

研究課題名 若狭湾沖の流動変動に関する研究

兼田淳史(福井県立大学)

大西 徹(福井県立大学)

森本昭彦(愛媛大学)

1. 研究目的

初年度にあたる昨年の研究では、若狭湾の小樟（図 1 参照）で長年にわたって実施してきた観測データを分析し、若狭湾の底層で夏季の低温化現象が発生することを確認するとともに、その発生要因を探るために人工衛星が計測した海面高度データを用いて、若狭湾底層の低温化には若狭湾沖に形成される冷水域が関係していることを見いだした（図 2 参照）。

そこで、2 年目にあたる本年度の研究は、若狭湾で低温化が発生していた時の調査船データも追加して詳しく分析し、沖合水が湾内へ進入していることの検証および、低温化現象の発生プロセスおよび発生機構について考察することを目的として実施した。



図 1：若狭湾および水温の測点である小樟の位置（左）。2017 年の小樟の水温時系列（上、海面下 10m、下、海面下 50m）。下層の水温は夏季に低下していた。

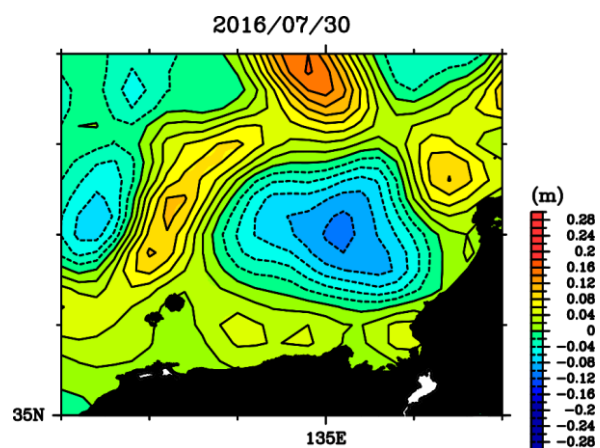


図 2：若狭湾で水温が低下したときの沖合いの海面高度の分布図。青色で示された水温の低い場所は冷水域を示し、若狭湾前面に冷水域が接近していたことを示している。

2. 研究内容

2.1 データおよび方法

若狭湾底層の水温変動特性を把握するために、2001～2018年に小樟で取得した海面下10mと50m層の水温データを用いた。さらに若狭湾内から沖合にかけての水温および流速分布を調べるために、福井県水産試験場が所有する調査船福井丸の観測データを利用した。福井丸の観測データは2か月に1回程度の頻度で実施されており、その観測データのうち2001～2018年に取得されたCTD観測と船底に設置されたADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 超音波ドップラー多層流向流速計) のデータを分析した。

若狭湾の沖合の流況変動特性を把握するために、海面高度計データをRADS (<http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml>) からダウンロードし、Ito et al. (2014)と同様の方法を用いて日本海中部海域の5日毎のグリッドデータを作成した。

上記のデータを用いて、以下の方法で分析を進めた。本研究は最初に小樟の水温データから夏季の底層水温低温化現象の発生時期を特定し、その時期の海面高度計データを用いて沖合の海況の特性を調べ、次に海面高度計データを利用して、若狭湾内で低温化現象が発生しているときの日本海の冷水域の配置や発生過程を調べた。そのとき、低温化現象発生時の冷水域の分布などに注目してその共通性や伝播特性から低温化現象の発生プロセスの分類化を行った。また、底層水温低下現象の発生時期に、福井丸による調査航海が行われているときは、調査船が取得したデータを利用して若狭湾沖の冷水域と若狭湾底層の性質の比較や、若狭湾から沖合にかけ

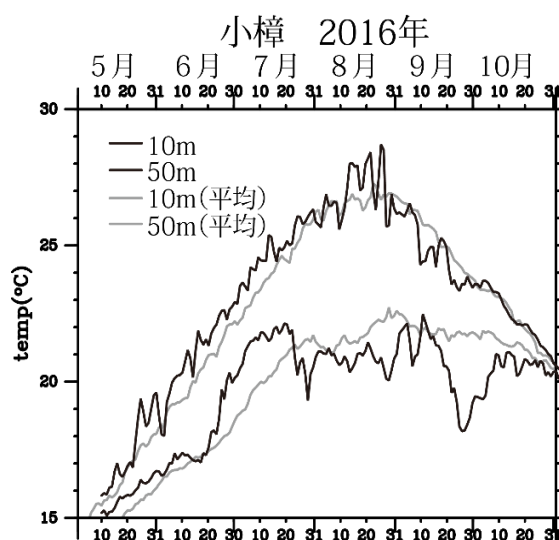


図3. 2016年5月から10月における小樟(地点はFig.2に示す)の水温時系列図。灰色の線は2001年から2018年までの平均水温を示す。

での流速分布の特徴を確認した。最後に、以上の分析結果に基づいて若狭湾の夏季の底層低温化現象の発生メカニズムについて考察した。

3. 研究成果および今後の問題点

全 18 年間の小樽の水温データからデータの欠測があった年を除いた 11 年間のうち、夏季に底層水温が低下した年が 10 年間存在した。また、水温が成層期の極小を示した時期をまとめると、大半が 7～9 月の間に発生していたことがわかった。若狭湾の底層低温化現象は夏季に、ほぼ毎年発生することは興味ぶかい結果である。

