

夏季高温下におけるアサリのへい死

木村聡一郎

Mortality of *Ruditapes philippinarum* at High Temperature in Summer

SOICHIROU KIMURA

大分県農林水産研究指導センター水産研究部浅海・内水面グループ

Shallow/Fresh Water Group, Fisheries Research Division
Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：アサリ、夏季水温、へい死

結 言

周防灘南部の大分県豊前海域において、近年、アサリ *Ruditapes philippinarum* 資源は著しく減少し、その漁獲量も大きく低迷している(図1)。

本海域における近年のアサリ稚貝の発生状況に関しては、局所的に比較的良好な加入をみせる年もあるが、夏季から秋季にかけて大幅に減耗してしまう傾向にある^{1,2)}。

一方、本海域が全国有数のアサリ生産を誇った1980年代に目を向けると、この時代にあってもアサリの大量へい死は発生しており、当時の被害調査に係る報告が数件残されている³⁻⁵⁾。

このうち、1983年夏季に豊前海全域で発生したアサリの大量へい死では⁵⁾、被害量は約477tと見積もられた。へい死は各地先の岸寄り高地盤域を中心に、稚貝から成貝まで及び、これまでも夏季の高水温時に高温域で小規模ではあるが同様の現象がしばしば発生して

いるとしたうえで、この大量へい死の原因は、当夏の異常高温の影響によるものと結論付けている。

アサリ資源が一向に回復せず、また、地球温暖化や海水温上昇がクローズアップされる昨今、大量へい死のあった1983年夏季のアサリ生息環境がどのような状況であったのか、非常に興味深い。

残念ながら、当時の詳細な水温データ等は残されていないが、気温等の気象データは過去に遡り入手可能である。

そこで、本報では、先ず気温の長期変動傾向を明らかにし、次に直近年夏季の気象、水温データ、続いて1983年夏季の気象データを取りまとめた。そして、両年の気象状況を比較し、更には直近年夏季の潮汐データに照らした水温変動を再整理することで、1983年夏季の干潟温度環境を類推するとともに、夏季高温とアサリへい死の関連性について検討した。

方 法

解析に用いた気象データは、気象庁ホームページの気象統計情報を用いた。

地温データは、浅海チーム実施の豊前海アサリ資源回復に関する調査研究のうち、水産基盤整備調査の一環で収集されたものを活用した。

潮汐データは、浅海チーム発行の潮汐表(豊後高田港換算)を利用した。

なお、今回、1983年夏季と比較検討する対象直近年

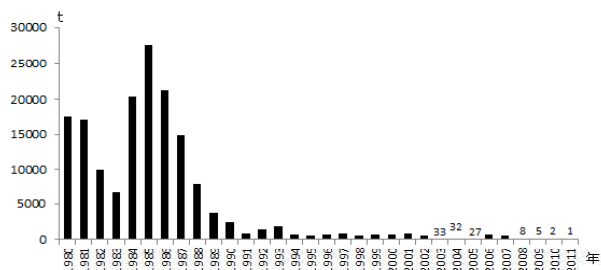


図1 大分県豊前海域のアサリ漁獲量の推移
(大分県農林水産統計年報による)

として、上記地温データがセットされている2010年を選定した。

気温の長期変動

中津市(図2)における1980～2012年の気温データを整理し、月別平均値、月別偏差、平年偏差、年別平均値を求めた。月別偏差には25ヵ月移動平均をかけて、2年以下の時間スケール変動を取り除いた。平年偏差から、浅海定線調査等で採用されている基準⁶⁾に準じ、期間前期(1980～1989年)と後期(2003～2012年)の気温評価を行った。年別・月別平均値から、最小二乗法を用いた一回帰直線により上昇率を求めた。

1983・2010年夏季の気象

中津市における1983年、2010年夏季の平均気温、最高気温、降水量及び日照時間の各データを整理した。また、2010年8月の最高気温と日照時間との相関を求めた。

2010年夏季の地温

中津市小祝地先(図2)における2010年8月の地温の毎時データを整理した。また、日別平均値を求めた。なお、当該データは同地先西側沖寄りの地盤高+40cmの人工石原漁場内の底質表面と底質下4～5cmの砂泥中に各1個設置されたデータロガーにより計測された⁷⁾ものである(以下、前者計測値を地表温、後者を地中温と言う)。このうち、地表温については、潮の干満により干出時は底質表面温度、非干出時は水温となる。



