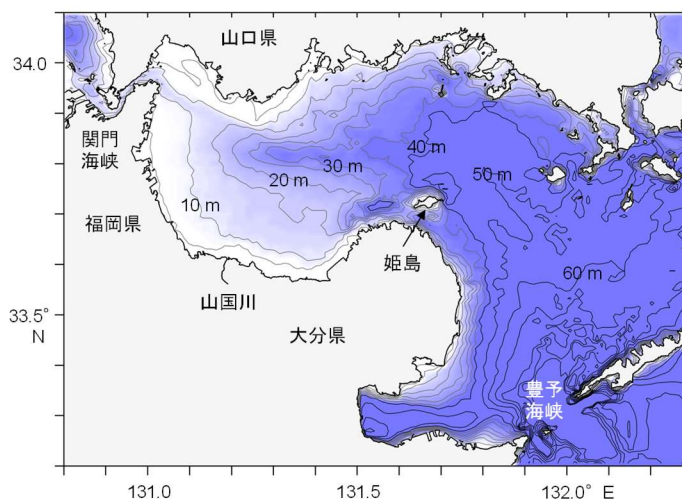


図1 周防灘の海底地形

3. 2 夏季の周防灘

(1) 底層冷水塊(Cold Pool)と底層 DO

夏季の周防灘では、海底上に、周囲よりも冷たい水塊がドーム状に盛り上がった形となっている(図4)⁴⁾。この底層冷水塊は、強混合の海峡部に隣接する灘部で一般的にみられ、Cold Pool あるいはその形状から Cold Dome、Cold Cushion(座布団)といわれる。周防灘の Cold Pool は、豊予海峡に隣接して生じたものである。豊予海峡の北東側に隣接する伊予灘にも、大きな Cold Pool ができる³⁾。また、瀬戸内海のみならず伊勢湾や東京湾にも Cold Pool ができる。

Cold Pool は、海底上にできた孤立水塊であるため、その溶存酸素濃度(DO)は低下しやすい。湖と異なり、沿岸海域における底層 DO の挙動は、この Cold Pool の消長と密接に関係している⁵⁾。

(2) 周防灘の平均流(残差流)

周防灘の平均流は、強混合の海峡部に隣接する灘部に一般的にみられるものである。このため、周防灘の平均流系は、伊勢湾とよく似ている。加熱期(春～夏)の中層(水深10 m～20 m)では、水温上昇・海水の低密度化が、海峡部の方が灘部よりも早く進む。このため、海峡部の海水は灘部の中層へと進入し、灘部の底層には、昇温の遅れた Cold Pool が形成される⁵⁾。

この海峡部水の進入は、地球自転効果(コリオリ力)によって、岸を右にみて湾内に流入する。周防灘においては、豊予海峡水が、山口県の沿岸に沿って西進し、周防灘全体に反時計回りの水平循環を形成する⁶⁾。

Cold Pool の海水は、その周辺の海水よりも重い海水である。重い水塊がドーム状に海底上に盛り上がり、崩れることなくその形状を維持しているのは、圧力勾配が地衡流バランスしているためである。