底層での低温化発生時と沖合の流動構造の関連性を把握するため、底層水温低下時の海面高度に着目して分析した。若狭湾沖合には、「山陰若狭沖冷水」と呼ばれる冷水域が発生することが知られているが、その冷水が発生しているときであっても、小規模なときでも低温化現象は発生していた。沖合の冷水域の分布の違いは大きく 3 つに分類され、低温化が発生しなかった 2004 年と併せて計 4 つに分類することができた (図 4 参照)。

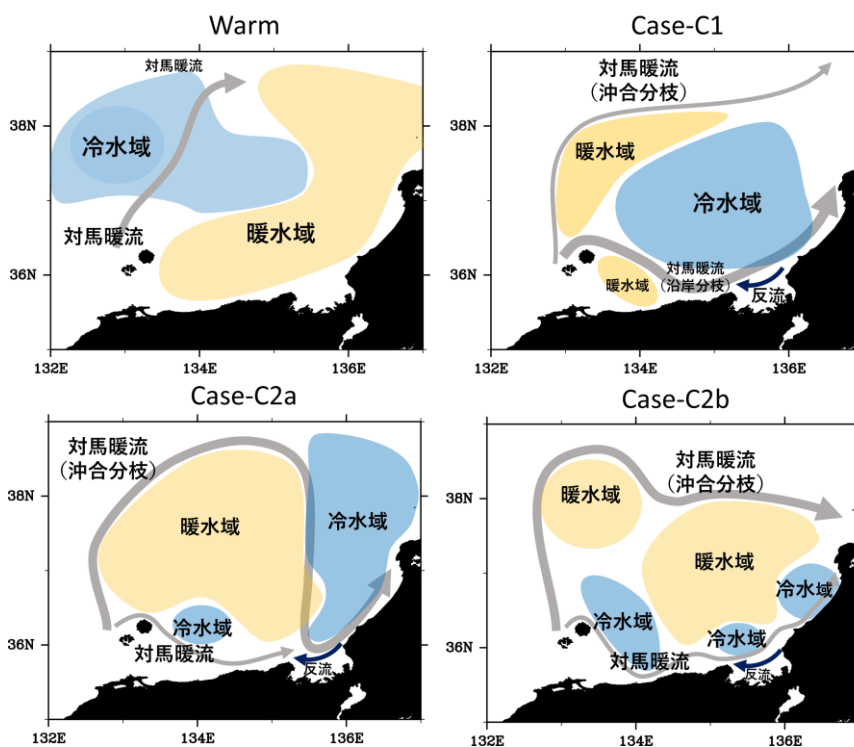


図 4. 若狭湾で夏季に底層水温低下が発生しなかった時 (Warm) と発生したときの 3 ケース (CaseC1, C2a, C2b) の冷水域の分布図

図4の左上に示されている Warm は 2004 年の低温化現象が発生しなかったときで、Case-C1（図4右上）は最も多く5年分の事例が確認された。若狭沖にある冷水域が山陰若狭冷水域で、若狭湾内の水温低下時には冷水域の前線部分が沿岸域へ張り出す構造を持っていた。Case-C2a は若狭湾の沖合に暖水が分布する特徴があり計3年発生した。能登半島北西部に分布する冷水が石川県沿岸を沿って南下し、若狭湾へ接近する特徴があった。Case-C2b は Case-C2a と同様に若狭湾の沖合で暖水が分布するが形成過程が異なっており、暖水域を取り囲むように存在する冷水が水温低下に関係していると考えられた。

沖合の冷水が実際に若狭湾湾奥まで到達しているか、調査船の観測データを用いて確認するとともに、湾奥まで冷水が到達するメカニズムについて考察した。その検討の一例として Case-C1 の事例を図5に示している。水温断面図は、沖合の冷水域中層に存在する 20℃の等温線が湾奥まで到達していることから、水温低下時の湾内底部には沖合の中層域に分布する冷水が進入していたことが確認され、図6の模式図が示すように調査船 ADCP データから低水温時に陸棚斜面域で反流が形成されていたことがわかった。

