

長面浦における養殖カキ斃死時の環境*¹ —2004年10月を例にして—

五十嵐輝夫*²

Environmental conditions relevant to mass mortality of cultured oyster in Nagazura-ura inlet,
Miyagi Prefecture — A case study at October 2004 —

Teruo IGARASHI *²

キーワード：長面浦・養殖カキ・斃死環境・塩分躍層

宮城県北東部に位置する石巻市の長面浦（旧桃生郡河北町の長面浦）は長さ約2 km、幅1.4 km、面積1.37 km²、周囲7 kmほどの汽水域である（図—1）。浦内の水深は、追波湾と長面浦を繋ぐ狭水路の浦口と浦中部までは、海水交換を図るため人工的に掘削した水深3 mの滞があり、さらに、奥部に向かうと深くなって最大水深は約10 m、奥部に片寄ったすり鉢状の地形をしている。また、長面浦は水深が最大で2 m、長さ1.7 kmほどの狭水路で追波湾と繋がっており、追波湾に接する狭水路口の1.8 km北側には、流路延長で東北第1位、日本で第5位の一級河川である北上川（追波川）の河口がある。

長面浦ではこの汽水域と平穏な浦域、水深を活用して、古くから浦奥部を中心にカキ養殖が行われ、特に、当地特産の一年子カキ生産（本垂下したその年のカキむきシーズン中に出荷する）が行われている。しかし、当地の河北町漁業協同組合のカキ生産水揚げ統計によると、閉鎖的で浦奥が深いという地形のためか、5年に1回ほどの割合で極端に水揚げ量が低下する年がある。そのような年にはカキの斃死を伴うことが多く、極度の貧酸素水の発生が確認されている¹⁾。また、過去の漁場環境調査でも、1979年当時から最深部である水深10 mほどの底層部では、6～11月の間、溶存酸素量が0 mg/lという値が観測されている²⁾。

このような状況の中、2004年10月18日に、同組合から、長面浦の養殖カキが大量に斃死しているとの連絡があ

り、直ちにカキ斃死状況と水質調査を行った。その結果、斃死時の環境条件についていくつかの知見が得られたので報告する。

調査方法

1回目の調査は連絡を受けた翌日の10月19日に実施した。水質調査は斃死状況調査点の9点を含む11点とした（図—1）。

2回目調査は、1回目調査の翌日に調査点近傍の仙台管区気象台雄勝観測所で日間80 mmの降雨がみられたことから、天候が回復した10月22日（1回目調査の3日後）に行った。水質調査地点は、図—2に示すSt. 1～14までの長面浦正中線を含む23点とした。この調査日の選定と調査地点の配置は、北上川からの大量出水時に追波湾側から低塩分水が長面浦に繋がる狭水路、長面浦口、滞筋を経て浦奥の青木崎に向け流入するという同組合長の経験談をもとにした。なお、水温、塩分の測定はアレック電子株式会社製ATS500-PKで行った。

斃死時期や調査時期前後の調査点周辺域の気象状況については、宮城県農業気象速報、北上川の流量に関連した北上大堰メインゲートなどの開門状況については、北上川下流河川事務所のホームページより情報を収集した。

*¹本研究の概要は平成17年度日本水産学会東北・北海道合同支部大会において発表した。

*²水産研究開発センター

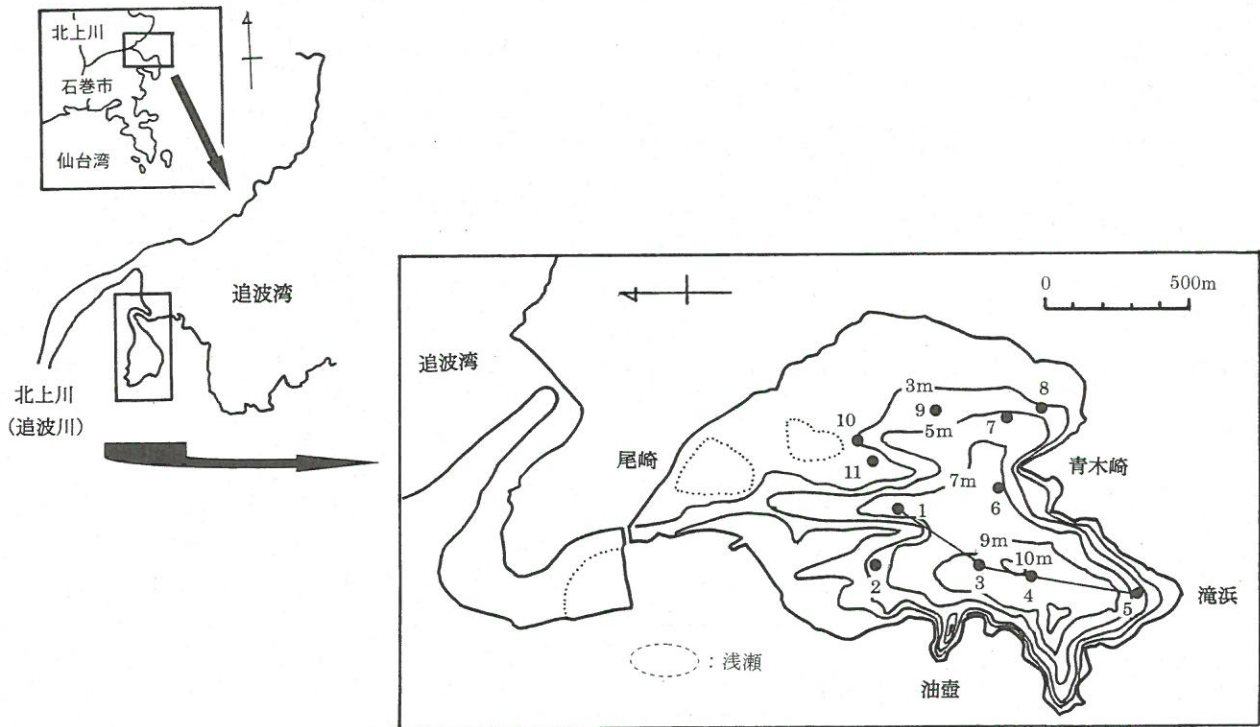


図-1 長面浦の水質調査およびカキ斃死状況調査地点 (2004年10月19日)
 *水深図は石巻専修大学理工学部高崎研究室、(株)ヤマニシ (2002年) から作成した。

調査結果

1 回目

1) カキ斃死状況

図-1 の内、カキの斃死状況を調べた地点は、St. 10と St. 11を除く St. 1~9の9地点で、調査したカキ筏のすべてで斃死が見られた(表-1)。カキは表層から5mまで垂下されているが、最も斃死のひどい地点 (St. 5、7~9) では表層から底層までの全層で、全数斃死という状況であり、最も斃死の少ない地点 (St. 1) でも、表層から約2.5mまでの間で約5割以上、それより下層ではほとんど全数が斃死という状況であった。斃死は調査時点でも進行中とみられたが、特に底層部ではカキの軟体部が貝殻から抜け落ちていたことや、カキ養殖用の垂下ロー