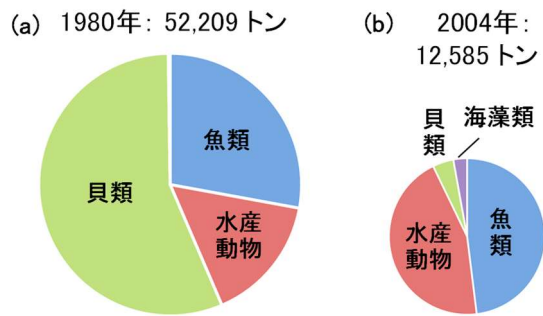


図2 周防灘の漁獲量

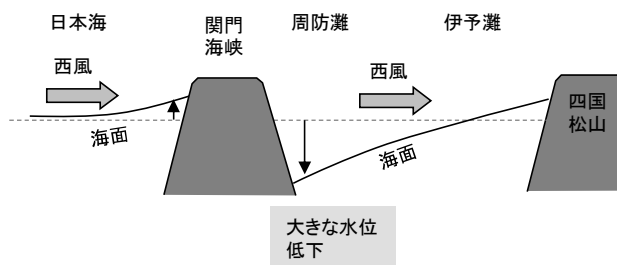


図3 西風によって生じる関門海峡の通過流

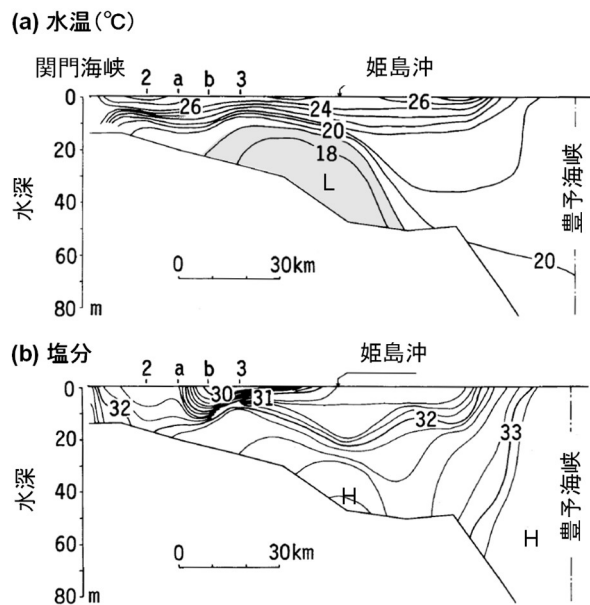


図4 周防灘縦断面の (a) 水温、(b) 塩分分布. 陰影部が Cold Pool、1973年7月。

3. 3 冬季の周防灘(熱塩フロント)

冬季の周防灘では、南西部は、北東部よりも低温、低塩分となっている。図5、6 に、ランドサット8号衛星でとらえた海面水温分布を示す。また、図7には、大阪港と釜山港(韓国)を結ぶフェリーで測られた水温、海水密度を示す⁷⁾。

熱映像(図5)では、豊後水道・豊予海峡(黄色で表示、12.5℃以上)に比べ、周防灘は冷たい(赤～紫色で表示、10℃以下)。特に、水深 10 m 以浅の周防灘南部と北西部は 8℃以下と、最も冷たくなっている。一方、関門海峡の東側には、北九州沖の日本海から暖水が流入している。

熱映像(図6)は、周防灘西部から九州北岸海域(日本海)の熱映像である。関門海峡を隔てて、周防灘の水温が日本海よりも著しく低いことが明瞭に示されている。また、九州北西岸に沿った浅海域の水温は、沖合の対馬海流域(図ではオレンジ色～黄色部分)よりも低温となっている。次の図で示すが、この低水温域の海水は、沖合の海水よりも重く、沈み込んでいく海水である。

福岡市の博多湾では、湾内水温が湾外水温よりも大きく低下しており、両者の境界(熱塩フロント)は湾口付近にある。

フェリーの水温記録(図7a)でみると、10 月から周防灘の際だった水温低下が始まっており、2 月には姫島～関門海峡間の水温が、瀬戸内海で最も低くなっている。一方、密度(図7b)には、この低水温の影響はみられず、低水温による密度上昇量と、低塩分による密度低下量が等しく、打ち消しあっていることを示している。このため、冬季の熱映像でみられる低温部は、低塩分部ともなっている。

姫島付近にみられる短い距離での急激な水温低下は、一般に熱塩フロント(前線)とよばれる。熱映像にみられるように、熱塩フロントは、湾内外を一本の前線で隔てるものではなく、シャープな不連続とやや緩やかな変化が混在したものである。また周防灘内にも、場所的に温度の違いがある。このことは、紀伊水道、伊勢湾、東京湾や博多湾の、それぞれ外海との境界にできる熱塩フロントにも共通している。