図2 位置図

2010年夏季の気温と地中温の関係

2010年8月の平均気温と平均地中温との相関を求めた。

2010年夏季の潮汐

豊後高田港(図2)における2010年8月の干満時刻、潮位を整理し、地温の経時変化と照合した。なお、当該潮汐データを地温計測地点付近の中津港(図2)に当てはめると、干満時刻は同じだが、潮位は多少高い値となる。

結 果

気温の長期変動

中津市における1980～2012年の気温の月別平均値を図3に示した。月別平均値は、1月に最低値5.2℃となり、2月以降昇温して、8月に最高値27.3℃となり、9月以降降温した。

各年気温の月別平均値の推移を図4に示した。月別気温は2.8～29.6℃の範囲で季節変動による上下動を繰り返した。

季節変動成分を取り除いた、各年気温の月別偏差の推移を図5に示した。月別偏差は-3.2～2.7℃の範囲で変動した。

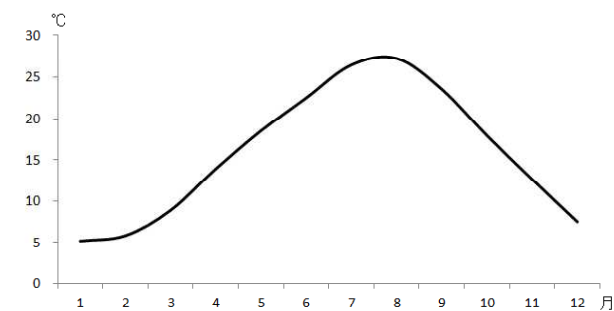


図3 1980～2012年気温の月別平均値（中津市）

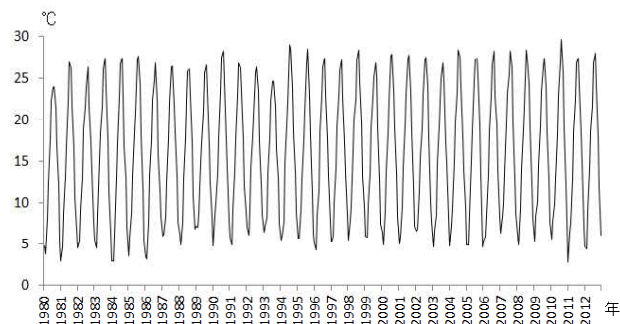


図4 気温の月別平均値の推移（中津市）

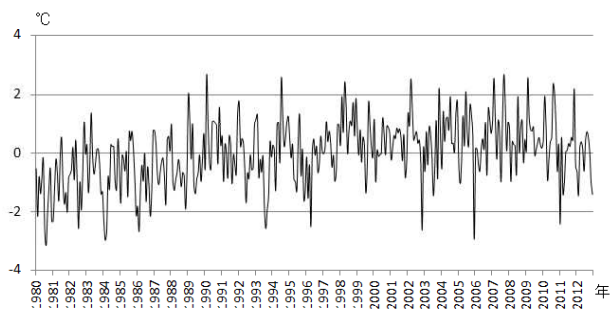


図5 気温の月別偏差の推移（中津市）

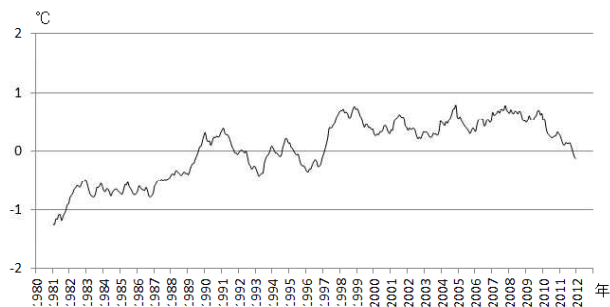


図6 気温の月別偏差の25ヵ月移動平均（中津市）

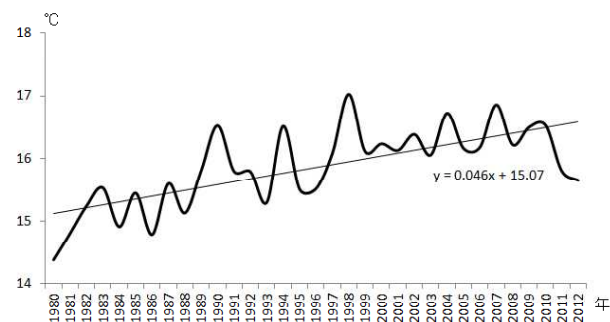


図7 気温の年別平均値の推移（中津市）

表1 1980～1989年及び2003～2012年気温の平年偏差の評価（中津市）

	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
1月		---	-		---	---	---	+	+	++
2月	--	-			---		--		-	+
3月					---				---	
4月	--	-	-	++				-	-	+
5月		---			--				-	---
6月			-	-		---				---
7月	---		---			+				-
8月	---	-	-					-	-	-
9月	--	--	--			+		--		
10月	-	--	-	-			---		-	-
11月		--	+	-			-		---	
12月	---	-	-	-		---	+		-	+

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
1月					+	+			---	
2月		+	-		++	-	++	++		-
3月					+		+	+	---	
4月	+	+	+				+	-	-	
5月	+	++			++		+			
6月		+	+++	+	-	+				-
7月	-	++	+		-	++				
8月				+	+			+++		+
9月	+		++	-	+++	+		++		
10月	-		++	++	++	+		+		
11月	++	+	+		+				++	-
12月		++	---	+	+					-

記号	Z	評価
+++	2.0～	甚だ高め
++	1.3～2.0	かなり高め
+	0.6～1.3	やや高め