プを上げ下げする時に軟体部が抜け落ちたりしたことなどから、斃死してからの日数がかかなり経過していたことに加え、底層部から斃死が起きていたことが示唆された。同組合の「長面浦に於けるかき養殖生育及び酸欠死顛末」³⁾によれば、斃死は10月8日頃から見られ始めたことあり、調査の10日程前から斃死が起きていたことになる。

2) 水質調査結果

水温: 0 m層の水温は17.4~18.2℃ で大きな差は見られなかったが、St. 4、6、8の浦奥部で若干高めであった(図-3)。各地点、0.5m層毎の層別水温を表-2に示した。底層の水温は、St.10の3m深で19.9℃、St.4の9.5m深で16.8℃ と水深が深いほど低かった。したがって、調査点全体の底層水温を見ると、浦奥部に位置する St. 3、4を中心に低く、その周辺で高くなっていた。

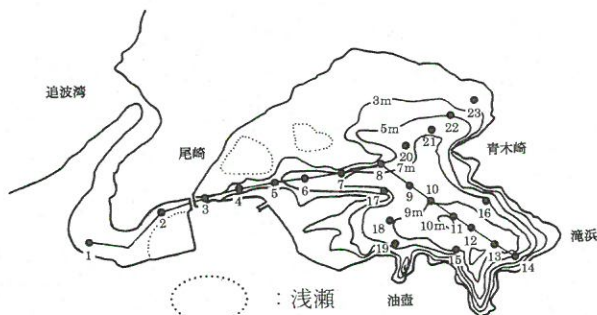


図-2 長面浦の水質調査地点 (2004年10月22日調査)

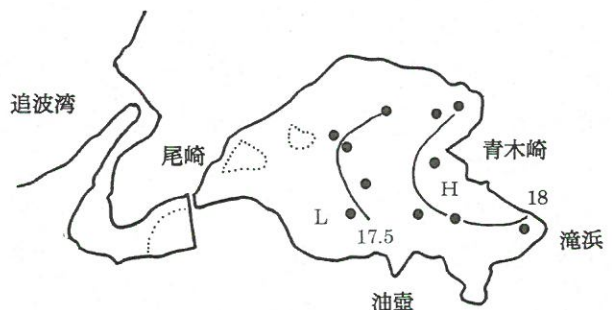


図-3 0 m層における水温 (℃) の分布 (2004年10月19日調査)

表-1 長面浦の水質調査結果とカキの斃死状況

水深 St. (m)	水温 °C	塩分	溶存酸素量 mg/l	酸素飽和度 %	COD mg/l	リン酸態リン μg/l	アンモニア態窒素 μg/l	亜硝酸態窒素 μg/l	硝酸態窒素 μg/l	平成16年10月19日調査 カキの斃死状況
1	0 17.7 23.0 2.5 18.8 30.7 5 19.2 32.4 6 18.9 32.8	10.5 6.4 3.4 1.8	122.7 80.0 45.3 23.3	1.28 0.80 0.48 0.64	11 30 84 132	12 64 218 349	10 30 56 31	5 73 27 16	・上部(1尋半まで)生残有。5割以上死) ・底層はほぼ全数斃死 ・垂下連は5m。最上部は水面下50cm	
2	0 17.4 23.3 2.5 18.9 30.9 5 20.0 32.8 7.5 18.9 33.1								・最上部の1株が生残 ・中・底層は全数斃死	
3	0 17.6 23.3 2.5 18.9 30.5 5 19.0 32.2 8.5 17.8 33.2	10.7 6.6 3.5 0	124.5 82.2 44.3 0	1.44 0.72 0.46 4.16	15 31 96 510	15 34 183 1792	11 28 55 9	12 79 27 <1	・上から3株までは約5割の生残 ・その下はほぼ全数斃死	
4	0 18.0 23.8 2.5 18.7 30.7 5 18.7 32.1 7.5 18.5 33.0 9 17.2 33.0	10.7 5.8 5.2 0.3 0	126.3 71.9 65.0 3.7 0	1.38 0.40 0.24 1.92 12.64	14 40 63 336 816	9 86 125 904 2884	11 35 35 7 27	15 62 33 1 <1	・上から3株まで生残有 ・その下はほぼ全数斃死 ・近くの筏。最上部のみ生残有 ・その下はほぼ全数斃死 ・表層から底層まで全数斃死	
5	0 17.9 23.7 2.5 20.3 31.3 5 19.6 32.5 6.5 19.1 32.9									・表層から底層まで全数斃死
6	0 18.2 23.9 2.5 18.6 30.7 5 19.0 32.5 7 18.7 32.9	10.8 6.4 4.1 2.1	127.8 79.4 51.3 26.1	1.52 0.35 0.40 0.80	13 42 94 185	47 68 182 408	12 30 48 16	25 52 27 9	・上から3株までは約5割の生残 ・その下は全滅	
7	0 17.9 23.3 2.5 18.9 30.6 5 18.9 32.4 6.5 18.8 32.8									・表層から底層まで全数斃死
8	0 18.1 23.8 2.5 19.4 31.2 5 19.4 32.6	11.5 6.3 4.3	135.9 78.8 54.6	1.60 0.64 0.64	26 44 77	4 71 150	11 31 50	3 63 40	・表層から底層まで全数斃死	
9	0 17.5 23.0 2.5 19.1 30.9 4.5 19.3 32.3	11.0 5.7 3.4	127.8 71.6 43.7	1.28 0.64 0.48	19 46 103	10 93 204	13 34 51	28 60 29	・表層から底層まで全数斃死	
10	0 17.5 23.5 2.5 19.7 30.8 3 19.9 31.2									(筏のない場所)
11	0 17.5 23.3 2.5 19.2 30.9 3.5 19.4 32.0	11.5 6.3 4.3	133.3 78.8 54.6	1.44 0.64 0.64	19 44 77	4 71 150	12 31 50	14 63 40	(筏のない場所)	

表-2 各地点、層別の水温(°C)

水深/St.	2004年10月19日調査										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0 m	17.7	17.4	17.6	18.0	17.9	18.2	17.9	18.1	17.5	17.5	17.5
0.5	17.7	17.4	17.6	18.1	18.2	18.4	18.0	18.2	17.7	17.6	17.6
1	18.6	18.2	19.0	19.4	18.9	18.9	19.0	18.9	18.7	18.2	18.4
1.5	18.6	18.7	18.7	18.5	19.8	18.7	19.0	19.2	18.9	18.8	18.6
2	18.8	18.6	18.9	18.4	19.9	18.5	19.1	19.2	19.0	18.9	18.7
2.5	18.8	18.9	18.9	18.7	20.3	18.6	18.9	19.4	19.1	19.7	19.2
3	18.9	19.1	19.1	18.9	20.3	19.0	18.7	19.7	19.2	19.9	19.3
3.5	19.0	19.3	19.3	19.1	20.2	19.0	18.8	19.7	19.0		19.4
4	19.3	19.4	19.4	19.2	20.2	19.0	18.9	19.7	19.1		
4.5	19.3	19.5	19.1	19.1	19.9	18.9	18.9	19.3	19.3		
5	19.2	20.0	19.0	18.7	19.6	19.0	18.9	19.4	19.2		
5.5	19.1	20.1	19.0	18.6	19.3	19.0	18.9				
6	18.9	19.7	19.1	18.6	19.3	18.9	18.9				
6.5	18.8	19.4	18.9	18.9	19.1	18.7	18.8				
7		19.2	18.7	18.6		18.7					
7.5		18.9	18.7	18.5		18.6					
8			18.3	18.3							
8.5			17.8	17.7							
9			17.3	17.2							
9.5				16.8							