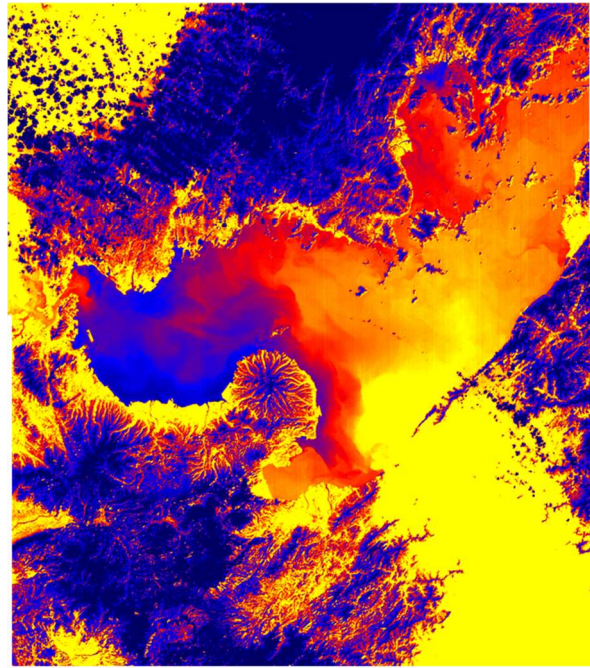


図5 西部瀬戸内海の熱映像。2017 年 2 月
3 日 10 時 47 分、LANDSAT8 衛星による。
(USGS 提供データより作成)

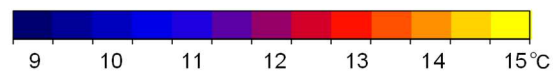
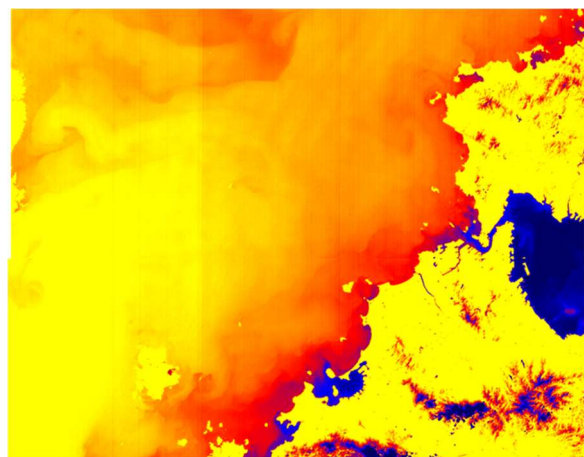


図6 周防灘西部から日本海の熱映像。
2021 年 2 月 21 日、LANDSAT8 衛星による。(USGS 提
供データより作成)

水温が低下する 11 月以降の瀬戸内海の密度分布 (図 7b) は、全体に西高東低であり、周防灘および伊予灘の海水が瀬戸内海で最も重くなっている。このため、冬季、西部瀬戸内海の海水は、豊後水道西岸の底層を通して外海へと流出している^{3,8)}。また、関門海峡の日本海側にも局所的な海水密度のピークがあるが、これは岸沿いの浅い海が低温域(ただし高塩分)となっているからである。

内湾の冬季水温が、外海よりも著しく低いことは、内湾に生息可能な生物種を規定する重要な要因である。また、湾内外で大きな水温差があるにもかかわらず、密度差がほとんどないことは、海洋物理学的には興味深いことである。冬季、湾内外に密度差のない状態をスタートとして、過熱期が始まると、表層下では、湾外水の方が先に昇温し、軽くなって湾内中層に進入し、この進入層の下に Cold Pool ができていく⁵⁾。

4. 豊前海の貧栄養化とアサリ漁獲量の激減

周防灘西部の豊前海とよばれる海域では、栄養塩類濃度の経年的低下が著しい。図 8 の彩色部は、全窒素 (TN) および溶存無機態窒素 (DIN) の濃度低下が顕著な水域を示す。また、この水域の TN、DIN の経年変化を図 9 に示す。TN の低下幅は、大阪湾や播磨灘に匹敵する大きさである。また、TN の低下に伴って DIN も低下している。

瀬戸内海で最大の干潟である豊前海干潟のアサリ漁獲量(大分県)と、同海域の TN、クロロフィル a の経年変化を図 10 に示す。アサリ漁獲量は、2002 年までは低位ながら安定していたが、2003 年に激減し、2006～2007 年に一旦回復するも、2008 年以降はほとんど漁獲のない状態に陥っている(図 10a)。近年のアサリ稚貝の発生状況は、局所的に比較的良好な年もあるが、夏季から秋季にかけて大幅に減耗し、漁獲にはつながっていない状況である⁹⁾。

