

海洋短波レーダーを用いた 2016 年三河湾蒲郡市地先における 苦潮発生時の風と海面の流れの関係について

蒲原 聡・二ノ方圭介・高須雄二・湯口真実・天野禎也

(2017 年 1 月 26 日受付, 2017 年 2 月 8 日受理)

Relation between the wind and the flowing of the surface sea water during occurrence of *Niga-shio* (“bitter tide”) on the sea around the city of Gamagori in Mikawa bay using VHF radars in 2016

KAMOHARA Satoru*, NINOKATA Keisuke*, TAKASU Yuuji*,
YUGUCHI Manami*, and AMANO Yoshinari*

キーワード; 苦潮, 風, 海面の流れ, 海洋短波レーダー

夏季の三河湾底層には貧酸素水塊が発生し, 特に渥美湾東奥部は底生性魚介類にとって生息困難な環境となっている。¹⁾赤潮の多発は, 高度経済成長期を迎えた 1970 年代以降の干潟・浅場の埋め立ての増加と時期を同じくしており, 赤潮を構成する植物プランクトンが海底に沈降して分解される過程で酸素を消費することにより発生する貧酸素水塊の発達も同時に進行した。²⁾1979 年に水質総量規制が導入され流入負荷が削減されているにもかかわらず, 貧酸素水塊分布面積の推移は横ばいもしくは微増傾向にある。³⁾三河湾では夏季に, 水温が高く塩分の低い密度の小さい上層と水温が低く塩分の高い密度の大きい下層の二層に成層化して, 下層では貧酸素水塊が形成されやすい状況になっている。⁴⁾このため, 一般的には秋季の上下層混合期に, 北西の季節風がきっかけとなって下層の貧酸素水塊が海面に湧昇して苦潮になることが多い。しかし, 降雨が少なく上層の塩分が高いことで密度成層が堅固でなかったり, 台風や低気圧による強風が吹いたりすると, 夏季であっても成層が崩れ, 下層の貧酸素水塊が苦潮として湧昇する。2016 年はこのような気象条件が揃った年であり,⁵⁾14 件苦潮が発生し, クロダイ, ボラ, アサリ, ハマグリなどの水産生物に被害を与えた。過去 10 年間の平均苦潮発生件数が, 5.5 件であったことからすると, その多さが際立っていた。この 14 件について, 発生範囲から原因となる貧酸素水塊の所在を推定したところ, 湾中央の貧酸素水塊が原因で発生した苦潮が 3 件 (六条潟 2 件, 白谷地先 1 件), 河口域や漁港前面において小規模に発生した苦潮が 3 件 (蒲郡市地

先 2 件, 六条潟 1 件), 航路・泊地から発生した苦潮が 8 件 (蒲郡市地先 7 件, 汐川干潟 1 件) であった。このように, 航路・泊地から発生した苦潮は全体の約 6 割を占めた。航路・泊地は, 浚渫窪地など局所的な環境悪化に伴う生態系機能低下水域であるデッドゾーンを形成する地形の 1 つであり,⁶⁾環境改善が課題となっている。水深が深く上下層混合が起きにくい地形であるにもかかわらず苦潮の発生件数が多いことから, 発生機構の解明が求められる。しかし, 苦潮発生時は, 風が強くと船舶による観測が困難である場合が多い。そこで, 海面の流れを広く観測することが可能な海洋短波レーダーを用いて,⁷⁾蒲郡市地先の航路・泊地から発生し, 発生範囲が特定できた 6 件 (7 件のうち 1 件は夜間に発生後解消) の苦潮について, その原因となる風向・風速と海面の流向・流速から調べた。

材料及び方法

苦潮の発生が確認されると, 図 1 に示す愛知県水産試験場の屋上もしくは, 三谷町の高台 (弘法山) から, 目視により乳白色の範囲を確認して図面に落とした。その海水が貧酸素水塊の湧昇であることを確認するために, 海岸沿い及び海上で多項目水質計 (JFE アレック, AAQ1182s-H) を用いて海面の溶存酸素濃度 (DO) を測定した。風のデータを用いた海況自動観測ブイの位置及び海域において貧酸素水塊の有無の確認のために水温, 塩分, 底層 DO を多項目水質計で測定した測点を図 1 に示した。水質は, 4 月 14 日, 5 月 13 日, 6 月 1 日, 6 月

* 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Wakamiya 97, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