	-0.6～0.6	平年並
-	-1.3～-0.6	やや低め
---	-2.0～-1.3	かなり低め
---	～-2.0	甚だ低め

Z=平年偏差/標準偏差

表2 1980～2012年気温の月別上昇率（中津市）

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上昇率(°C/年)	0.020	0.066	0.040	0.028	0.047	0.033	0.047	0.061	0.078	0.067	0.034	0.024

この月別偏差に25ヵ月移動平均をかけて、図6に示した。気温の長期変動傾向として、1988年までは負偏差が継続し、1989～1996年は偏差±0付近での上下変動となり、1997年から2010年までの間は、正偏差が継続した。

期間前後期の各10年間における気温の平年偏差の評価を表1に示した。1980～1989年の気温は低め基調、2003～2012年では高め基調であることが総じて多く、両者の±評価の傾向が明確に別れた。

図4の月別平均値から年平均を求め、図7に示した。年平均気温は14.4～17.0°Cの範囲となり、長期的な上昇傾向が認められた。単純に一次回帰直線により求め

た上昇率は0.046°C/年となり、ここ33年間で約1.5°Cの上昇と推計された。

同様に、図4の月別平均値を月毎に再整理し、一次回帰直線により求めた月別上昇率を表2に示した。気温上昇率は各月共に正の値となり、特に2月及び8～10月の上昇率はいずれも0.06°C/年を超え高かった。

2010年夏季の気象

中津市における2010年8月の気温の毎時平均値を図8に示した。経時的な気温の推移として、最低値26.0°Cとなる6時以降昇温し、その上昇幅は比較的大きく、9

時には 30℃に達し、12～14時に 33℃台となり、それ以降は緩やかに降温した。

中津市における 2010 年 8 月の平均気温と降水量の推移を図 9 に示した。平均気温は 26.6～31.3℃の範囲と高く、8 月平年値(27.3℃)を下回ったのは期間中 1 日(8 月 30 日)のみであった。降雨は期間中 5 日あり、降水量は月積算 92 mm であった。また、降雨日の気温は低下する傾向にあった。

次に、最高気温と日照時間の推移を図 10 に示した。最高気温は 30.6～37.4℃の範囲で全て 30℃以上の真夏日となり、35℃を超える猛暑日も期間中 17 日あった。日照時間は平均 7.3h/日となり、日照時間と最高気温との変動は同調していた($r=0.63$, $p<0.01$)。

2010年夏季の地温

中津市小祝地先における 2010 年 8 月の地温の経時変化を図 11 に示した。地中温は 26.5～36.0℃、地表温は 25.7～41.3℃の範囲で、両者の変動は似通ったが、日最高値となる時間帯において両者に大きな温度差の生じる日が認められ、特に 8 月 8 日～10 日の開きは顕著で、地中温に比べ地表温が高かった。

図 11 の毎時の値から日平均を求め、図 12 に示した。地中温は 27.8～31.7℃、地表温は 27.8～31.9℃の範囲となった。8 月 18 日～25 日の間は両者共に 31℃を超える日が続いた。また、両者の温度差は 8 月 8 日、8 月 10 日に大きかった他は、それ程の開きはみられなかった。