同海域の TN とクロロフィル a (図 10b,c) をみると、どちらも経年的に低下しているが、アサリ漁獲量の激減が起きた 2003 年は TN が 0.2 mg L^{-1} 程度に低下し、クロロフィル a がほぼ $3 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 以下となった時期

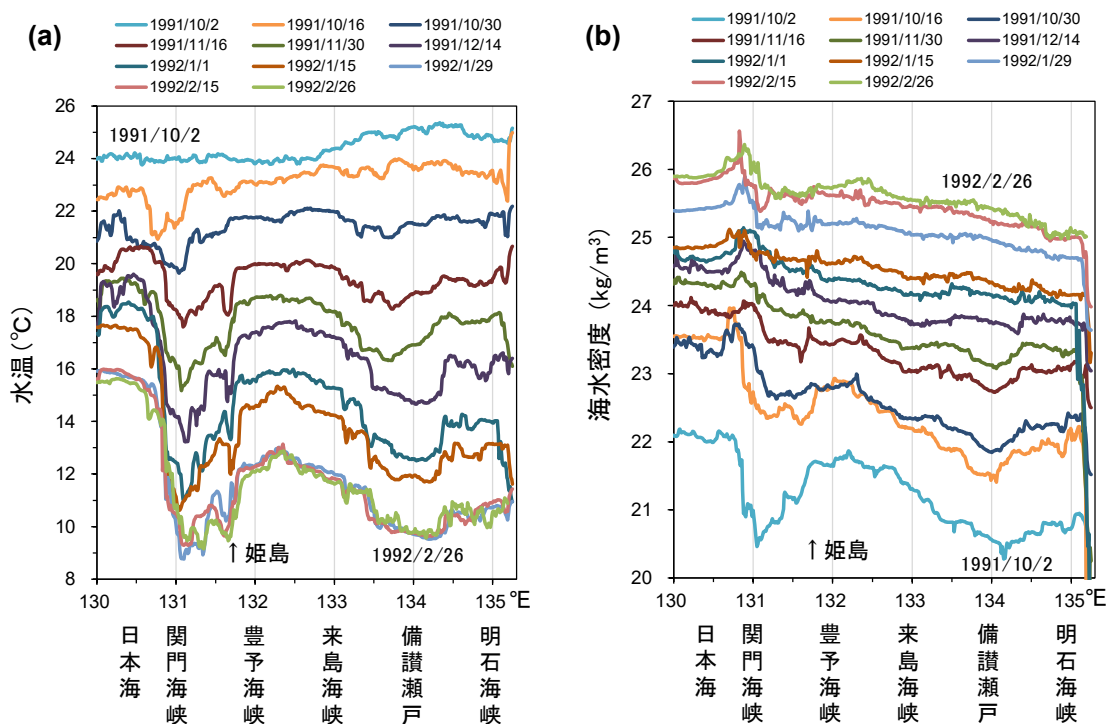


図7 大阪港から瀬戸内海を通じ、関門海峡を経て日本海に至る航路の
(a) 水温、(b) 海水密度(実密度 - 1000 kg m^{-3} で表示)。

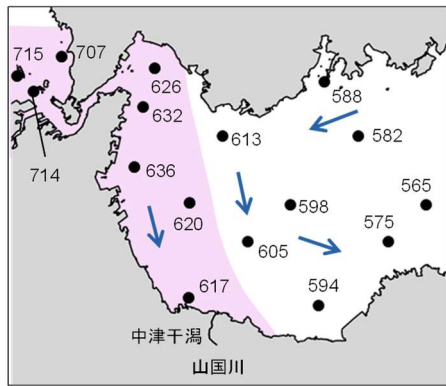


図8 周防灘～日本海(北九州)において TN および DIN の濃度低下が著しい海域(彩色部). データ源: 広域総合水質調査、図中の数値は測点番号、矢印は平均流。