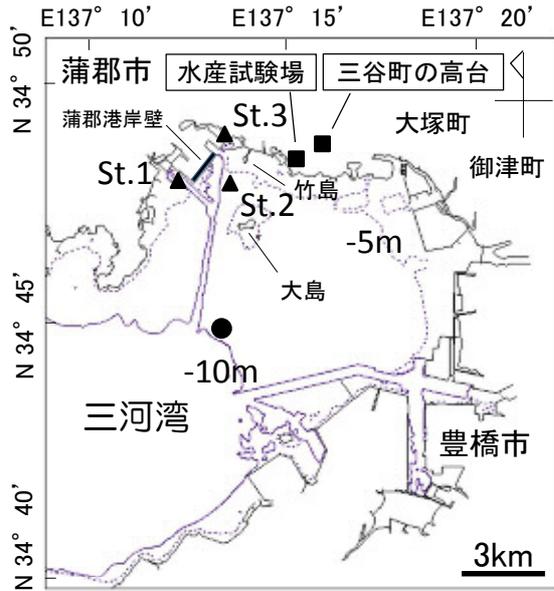


図1 三河湾東部における海況自動観測ブイの位置(●)及び水質調査測点(▲)

17日, 7月8日, 8月2日, 8月10日, 9月1日, 10月4日, 11月1日に測定した。海面の流れは, 国土交通省中部地方整備局において, 三河湾沿岸の豊橋市新西浜町(御津局), 田原市野田町(馬草局)及び小中山町(立馬崎局)に設置された3局から短波帯の電波を用いて測定されている。⁷⁾データは測点毎にベクトルのx, y値で保管されており, これらからベクトルの角度を風向に, 長さを風速として算出した。苦潮の発生範囲を緯度経度に落とし, その発生範囲内の短波レーダーの測点における海面の流れを, 苦潮発生の前後, 風の吹き始めから収束までの期間について集計し解析に用いた。なお, ブイの風データは, 毎正時10分前から0.5秒間隔で取得した1,200個の風向・風速データをベクトル平均して, 平均風向値, 平均風速値としていた。また, 短波レーダーのデータは, 毎正時の瞬間値であった。

結 果

発生日毎の苦潮の範囲及び海表面のDO(%)を図2に示した。5月27日は16.8km²と沖合の大島を超える範囲まで, 8月30日は27.9km²と更に対岸の御津町地先まで広がる大きな規模で発生した。

航路・泊地沖のSt.2における上下層の密度差及び航路・泊地の底層(海底上1m)DOの状況を図3に示した。航路・泊地のDO30%以下の貧酸素水塊は, 6月1日, 8月2日, 10月4日のSt.1及びSt.3の両測点, 7月8日のSt.3のように, 密度差が大きくなり成層化した後に発生していた。また, 苦潮が発生した後の6月1日~17日, 8月10日~9月1日(8月22日, 30日にも苦潮発生)及び

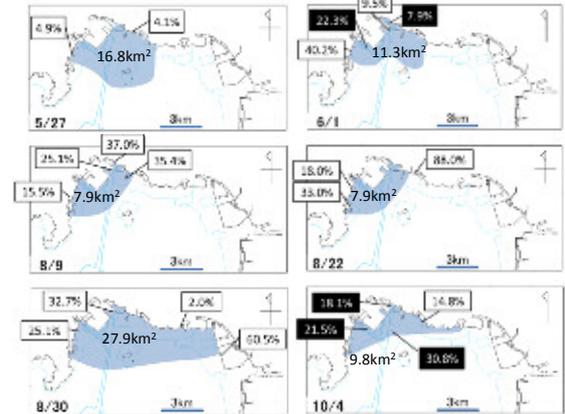


図2 2016年の蒲郡市地先の航路・泊地から発生した苦潮の範囲及び表層DO(%) (黒字: 陸上観測, 白字: 海上観測)

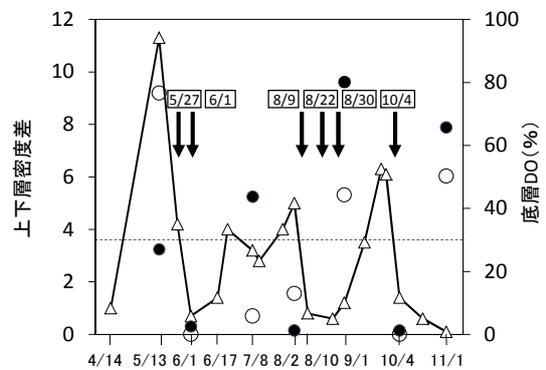


図3 2016年の航路・泊地沖の上下層密度差(△: St.2)及び航路・泊地の底層DO(●: St.1, ○: St.3)の推移
矢印は苦潮発生日を, 破線は貧酸素水塊の基準とした底層DO30%を示す。