2010年夏季の気温と地中温の関係

2010 年 8 月の気温(図 9)と同日から 5 日経過後までの各地中温(図 12)との相関係数を求め、表 3 に示した。また、これに関連し、気温と同日及び 3 日経過後の地中温との関係を図 13 に示した。気温と地中温の同日間の相関は弱く、3～4 日経過後の地中温との間には相関($r=0.66 \sim 0.67$, $p<0.01$)が認められた。なお、気温と地表温との関係についても同様の傾向がみられた。

1983年夏季の気象

中津市における 1983 年 7～8 月の平均気温の推移を図 14 に示した。平均気温は 22.0～30.9℃の範囲となり、特に 7 月 22 日～8 月 6 日は 28℃を超える日が続いた。

この期間(7 月 22 日～8 月 6 日)の最高気温と日照時間の推移を図 15 に示した。最高気温は 32.8～36.7℃



図 8 2010 年 8 月気温の毎時平均値（中津市）

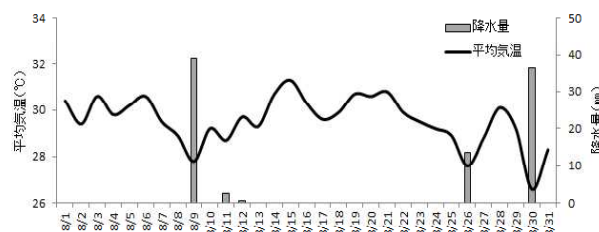


図 9 2010 年 8 月の平均気温と降水量の推移（中津市）

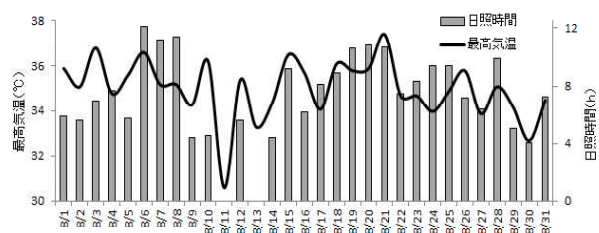


図 10 2010 年 8 月の最高気温と日照時間の推移（中津市）

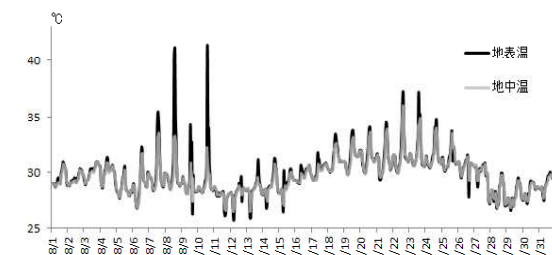


図 11 2010 年 8 月の地温の経時変化（小祝地先）

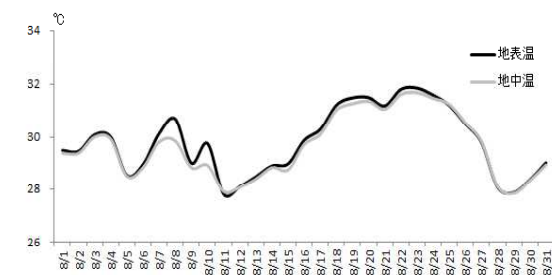


図 12 2010 年 8 月の地温の日別平均値の推移（小祝地先）

表3 2010年8月の気温（中津市）と地中温（小祝地先）の日別平均値の相関

気温⇔地中温	n日⇔n日	n日⇔n+1日	n日⇔n+2日	n日⇔n+3日	n日⇔n+4日	n日⇔n+5日
相関係数r	0.18	0.29	0.55	0.67	0.66	0.46