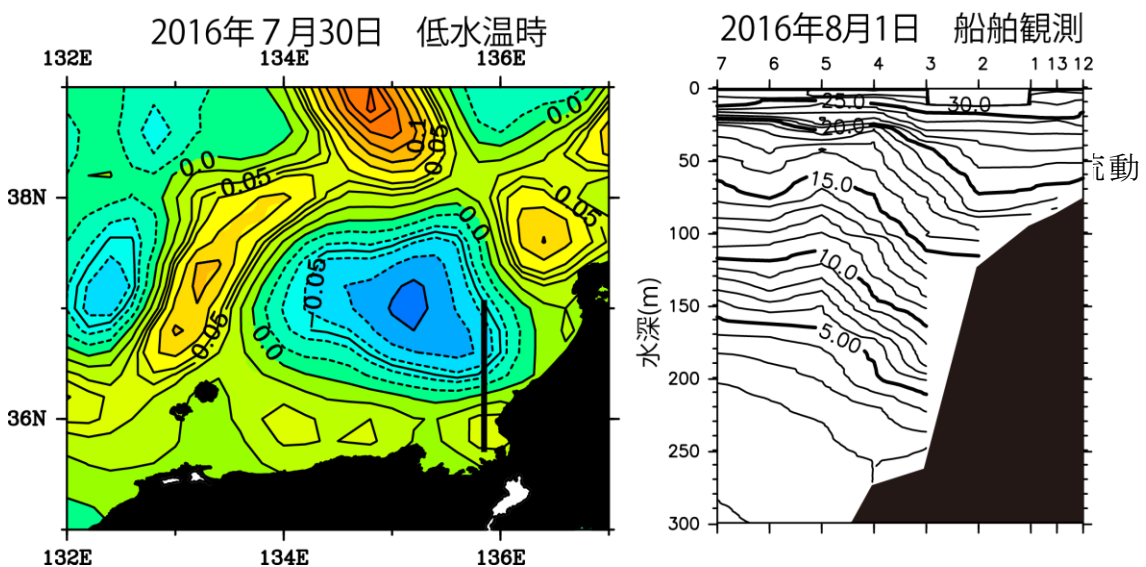


図5. 左図は水温低下時の海面高度図（2016年7月30日）。図中のHとLは暖水域と冷水域をそれぞれ示している。右図は低水温時の船舶観測の水温断面図（2016年8月1日）。

これらの分析に基づいて、若狭湾底層への冷水の進入メカニズムについて検討した。若狭湾の底層水温低下時には、沖合の冷水域の前線部が接岸し、上にも書いたように陸棚斜面域の若狭湾底層付近で反流が形成されていたことがわかったため、もともと沖合に存在した冷水が岸方向へと流れ込むメカニズムとして、反流に伴うボトムエクマン流（底部境界層における岸向きの流れ）が沖合から湾

奥方向への冷水輸送を担う一因であると考えられた（図6の模式図参照）。ただ、この海域は複雑な地形を有する場所で、別の解析から（図は省略）当海域の流れは強い非線形性の特徴を有していたこともわかったため、湾奥に冷水を運ぶ機構には若狭湾の地形の効果など他の要因も重なっている可能性がある。詳細な力学を解明するには、数値シミュレーションによる力学の研究を進める必要と考えられた。

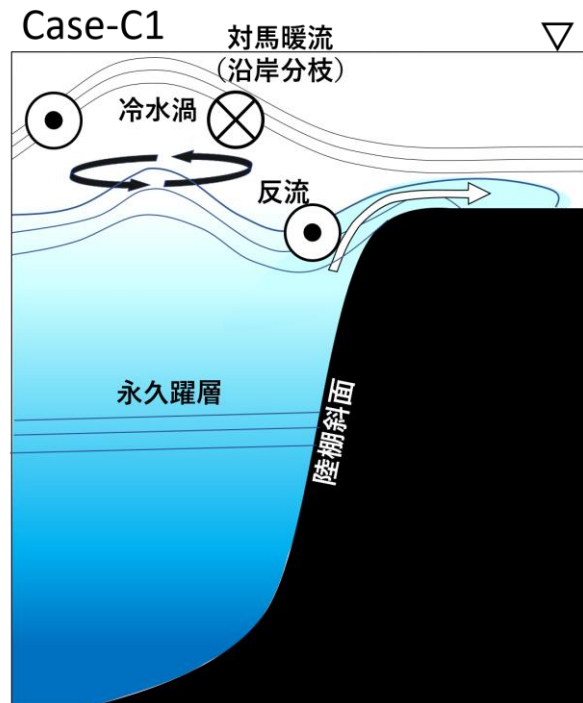


図6. 観測データに基づき作成された沖合に冷水が存在するとき (Case-C1) の流動構造の模式図

5. 成果発表

大西徹・兼田淳史・桂田慶裕・森本昭彦・井桁庸介、若狭湾における夏季の底層低温化の発生過程，日本海洋学会 2019 年度秋季大会，富山、2019 年 9 月。