各地点の水温を表底層の差で見ると、St. 3、4のような水深の深い地点では、底層に比べ表層が高いのに対し、他の地点では表層で低かった。また、層別の水温比較では、St. 10、11のような水深の浅い地点を除くと、その他の地点では、中層で最も水温が高かった。一般に、夏季の水温鉛直分布では表層部の水温が他の層と比べて極端に高いが、今回の調査時においては、10月中旬の後半から下旬の前半ということもあり、外気温の影響等で表層部の水温低下が見られており、前述のように水深の深いSt. 3~4、St. 10~11を除いた地点の表底層の水温差は0.4~2.4°C、中層の最高水温と表層の水温差でも0.8~2.7°Cといずれも表層水温が低く、その水温差もさほど大きくなかった。近隣の志津川湾における月別水質調査結果⁴⁾をみると、例年、9月下旬頃から表底層間の水温

差がなくなり、鉛直混合が起きやすい時期となる。したがって、水温の鉛直分布をみる限りでは、夏季の水温差の大きい時期は過ぎ、比較的、鉛直混合の起きやすい時期にあったといえる。

さらに、図-1に示すようにSt. 1、3、4、5の線を結んで、浦央部から浦奥にかけて水温の正中線鉛直分布を見ると(図-4)、表中層とも浦奥部のSt. 5の水温が高く、同地点の2.5m、3.0m層の20.3°Cが最高水温で

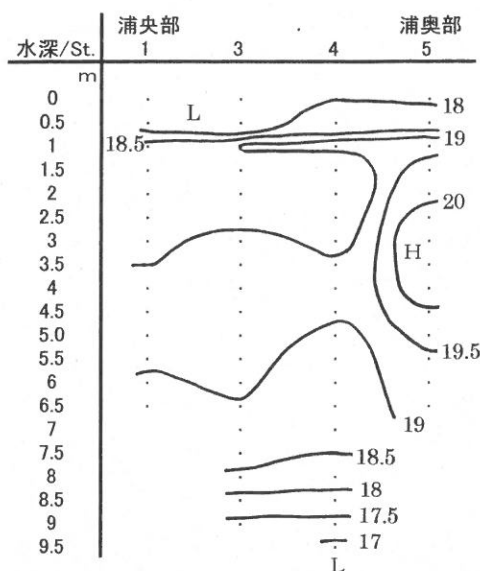


図-4 長面浦正中線における水温(°C)の鉛直分布(2004年10月19日調査)

あった。また、St. 3、4の深層部を除いて、St. 5の浦奥部からSt. 1の浦中央部に向け、水温が順次低下している様子が伺えた。

塩分：各地点0.5m層毎の層別塩分を表一3に示した。0m層の塩分濃度は浦中央部から浦奥部にかけて23.0~23.9とほぼ均一であった。さらに、底層の塩分は、31.2~33.2であったが、水深の深い地点ほど高かった。

表一3 各地点、層別の塩分

		2004年10月19日調査										
水深/St.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0 m		23.0	23.3	23.3	23.8	23.7	23.9	23.3	23.8	23.0	23.5	23.3
0.5		24.4	24.0	23.3	24.5	25.7	25.2	24.1	24.0	23.9	24.2	24.1
1		26.6	27.1	27.3	27.3	27.9	27.2	26.7	27.4	26.8	27.2	26.9
1.5		28.9	29.1	28.7	28.3	29.5	29.0	28.4	28.9	28.3	28.4	28.5
2		29.7	29.9	29.4	29.4	30.6	29.9	29.7	29.9	29.9	30.2	29.8
2.5		30.7	30.9	30.5	30.7	31.3	30.7	30.6	31.2	30.9	30.8	30.9
3		31.3	31.2	31.4	31.2	31.6	31.4	31.3	31.5	31.4	31.2	31.4
3.5		31.8	31.8	31.9	31.6	32.0	31.4	31.6	31.8	31.5	31.4	32.0
4		32.1	32.0	32.0	31.8	32.3	31.8	31.9	32.0	32.1		
4.5		32.2	32.4	32.1	32.0	32.4	32.1	32.2	32.3	32.3		
5		32.4	32.8	32.2	32.1	32.5	32.5	32.4	32.6	32.4		
5.5		32.7	32.9	32.6	32.6	32.6	32.6	32.5				
6		32.8	32.9	32.6	32.6	32.9	32.6	32.8				
6.5		32.8	33.0	32.7	32.9	32.9	32.7	32.8				
7			33.0	33.0	32.9	32.9						
7.5			33.1	33.1	33.0	33.0						
8				33.0	33.1							
8.5				33.2	33.0							
9				30.0	33.0							
9.5					33.2							

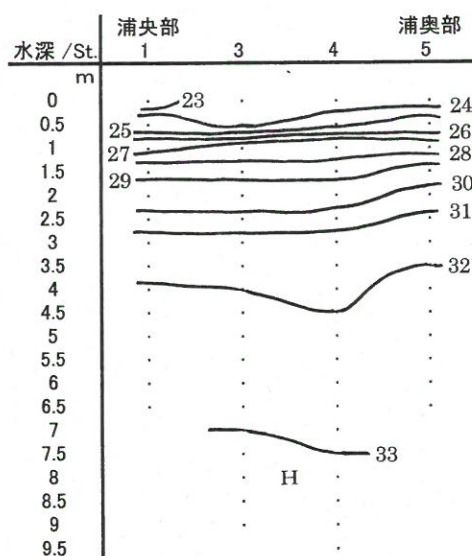
図一5に示したSt. 1、3、4、5ラインの浦中央部から浦奥部にかけての塩分の正中線鉛直分布は、各地点とも0.5~1.0m層の間で2.0~4.0、1.0~1.5m層の間で1.4~2.3の塩分差があった。表底層の塩分差が10近くあったことから、0.5~1.5m層間に顕著な塩分躍層が形成されていたことになる。

密度 (σ_t)：同様に水温、塩分から求めた密度 (σ_t) の鉛直分布を図一6に示した。図一4の水温鉛直分布、図一5の塩分鉛直分布と比較すると、後者に近似し、今回の密度 (σ_t) には塩分が大きく効いていることが分かる。