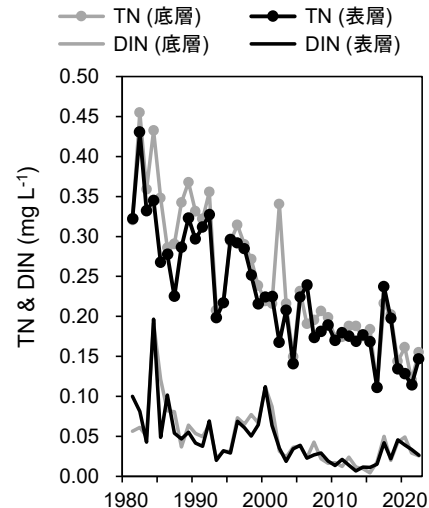


図9 周防灘西部の豊前海の TN および DIN の経年変化. データ源: 広域総合水質調査、測点 617、620、632、636 の平均。

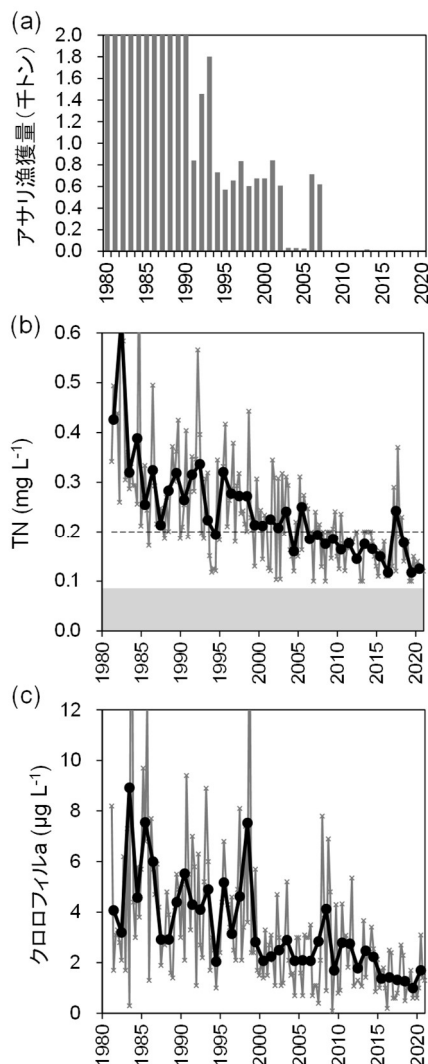


図 10 豊前海干潟における (a) アサリ漁獲量(大分県)、(b) TN、(c) クロロフィル a.

(b)の陰影部は、外海起源の難分解性溶存有機態窒素で生物の使えない部分。(b)、(c)の黒太線は年平均値、データ源: 広域総合水質調査、測点 617。

である。2016 年以降は、アサリ漁獲量がさらに減少し、10 トン以下になっている。このときクロロフィル a は $2 \mu\text{g L}^{-1}$ 以下にまで低下しており、このクロロフィル濃度ではアサリ資源の回復は困難と考えられる¹⁰⁾。

参考文献

- 1) 日本水産資源保護協会(1986): 昭和 27～59 年 瀬戸内海漁業灘別漁獲統計累年表。
- 2) 藤原建紀(2013): 瀬戸内海の潮汐・潮流. 瀬戸内海の気象と海象. 海洋気象学会編, 海洋気象学会, 61-73.
<https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9970500>
- 3) 藤原建紀(2013): 瀬戸内海の水温・塩分と海況変動. 海洋気象学会編, 海洋気象学会, 37-58.
- 4) 藤原建紀・高杉由夫・肥後竹彦(1989): 成層状態の内湾に風が起こす現象. 沿岸海洋研究ノート, 27(1), 38-46.
- 5) 藤原建紀(2010): 内湾の貧酸素化と青潮. 沿岸海洋研究, 48, 5-15.
- 6) 中嶋さやか・金山進・関本恒浩・井関和夫(2010): 夏季周防灘の底層における孤立低温水塊の形成メカニズムと物理環境に関する一考察. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 66, 951-955.
- 7) 国立環境研究所(2005): 東アジア海域海洋環境モニタリング・アーカイブデータ.
- 8) 田村勇司(2012): 豊後水道の水環境. 瀬戸内海, No. 64, 22-25.
- 9) 環境省(2019): 中央環境審議会水環境部会 瀬戸内海環境保全小委員会(第 12 回) 議事次第・資料, 資料 3-3, 大分豊前海における水環境と水産資源等を巡る諸情勢(大分県漁業協同組合). URL: <https://www.env.go.jp/council/09water/y0915-12/900429288.pdf> (2025 年 1 月時点)
- 10) 日本水産資源保護協会(2018): 水産用水基準(2018 年版)。