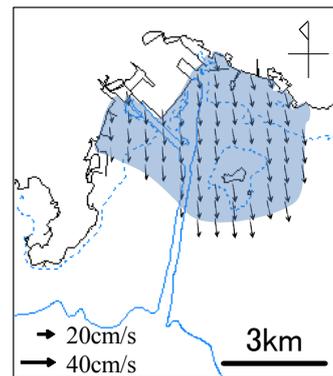


図4 2016年5月27日の苦潮発生範囲における11時の流向・流速ベクトル

10月4日~11月1日は, 貧酸素水塊の湧昇に伴い海水の上下混合が起きたことから密度差は小さくなった。

苦潮の発生範囲に占める短波レーダーの測点数は, 5月27日が69点, 6月1日が39点, 8月9日が27点, 8月22日が27点, 8月30日が85点, 10月4日が30点で

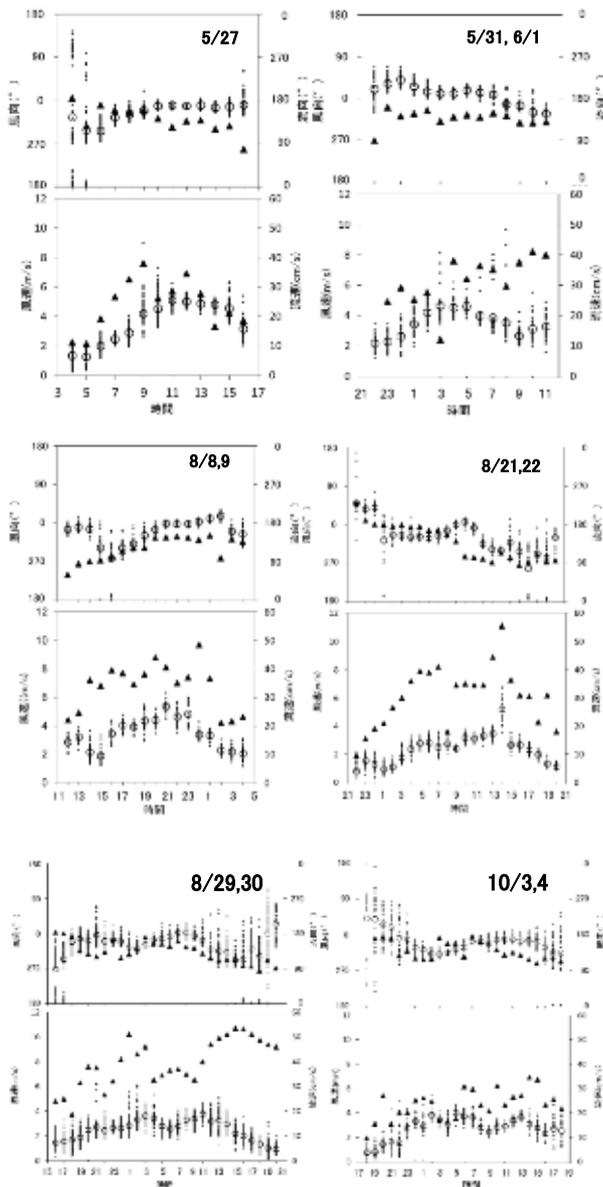


図5 2016年の蒲郡市地先の航路・泊地における苦潮時の風向及び流向(上段)、風速及び流速(下段)

風(▲)、海面の流れ(・:測点毎, ○:全測点平均)。

あった。5月27日の苦潮発生範囲において、平均流速が25.4 cm/sとこの日最大となった11時の流向・流速ベクトルを図4に示した。流速20.6~31.1 cm/sの南南東~南の流れが発生していた。図5に風向と発生範囲の全測点及び平均の流向、風速と発生範囲の全測点及び平均の流速の対比をグラフ化した。

5月27日は6時から3.8 m/sの北の風が吹き始め、9時には北北西の風が7.6 m/sとこの日最大となった。それに伴い流速も早くなり、8時から13時にかけて14.3~25.4 cm/sの南南東~南の流れが生じて、13時に苦潮を確認した(図2)。

5月31日は23時から4.9 m/sの北北西の風が吹き始め、

6月1日4時には7.6 m/sの北西の風が吹いた。それに伴い3時から6時にかけて19.9~23.1 cm/sの南~南南西の流れが生じて、9時に苦潮を確認した(図2)。

8月8日は14時から7.2 m/sの西の風が吹き始め、9日0時には9.7 m/sの北西の風が吹いた。それに伴い8日21時から9日1時にかけて16.5~26.8 cm/sの南の流れが生じて、9時に苦潮を確認した(図2)。