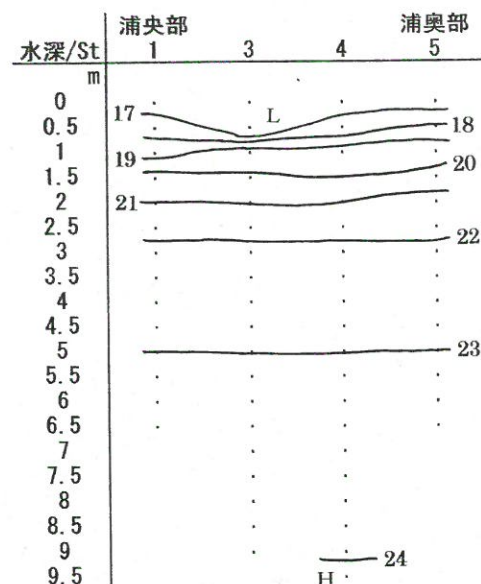
溶存酸素：表一1に示した水質調査結果の内、底層の溶存酸素量は、水深の深い浦奥のSt. 3、4などの地点で、0mg/l、酸素飽和度も0%であり、水深の浅いSt. 9やSt. 11などの浦中央部の地点では、酸素飽和度が50%前後であった。溶存酸素量を垂直的に見ると、最も水深の深いSt. 4では底層の9.0m層で溶存酸素量が0mg/l、酸素飽和度も0%、7.5m層で同様に0.3mg/l、3.7%、5m層で5.2mg/l、65%であった。同様に、St. 3でも観測層が浅くなるに従って溶存酸素および酸素飽和度が高くなったが、5m層でも3.5mg/l、44%しかなく、明らかな貧酸素の状態であった。

カキを垂下している調査点の最深層に当たる5m層では、溶存酸素量では3.4~5.2mg/l、酸素飽和度に換算すると約50%程度(43.7~65.0%)であった。水産用水基準⁵⁾では、貝類に生理的変化を引き起こす溶存酸素量の臨界濃度として3.6mg/lという基準を設けていることから、今回の結果は、臨界濃度に近い値であったといえる。また、特に溶存酸素量が0mg/lの地点の底層水を採水した時には、硫化水素臭がした。カキは低酸素に対する耐性が強いとされるが、一般に海生生物は貧酸素と硫化水素との複合作用で斃死が促進される^{6,7)}。さらに、下層部のカキ斃死割合は表層部より高いこと、斃死してからの日数がかかり経過していたと想定される事象も見られていたことから、今回調査より前の段階で、今回より低い溶存酸素量の出現や硫化水素の発生などがあり、斃死を引き起こした可能性が考えられた。

その他の水質調査項目：酸素飽和量が0mg/lであったSt. 3、4の底層では有機物の汚れの指標であるCOD



図一5 長面浦正中線における塩分の鉛直分布 (2004年10月19日調査)



図一6 長面浦正中線における密度 (σ_t) の鉛直分布 (2004年10月19日調査)

がそれぞれ4.16、12.64mg/l、また、リン酸態リン、アンモニア態窒素の数値も極端に高く、底層の水は強い還元状態にあったことが伺えた(表-1)。

なお、調査時間は午前10~12時であったが、当日の宮城県鮎川港における予測潮位は最満潮が7時58分に平均海面プラス31cm、最干潮が同11時45分にプラス18cmで潮位差が僅かであったことに加え、経験的に長面浦の干潮・満潮は鮎川港より2時間程遅れるといわれていることから、調査時間帯における潮汐の動きは少なかったものと判断された。

2 回目

河北町漁業協同組合によれば、北上川の増水と共に9月22日には、かつてない量の濁水が長面浦に流れ込んだ³⁾とのことである。1回目調査翌日の10月20日に、台風23号の影響で調査点近傍の雄勝観測所で80mmの降雨があったため、天候の回復した22日に1回目調査のその後の環境把握と、特に狭水路から長面浦の浦口部、浦中部および浦奥部にかけて淡水流入の状況を中心とした調査

を行った(図-2)。

調査時間帯は午前10時から12時であった。鮎川港における予測潮位は最干潮が午前4時06分に平均海面マイナス48cm、最満潮が午後1時29分と同プラス32cmであったので、調査時間帯は上げ潮時であり、特に、St. 1~4においては浦口から浦奥に向けた流れが観測された。

1) カキ斃死状況

前回の調査から3日間しか経っていないことから、詳細な調査は行わなかったが、この間に極端に斃死が進行しているという状況は見られなかった。

2) 水質調査結果

水温: 0 m層の水温は16.4~17.6℃であった。浦口から浦の中央部にかけては17℃未満であったのに対し、St. 11~14, 15, 19などの浦奥部では17℃台と若干高かった(図-7)。3日前の10月19日調査(図-3)と比較すると、約1℃低下していた。

長面浦正中線における水温の鉛直分布を図-8に示した。16.5℃以下が追波湾と長面浦を繋ぐ狭水路に、17℃以下が浦中部より浦奥部側のSt. 10まで達しており、狭水路、浦口部側から水温低下が起きていた。また、表層部近くの18℃、19℃の等温線はそれぞれ2.5m、3.5m層付近に分布していた。表層と底層の水温差は、St. 11~13のように水深の深い地点では表層が高く、水深の浅い地点では、底層が0.2~2.8℃高かった。水深が5mより深い地点では、中層域に水温の最大値があり、表層より1.7~2.7℃高かった。また、それぞれの地点の底層水温は水深が深いほど低かった。前回調査(図-4)と比較すると、表層部における17℃台の分布域、分布層が広がると

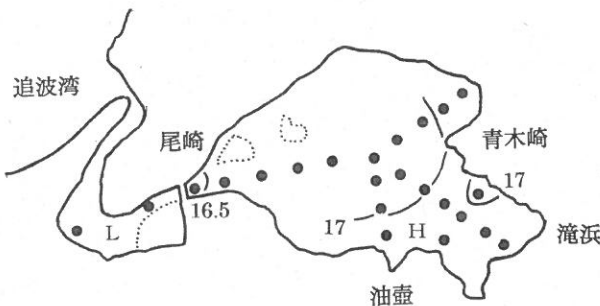


図-7 0 m層における水温(℃)の分布 (2004年10月22日調査)

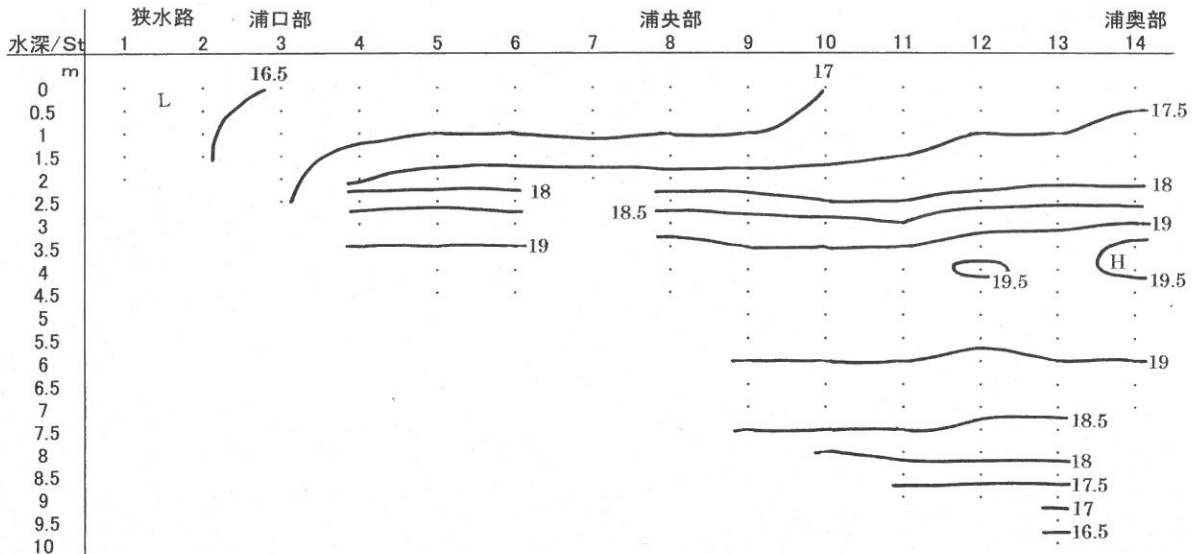


図-8 長面浦正中線における水温(℃)の鉛直分布 (2004年10月22日調査)

共に、18℃、19℃ の等温線も 2 m ほど下がって、3 日間における表層付近の水温低下が明らかであった。

塩分：0 m 層の塩分は図-9 に示すように、追波湾と長面浦を繋ぐ狭水路から浦奥部に向け低塩分水が流入している状況が明らかであった。正中線上で見た塩分の鉛直分布でも（図-10）、狭水路からの低塩分水の流入が顕著に示されており、狭水路周辺の St. 1～3 ではほとんど15台、また、表層では20以下の塩分が浦中部より浦奥よりの St. 9 と St. 10 の間に、22以下が浦奥部の St. 12 まで達していた。正中線上の表層部の最高値は浦奥 St. 13 の22.4であった。さらに、鉛直的に見ると塩分が25の等塩分線は各地点とも1.5m層、30の同ラインは2.5～3.0m層周辺に分布しており、前回調査に比べそれぞれ1 m ほど下がっていた。一方、底層の塩分は前回調査と比べ変化は見られなかった。また、表層部を中心に塩分の低下が見られていたことから、表底層における塩分差も浦中部から浦奥部の St. 8～14 で10.8～13.4と前回調査時より広がっていた。

図-5 と図-10 から比較できる調査地点において 0 m

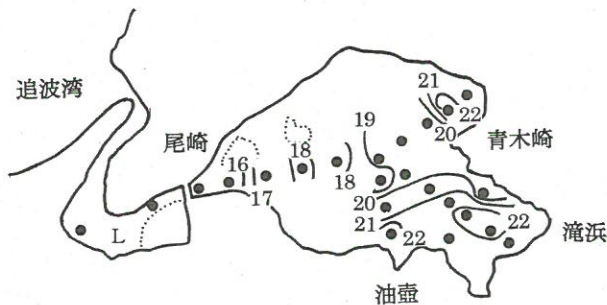


図-9 0 m 層における塩分の分布 (2004年10月22日調査)

層塩分の差を見ると、浦中部の1回目の St. 1 と2回目の St. 8 では-3.5の差、同様に、浦奥部に向け、1回目の St. 3 と2回目の St. 10 との比較では-2.4、1回目の St. 4 と2回目の St. 12 との比較では-1.8、1回目の St. 5 と2回目の St. 14 との比較では-2.0の差となっており、いずれも塩分の低下が見られているが、特に浦中部側の塩分低下が大きく浦奥部で小さかった。この結果に加え、前述の図-9、図-10 から、長面浦内に狭水路から北上川の影響による低塩分水が流入したことを示しており、長面浦の低塩分化は北上川からの影響が強く、長面浦に流れ込む集水域の影響は小さいとする高崎ら⁸⁾の結果にも当てはまっていた。

密度 (σ_t)：1 回目調査と同様、正中線における水温、塩分から求めた密度 (σ_t) の鉛直分布を図-11 に示した。水温や塩分の鉛直分布図より、狭水路側からの低密度水の流入状況が、特に 0 m、0.5 m 層で顕著に示されていた。

溶存酸素：採取した各地点、各層の溶存酸素量および酸素飽和度を表-4 に示した。表層は100%に近い酸素飽和度であったが、カキを垂下している最深層の5 m 層では30%前後、水深が9 m 前後の St. 12、13、15の底層では酸素飽和度が0%であった。前回と調査地点が近似している St. 8、10の5 m 層で溶存酸素量を比較すると、1 mg/l ほど減少していた。

9月1日から10月22日にかけての周辺域の気象状況など

表-5 には宮城県農業気象速報⁹⁻¹⁴⁾ による2004年9月1日から10月22日までの日間雨量と最多風向、最大風向、最大風速と北上大堰のメインおよびサイドゲートの開閉状況¹⁵⁾ を示した。なお、日間雨量は調査点近傍の雄勝観測所、それ以外の観測は女川町江ノ島観測所のデータを

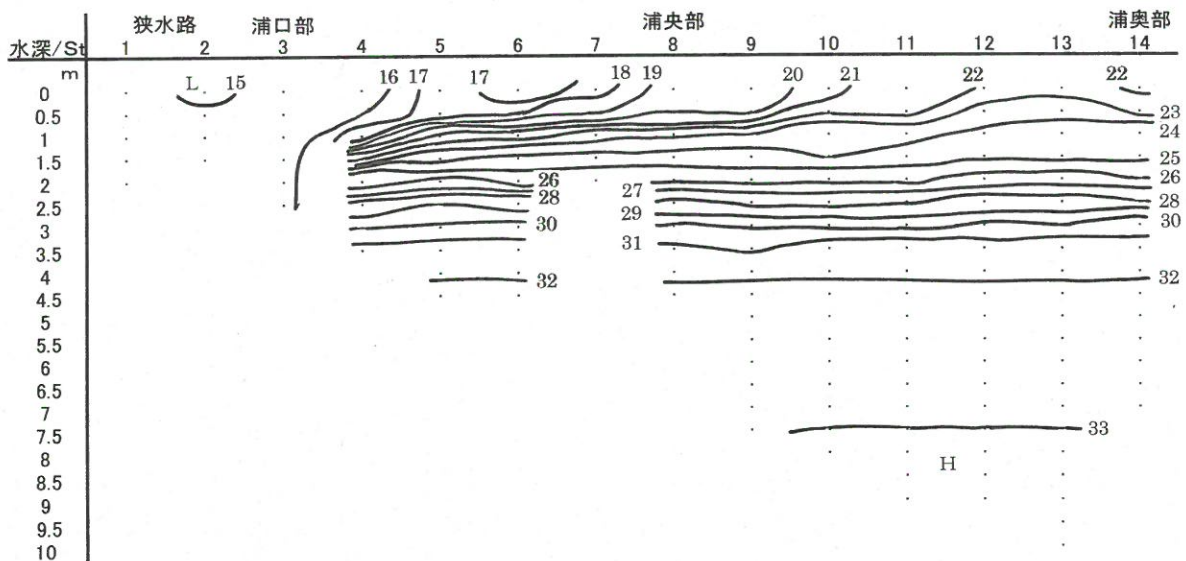


図-10 長面浦正中線における塩分の鉛直分布 (2004年10月22日調査)