8月21日は23時から3.1 m/sの北の風が吹き始め、22日8時には8.2 m/sの北北西の風が吹いた。それに伴い5時から11時にかけて12.1~15.9 cm/sの南南東~南の流れが生じて、13時に苦潮を確認した(図2)。

8月29日は19時から6.3 m/sの北西の風が吹き始め、30日1時には10.2 m/sの北西の風が吹いた。それに伴い29日23時から30日9時にかけて12.8~18.1 cm/sの南東~南の流れが生じて、9時に苦潮を確認した(図2)。

10月3日の22時から4.0 m/sの西北西の風が吹き始め、4日1時には5.2 m/sの西北西の風が吹いた。一旦弱くなったが、6時には再び6.1 m/sの北西の風が吹いた。それに伴い1時から8時にかけて13.7~19.9 cm/sの南東~南南東の流れが生じ、9時に苦潮を確認した(図2)。

考 察

6件の苦潮発生時の風及び海面の流れの状況、苦潮発生前の上下層密度差及び気象を表に示した。吹き始めから最大風速までの時間は3~10時間、最大風速は5.2~10.2 m/sであった。風向は西から北の間で始まり、強くなるに従って北西から北北西の間に収束した。苦潮発生前に1方向(16方位)に1方位以内のばらつき(標準偏差:±11.25°)で連続した流れは1~4時間続き、流向は南東から南南西であった。また、風向が変化する時間を含めた1方向に連続した風群の合計は3~10時間であった。平均流速は13.2~24.3 cm/sであったが、8月22

表 2016年の蒲郡市地先の航路・泊地から発生した苦潮時の風及び海面の流れの状況、苦潮発生前の上下層密度差及び気象

月日	吹き始めから最大風速までの状態			苦潮発生前に流れが一方向となった状態 ^{*1}			St.2における苦潮前の上下層密度差	気象	
	時間	風向(開始~最大)	最大風速(m/s)	連続時間 ^{*2}	1方向連続時間	流向			平均流速(cm/s)
5月27日	3	北-北北西	7.6	5	1	南南東	17.6	4.2 (5月24日)	日本南岸に低気圧、本州を前線通過
				3	3	南	24.3		
6月1日	5	北北西-北西	7.6	3	1	南	22.9	-	北日本を低気圧通過
				1	1	南南西	21.5		
8月9日	10	西-北西	9.7	4	4	南	21.5	5.0 (8月2日)	台風第5号 関東から東北沖を通過
8月22日	9	北-北北西	8.2	6	3	南南東	13.6	0.8 (8月10日)	台風第9号 千葉県館山市付近上陸
				2	2	南	14.5		
8月30日	6	北西-北北西	10.2	10	1	南南東	13.2	0.6 (8月25日)	台風第10号 岩手県大船渡市付近上陸
				2	1	南東	18.9		
				3	2	南南東	16.4		
10月4日	8	西北西-北西	5.2	7	4	南東	17.1	6.1 (9月26日)	千島近海で低気圧発達
				2	2	南南東	16.8		

*1 苦潮範囲の全測定点において、流向の標準偏差が±11.25°未満(16方位幅)となる時間帯を抽出。

*2 流向が変化する時間帯を含む。

日及び30日は13.6~14.5 cm/s及び13.2~18.9 cm/sと比較的遅かった。これは、St.2の上下層密度差が0.8及び0.6と他の苦潮発生前の値である4.2~6.1より小さく、成層が緩く海水の上下混合が起きやすかったため、比較的遅い流れでも底層水が湧昇したと推測された。ただし、St.1及びSt.2において貧酸素水塊が発生している状態で、西から北の間で吹き始めた風が風速を増して北西から北北西の間に収束したケースは他になかったため、底層水を湧昇させる1方向の連続した流速やそれを生じさせる風速の最低値は不明であった。以上のことから、北西から北北西の間の風が、蒲郡港岸壁の陸側から海の方に一定以上の力で吹くと、岸壁前面の海面の海水が沖に押し出される。そして、それを補うように航路・泊地の貧酸素化した底層水が、岸壁に沿って湧昇して沖に流れ出ると考えられた。なお、各苦潮発生日の気象条件は、低気圧の通過、台風の通過又は上陸に起因する風の影響であった。

風速の増加過程における最大風速時の風向とその時の流向は、5月27日9時、8月22日7時及び30日1時では、北北西→南南東、北北西→南南東及び北西→南東と同方向であったが、6月1日4時、8月9日20時及び10月4日6時では、北西→南、北西→南南東及び北西→南南東と流向は風向から1、2方位時計回りにずれていた。これは、地形や潮流などによりずれが生じたものと推測された。