表-4 長面浦水質調査結果

St	水深 (m)	2004年10月22日調査			
		水温 (°C)	塩分	溶存酸素量 (mg/l)	酸素飽和度 (%)
1	0	16.5	15.4	8.91	97.0
	1.5	16.5	15.7	8.64	94.2
3	0	16.5	15.3	-	-
	2	16.8	15.8	8.39	92.1
6	0	16.7	16.0	-	-
	4	19.1	31.9	1.93	24.3
8	0	16.5	19.5	8.12	90.6
	4	19.3	31.9	2.13	27.0
10	0	17.0	20.9	8.27	93.9
	5	19.3	32.5	2.35	29.8
	7.5	18.5	33.0	5.02	63.2
12	0	17.3	22.0	8.21	94.4
	7.5	18.4	33.0	0.07	0.91
	8.5	17.7	33.1	0	0
13	0	17.4	22.4	8.30	95.9
	5	19.1	32.4	2.59	32.8
	7.5	18.4	33.0	3.16	39.7
	9.5	16.9	33.2	0	0
	14	0	17.4	21.7	8.49
15	0	17.2	21.9	8.38	96.1
	5	19.6	32.5	1.69	21.6
	7.5	18.5	33.0	0.15	1.8
16	0	16.7	19.8	-	-
	5	19.2	32.4	2.86	36.2
	7.5	18.5	33.0	0	0
18	0	17.0	21.1	-	-
	5	19.3	32.4	2.62	33.3
	7.5	18.5	32.9	0	0
19	0	17.1	22.3	-	-
	5	19.3	32.1	-	-
	6	19.2	32.7	2.28	28.9
21	0	16.8	19.7	-	-
	5	19.2	32.4	2.01	25.5
	6.5	18.7	32.8	0.22	2.7
22	0	17.5	22.1	-	-
	5	19.2	32.5	2.80	35.5
23	0	17.6	21.8	-	-
	1.5	17.7	24.4	8.60	101.1

最下層の採水は底上50cm

表-5 長面浦周辺における気象状況などの推移

2004年	日間雨量 (mm)	最多風向	最大風速 (m/s)	湖名	北上大堰		備考
					メインゲート	サイドゲート	
9月	1日	0	SSW	SSW	6	大湖	
	2日	11	SSW	NNW	6	中湖	
	3日	0	SSW	SSW	4	中湖	
	4日	1	NE	N	6	中湖	
	5日	0	NNE	W	3	中湖	
	6日	0	NNE	SSW	4	小湖	
	7日	0	NNE	S	16	小湖	
	8日	3	WNW	S	13	小湖	
	9日	0	NE	NNE	5	長湖	
	10日	0	NE	NNW	5	香湖	
9月	11日	0	NE	NNE	7	中湖	
	12日	0	S	SSW	2	中湖	
	13日	0	S	SSW	7	大湖	
	14日	3	WNW	WNW	10	大湖	
	15日	0	NE	NNW	10	大湖	
	16日	0	S	S	5	大湖	
	17日	0	W	WSW	5	大湖	
	18日	0	S	SSW	5	中湖	
	19日	1	SSW	SSW	8	中湖	
	20日	0	NNE	NNE	6	中湖	
9月	21日	0	NE	NE	6	小湖	
	22日	0	NE	NNE	5	小湖	
	23日	0	NE	NE	6	小湖	
	24日	0	NE	NNE	5	長湖	
	25日	11	NE	NE	6	香湖	
	26日	0	NE	NE	6	中湖	
	27日	1	NE	NNE	10	中湖	
	28日	4	NNE	NNE	10	大湖	
	29日	3	ENE	ENE	3	大湖	
	30日	49	NNW	NNW	15	大湖	
10月	1日	0	NNW	NNW	11	大湖	
	2日	0	NE	NE	9	中湖	
	3日	12	NE	NE	10	中湖	
	4日	6	NE	NNE	10	中湖	
	5日	31	NE	NE	12	中湖	
	6日	16	NNW	NNE	13	小湖	
	7日	0	SSW	SSW	5	小湖	
	8日	3	S	NNE	4	小湖	
	9日	113	NE	NE	16	長湖	
	10日	24	NNE	NNE	16	若湖	
10月	11日	3	NE	W	4	中湖	
	12日	0	SSW	W	5	中湖	
	13日	0	NNW	NNW	8	大湖	
	14日	0	NE	NE	6	大湖	
	15日	1	NNW	NW	7	大湖	
	16日	0	W	NNW	9	中湖	
	17日	0	NNW	NNW	12	中湖	
	18日	0	S	S	4	中湖	
	19日	0	N	N	3	中湖	
	20日	80	NNE	NE	17	小湖	
10月	21日	24	NNW	NNE	20	小湖	
	22日	1	SSW	SSW	8	小湖	

注1：雨量は雄勝観測所
 注2：風向・風速は江ノ島観測所
 注3：北上大堰の開閉状況は、北上川下流河川事務所のHP
 *：河北町漁業協同組合情報

使用した。

10月22日の調査結果から、長面浦の低塩分は調査前々日、前日の100mmを越す雨量に伴う北上川からの大量出水の影響を強く受けていることが明らかとなった。同日には北東風を中心に強い風も吹いていたが、これらの風雨は台風23号による影響であった。

同様に、大雨とその後の風の状況を見ると、10月9日を中心に台風22号の影響で140mmの降雨があったが、その時も強い北東や北北東の風が吹いていた。さらに、10月5日前後の低気圧通過の影響で65mmの降雨があった際も、北東や北北東の強い風が吹いていた。また、台風21号の影響で50mm以上の降雨があった9月30日前後には、北北西の強い風が吹いていたが、2日後の10月2日からは北東を中心とした強い風となった。長面浦に高濃度の

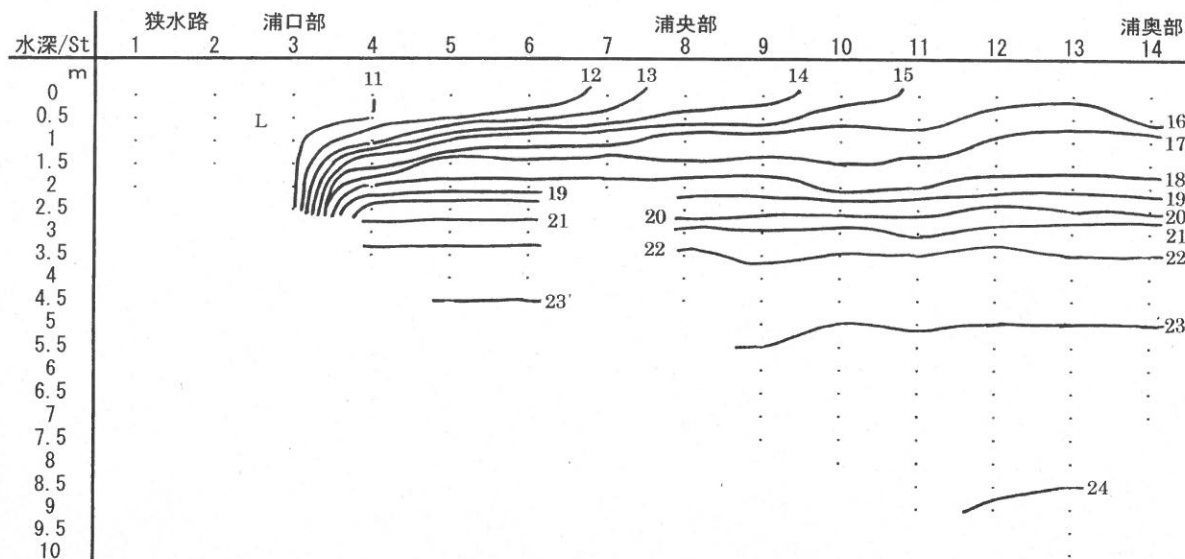


図-11 長面浦正中線における密度 (σt) の鉛直分布 (2004年10月22日調査)