蒲郡港の航路・泊地は船舶運航上の必要性から、水深10 m以上と三河湾の平均水深9.2m⁸⁾より深く窪地と同様な形状であるため、一般海域より成層化しやすく、堆積物の急速な酸素消費により水深の浅い三河湾中央部に先んじて底層の貧酸素化が進行し、長期に持続するとされている。⁹⁾また、航路・泊地はまとまった容積があることから、酸素消費物質となる有機物の蓄積量が多いことも特徴となっている。¹⁰⁾貧酸素水塊には無酸素下で底泥から溶出した硫化水素が含まれるため、¹¹⁾それが湧昇すると、酸素欠乏と急性毒性で魚介類に与える影響は大きい。8月9日や30日は、アサリやハマグリがへい死するなど、航路・泊地周辺の干潟・浅場に生息する貝類に影響が出た。また、5月27日にはクロダイやボラがへい死するなど、移動能力の高い魚類への被害も起きた。さらに、湾奥の干潟には、イシガレイやクルマエビなどの仔稚魚、稚エビが生息し、航路・泊地周辺の浅場はこれら若齢期の生息場であるとともに沖合へ向かう生態的回廊であることから(曾根ら未発表)、水産資源への影響は計り知れない。

今後、データの蓄積により、成層を崩す海面の流れを

発生させる風を算定することにより、苦潮発生の危険性を予測できる可能性がある。ここでは、風の影響により、航路・泊地の岸壁から沖に表層水が流れ出る過程で、下層の貧酸素水塊を湧昇させる機構の一部が明らかとなったが、湾奥に発生する貧酸素水塊をも引き込んで苦潮となっているか否かは今後の課題である。

要 約

蒲郡市地先の航路・泊地における苦潮発生機構を、海況自動観測ブイの風及び海洋短波レーダーの海面の流れの観測値を用いて解析した。2016年夏季の苦潮発生に至る物理的過程をまとめると、

- (1) 航路・泊地が成層化して底層に貧酸素水塊が発生する。
 - (2) 北西から北北西に収束する最大風速5.2~10.2 m/sの風が3~10時間吹く。
 - (3) 風の吹き始めから2~7時間後に、南東から南南西の間の方向に平均流速13.2~24.3 cm/sの流れが3~10時間続く。
- となった。

謝 辞

国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所の皆様には、海洋短波レーダーの利用にご協力いただいた。漁業取締・水質調査兼用船へいわの乗組員には水質観測にご協力いただいた。ここに、感謝の意を表する。

文 献

- 1) 曾根亮太・蒲原 聡・山田 智・二ノ方圭介(2012) 2012年夏季の三河湾における貧酸素水塊に対する底生性魚介類の分布及び1986年調査結果との比較. 愛知水試研報, 18, 21-32.
- 2) Suzuki, T (2001) Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem, *J. Environ. Qual.*, Vol.30 Iss.2, 291-302.
- 3) 曾根亮太・蒲原 聡・鈴木輝明(2016) 内湾環境の現状とより豊かな海とするための課題—海から見た下水道整備のあり方—. 月刊下水道, 7, 22-28.
- 4) 西條八東(1987) 第13章 伊勢湾・三河湾 III化学(日本海洋学会編) 日本全国沿岸海洋誌, 東京, 528-529.
- 5) 愛知県水産試験場水試ニュース(2016) 482号, <http://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/221625.pdf>, (2016年12月13日).
- 6) 和久光靖・金子健司・鈴木輝明・高倍昭洋(2012) 沿岸域におけるデッドゾーンの分布 三河湾の事例.

水産海洋研究, 76(4), 187-196.

- 7) 伊勢湾海洋短波レーダー 伊勢湾環境データベース,
<http://www.isewan-db.go.jp/radar/>,(2016年12月6日).
- 8) 西條八束 (1984) 内湾の富栄養化. 内湾の環境科学,
培風館, 東京, 1-37.
- 9) 和久光靖・本田是人・向井良吉 (2010) 三河湾生物
回復調査. 平成 21 年度愛知県水産試験場業務報告, 114.
- 10) 和久光靖・畑 恭子・金子健司・鈴木輝明・高倍昭
洋 (2013) 極沿岸域のデッドゾーン化が内湾の物質循
環に及ぼす影響とその改善対策—三河湾における生態
系モデルによる解析—. 海洋理工学会誌, 19(1), 15-27.
- 11) 鵜寄直文・甲斐正信 (2001) 三河湾にける苦潮発生
時の海洋構造と硫化水素及び硫黄粒子の鉛直分布. 愛
知水試研報, 8, 7-13.