濁水が流入した³⁾とされる9月22日前後には雄勝観測所で降雨が観測されていないが、岩手県北部の盛岡市では21日から22日にかけて前線の影響で95mmの降雨があり¹⁶⁾、この時も雄勝観測所では北東を中心とした強い風が吹いていた。

なお、北上大堰のメインゲートの操作状況を見ると、一時的な水門の閉鎖はあったものの、9月22日から24日、9月30日から10月12日までの間はほぼ全開の状態になっていた。さらに、サイドゲートも10月1日から2日にかけて開いており、この間の北上川の流量の多さを示していた。

考 察

河北町漁業協同組合は、養殖カキ斃死の原因として北上川河口から上流17kmにある北上大堰のメインゲートを9月22日に全開にしたことにより、長面浦に多量の濁水が流入したことをあげ、その影響で斃死が見られ始めたのは10月8日頃としている³⁾。しかし、著者らに連絡があり調査を行ったのが10月19日、22日であったことから、両調査時においては同組合が原因とする濁水はもとより、斃死が見られ始めた環境とは異なった状況下であったことは言うまでもない。

一般に、長面浦のような極端に閉鎖的な水域における貧酸素水の出現は、夏季を中心とした高水温期の水温躍層や同期に河川水や雨水の大量流入による塩分躍層の顕著な発達によることが多い。まず、水温に影響を与えている気温は、仙台管区気象台の仙台観測所における観測によれば、7月31日から8月13日まで14日間連続した真夏日という猛暑であったため8月上旬の平均気温は高く、その後の8月中旬は平年並み、下旬は平年より低いという状況であった^{17,18)}。長面浦内の表層水温も気温に応

じて高くなり、水温躍層が発達して底層環境の悪化が懸念されたが、同組合が9月中旬に行ったカキの試験剥きの段階では、表層から5m層まで垂下しているカキに斃死は見られなかった³⁾とのことであり、少なくとも同層まで達するような貧酸素水の出現はなかったものといえる。また、今回調査した10月19日、22日の水温鉛直分布では、表層水温が低下し始めており表底層における大きな水温差も観測されなかった。このことは、この時期、水温躍層が消失し、鉛直混合が起きやすくなる時期⁴⁾であることと一致していた。一方、今回調査した塩分の鉛直分布は、表底層の差が10近くあり、特に0.5~1.0、1.0~1.5m層に顕著な塩分躍層が見られていた。このことから、今回の貧酸素水の出現による養殖カキの斃死要因として、塩分躍層の顕著な発達と考えられた。

周辺域の気象状況では、9月22日から10月22日にかけて1ヶ月の間に、台風21、22、23号や前線、低気圧の影響で北上川から追波湾へ5回の大量出水があり、その都度、強い北東系の風が吹いていることを述べた。追波湾の流動を調査した石川ら¹⁹⁾によれば、表層水は北岸に沿って湾内に流入し、河川水は湾口南側に沿って南下すること、八巻²⁰⁾も追波湾の北側よりも南側で河川水の影響を強く受けると述べている。図-1の位置関係から北上川からの大量出水があった後、北上川の影響下にある表層の低塩分水が、強い北東の風によって風下に当たる長面浦の狭水路側に押される状況が形成される。その低塩分水が潮汐流によって長面浦に流入し、カキ漁場となっている浦中部から奥部の表層と底層部との間で強い塩分躍層が形成されたものと考えられた。以上の結果をもとに、長面浦の低塩分化に至る表層水の吹送過程を模式化すると図-12のようになろう。

この考えに立てば、10月9日前後に浦内が低塩分になったであろうことが推察されるが、その後、1回目調査時の10月19日まで近傍の雄勝観測所をはじめ、岩手・宮城両県の北上川上流域ではまとまった雨量は観測されていない^{13,21)}が、10月19日の表層塩分は23台と底層塩分の33台に比べ約2/3ほどと低かった。この間、表-5に示すように10月14日前後に大潮の時期があつて長面浦の海水交換が促進されやすい状況があつたにもかかわらず、一旦、形成された密度躍層は長面浦の地形や水深の関係等もあつて容易に解消されないことを示唆していた。

このように、浦奥部に位置している水深の深いカキ漁場などでは長期に亘って顕著な塩分躍層が形成され、底層部における貧酸素化が起きたものと推察された。特に、

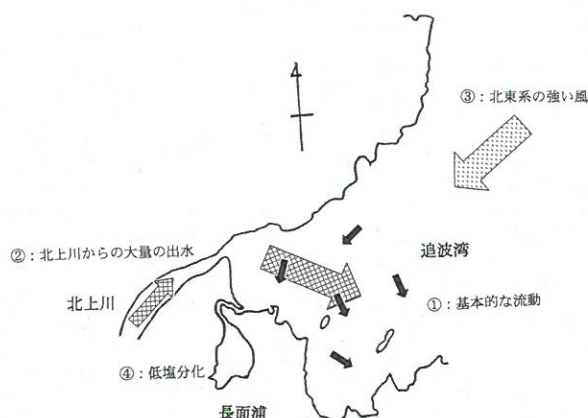


図-12 長面浦の低塩分化に至る表層水の吹送過程 (模式図)

9月末からの塩分躍層の発達、通常、この時期前後に起きている水温躍層の弱まりと共に鉛直混合が起き、底層水温が上昇する時期でもあることから、底泥中の有機物分解が盛んになり、底層の酸素消費を加速させたものと思われた。さらに、河北町漁業協同組合が指摘するように、9月22日に高濃度の濁水が長面浦に流入し、長期に滞留していた³⁾とすれば、河川水由来の多量の有機物が同時に流入した可能性も考えられた。また、アサリによる研究²²⁾をカキに当てはめれば、高濃度の懸濁物で濾水速度の低下や餌の取り込み量が低下し、体内貯蔵物質の蓄積が妨げられ、結果として貧酸素等の影響を受けやすくなったことも考えられた。

長面浦における夏季を中心とした貧酸素化やカキの斃死現象は、以前から各種の調査で捉えられていた^{1,2,8)}。この原因として、追波湾に繋がる狭水路が浅くて長いことから海水交換が悪いこと、浦奥部が深く、すり鉢状の地形で有機物の蓄積が起き易いこと、さらに、長年カキ養殖が行われ自家汚染も進んでいるためと考えられた。一方、長面浦には周辺や北上川からの淡水と共に各種栄養塩の流入があり、生産力の高い汽水域で、本垂下したカキがその年のカキシーズン中に収穫できるという成長の良さを兼ね備えており、微妙なバランスの中でカキ養殖を行っている場所といえる。貧酸素水が著しい時は、当然のことながらカキの生育は悪い²³⁾。年により、時期により貧酸素水の出現状況は異なるので、貧酸素水の出現状況や発達状況について、夏季を中心に頻度の高い漁場環境調査を行うと共に、気温、降雨、風向、風速などの気象データや潮汐条件、北上川の流量などの収集を行い、その状況に応じたカキ養殖管理が必要である。特に、カキ漁場の環境把握については、1999年に制定された持続的養殖生産確保法の観点からも、漁業者自らの漁場監視の取り組みが必要である。また、貧酸素水の対策として、夏季を中心に河北町漁業協同組合等で試験的に行っている底層に酸素を供給することを含めた、表層水と底層水の間で水温や塩分差をなくすための上下混合の促進が肝要である。

10月19日に観測されたカキ垂下層の溶存酸素量だけを見ると、カキの生理的変化を引き起こす臨界濃度程度の値であったが、カキやカキに付着している生物が斃死していることからみて、斃死時の環境は今回得られた結果より劣悪であったといえる。また、今回採水した場所は筏の端で行っていることから、筏の中または養殖カキ直近の環境はより悪かったであろうことが想定される。カキは低酸素濃度に対する耐性が強いとされているが、カ

キに付着している各種の生物が貧酸素水のもとでカキより先に斃死し、その腐敗や分解の過程でカキそのものに悪影響を与えることも十分に考えられる。このためには、ムラサキガイなどの競合生物(付着生物)を除去しカキの成長促進を図る目的で行われている温湯処理対策も養殖管理を行う上で必要であり、水揚時の殻洗浄を陸上で行ったりする対策も欠かせない。さらに、長面浦のように閉鎖的で貧酸素水が発生しやすい漁場においては、浦奥部のすり鉢状になっているカキ漁場にこれ以上の有機物負荷を与えないため、今後とも定期的なモニタリングを行うと共に、適正な養殖生産量、浦内の養殖許容量の検討を行うことが望まれる。

謝 辞

調査および分析に協力をいただいた当センター環境養殖部および宮城県石巻産業振興事務所水産漁港部の職員、長面浦の流動などについて教示いただいた河北町漁業協同組合の坂下健組合長に感謝申し上げます。

要 約

- 1) 宮城県北東部に位置する石巻市長面浦(旧桃生郡河北町長面浦)の養殖ガキが大量に斃死しているとの連絡を受け、2004年10月19日と同月22日にカキ斃死状況と環境調査を行った。
- 2) 調査した筏の全点で斃死が見られ、最も斃死の多い地点では表層から底層までの全数が斃死した。斃死の少ない地点でも、表層から約2.5mまでの間で約5割以上、それより下層ではほとんどが全数斃死という状況であった。
- 3) 最も水深の深い底層9.0m層の溶存酸素量は0mg/l、同点の7.5m層で0.3mg/l、5m層で5.2mg/lであった。また、各筏のカキを吊るしている最深層に当たる5m層の溶存酸素量は3.4~5.2mg/lで、酸素飽和度に換算すると約50%(43.7~65.0%)であり、明らかに貧酸素の状態であった。
- 4) カキを垂下している下層部のカキ軟体部が殻から抜け落ちていたり、カキ垂下ロープを上げ下げする時に軟体部が抜け落ちることなどから、斃死してからの日数がかかなり経過していることに加え、底層部から斃死が起きていたことが示唆された。従って、今回調査時より以前の段階で、より低い貧酸素水の出現や硫化水素の発生などがあり、カキの斃死を引き起こしたものと考えられた。
- 5) 調査点近傍の雄勝観測所で80mmの降雨があった2日

後の長面浦正中線上で見られた塩分の鉛直分布は、追波湾に繋がる狭水路から低塩分水の流入が見られており、長面浦の低塩分化は北上川の影響を強く受けることが明らかとなった。

- 6) 追波湾の表層水では反時計回りの流れがあり、北側よりも南側で河川水の影響を強く受けることに加え、5) で述べた大雨により北上川から大量の川水が流出していたこと、さらに、10月20日には台風23号の影響で北東系の強い風が吹いていたことから、北上川の影響下にある低塩分水が、浦内に多量に流入し塩分の低下を引き起こしたものと考えられた。
- 7) 9月22日から10月22日にかけて1ヶ月の間に、台風

21、22、23号や前線、低気圧の影響で北上川から追波湾へ5回の大量出水があり、その都度、6) で述べた浦内の塩分を低下させる条件が整っていたことから、カキ漁場となっている浦中部から奥部の表層と底層の間で、長期間、強い塩分躍層が形成されたものと考えられた。

- 8) 今回のように夏期の水温躍層が弱くなる時期に貧酸素水によるカキ斃死が起きた原因は、長面浦が閉鎖的で浦奥部に片寄ったすり鉢状の地形をしていることに加え、底層水温が上昇し底泥中の有機物分解が盛んになる時期であったこと、さらに、長期に亘って強い塩分躍層が形成されたことが原因と推察された。

参考文献

- 1) 宮城県水産研究開発センター：長面浦におけるカキ斃死状況調査、平成10年8月5日、9月22日、10月29日
- 2) 宮城県：昭和54年度放流技術開発事業実績報告書、放流技術開発事業、12～23、1980
- 3) 河北町漁業協同組合：長面浦に於けるかき養殖生育及び酸欠死顛末、平成16年11月22日
- 4) 宮城県水産研究開発センター：平成15年度漁海況調査報告書、181～187、2005
- 5) (社) 日本水産資源保護協会：水産用水基準（2000年版）、21、2000
- 6) 下茂繁・秋本泰・高浜洋：海洋生物の水質環境耐性について：総説、海洋生物環境研究所研究報告、第6号、12～16、2004
- 7) 平井明夫・林智草：低酸素海中におけるムラサキイガイの酸素消費量と生存日数、付着生物研究、第6巻、1号、31～34、1986
- 8) 高崎みつる・田中仁：南三陸長面浦における溶存酸素濃度の変動に関する現地調査、水工学論文集、第48巻、2004
- 9) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年9月上旬、第25巻25号、2004
- 10) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年9月中旬、第25巻26号、2004
- 11) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年9月下旬、第25巻27号、2004
- 12) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年10月上旬、第25巻28号、2004
- 13) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年10月中旬、第25巻29号、2004
- 14) 宮城県・仙台管区气象台：宮城県農業気象速報、平成16年10月下旬、第25巻30号、2004
- 15) 北上川下流河川事務所：長面浦の養殖カキが斃死した時期における北上川の状況について、平成16年11月19日、北上川下流河川事務所ホームページ
- 16) 盛岡地方气象台：2004年9月の天候（岩手県）、2004
- 17) 仙台管区气象台：2004年7月の天候（宮城県）、2004
- 18) 仙台管区气象台：2004年8月の天候（宮城県）、2004
- 19) 石川公敏・中田喜三郎：追波湾の海域特性（I）、公害資源研究所彙報、第9巻4号、35～46、1980
- 20) 八巻国郎：追波川河川の海面流入状況について、日本水産学会東北支部会報、第9巻、第1・2号、56～61、1958
- 21) 盛岡地方气象台：2004年10月の天候（岩手県）、2004
- 22) 日向野純也：貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響、水産総合研究センター研究報告、別冊第3号、27～33、2005
- 23) 木村知博：広島湾北部水域における養殖カキの生育と貧酸素水塊の出現の関係について、水産増殖、第22巻1号、27～34、1974