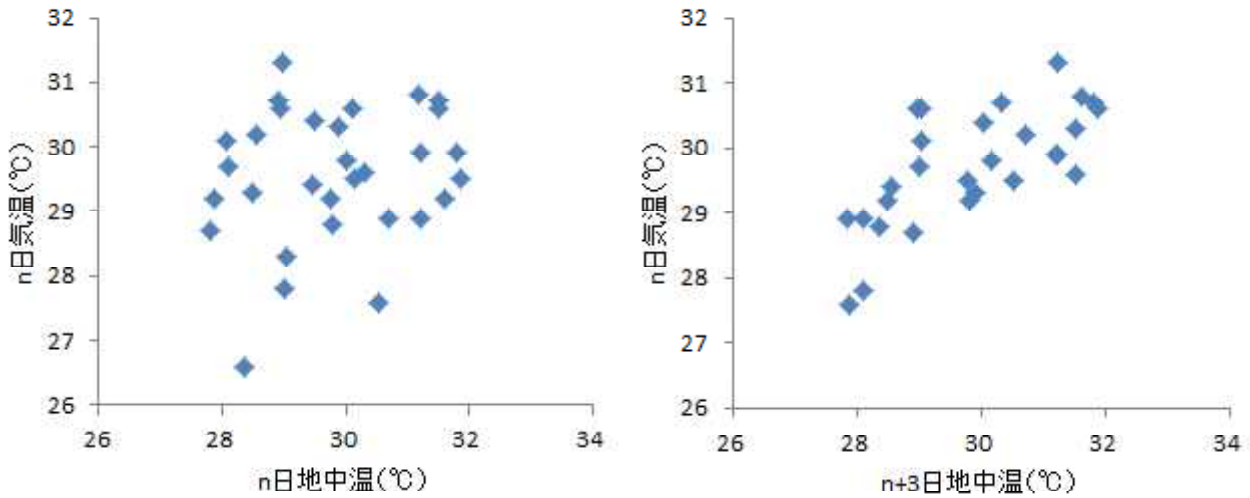


図13 2010年8月の日平均気温と日平均地中温の関係
 (左図；n日気温⇔n日地中温、右図；n日気温⇔n+3日地中温)

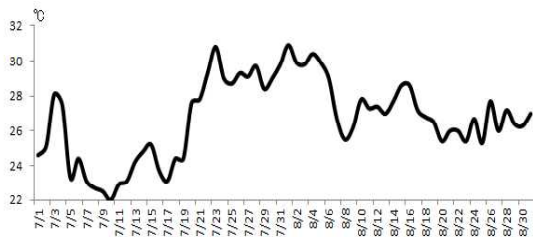


図14 1983年7～8月の平均気温の推移（中津市）

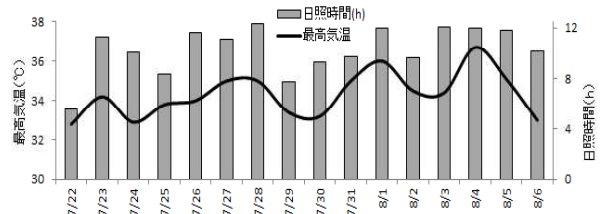


図15 1983年7/22～8/6の最高気温と日照時間の推移（中津市）

の範囲で全て 30℃以上の真夏日となり、35℃を超える猛暑日は期間 16 日中 6 日あった。日照時間は期間平均 10.3h/日となり、この間、降雨はなかった。

考 察

アサリ大量へい死のあった 1983 年夏季の中津市における気温の年間偏差の評価(表 1)では、同年 7～8 月はいずれも「平均並」となっているが、平均気温の推移(図 14)をみると、7月下旬から8月上旬にかけて 28℃を超える高温の日が継続しており、この期間に限れば、上述の評価で「甚だ高め」となった 2010 年 8 月の平均気温、最高気温、日照時間、降水量の状況と同レベルにあると言える(図 9、図 10、図 14、図 15)。すな

わち、この 1983 年 7 月 22 日～8 月 6 日頃がアサリ大量へい死の原因とされる異常高温時に当たると考えられる。この期間の干潟の温度環境を類推するため、中津市小祝地先の 2010 年 8 月の地温の日別平均値において(図 12)、地中温と地表温の温度差が顕著な 8 月 8 日と 8 月 10 日を両側を含む 3 日間、両者共に 31℃に達した 8 月 18 日を含む前後 3 日間、両者共に月最高値となった 8 月 23 日を含む前後 3 日間における地温の経時変化を図 16 に示す(図 11 の当該期間を切り取り拡大)。なお、地温計測地点は地盤高+40 cmにあり、当該期間の潮汐データから(表 4)、日中の干潮付近で 8 月 8 日～10 日は地盤が概ね干出、8 月 17 日～19 日は非干出、8 月 22 日～24 日は潮位が地盤直上にあつたと判断される。また、8 月 8 日～10 日は中潮～大潮、8 月 17 日

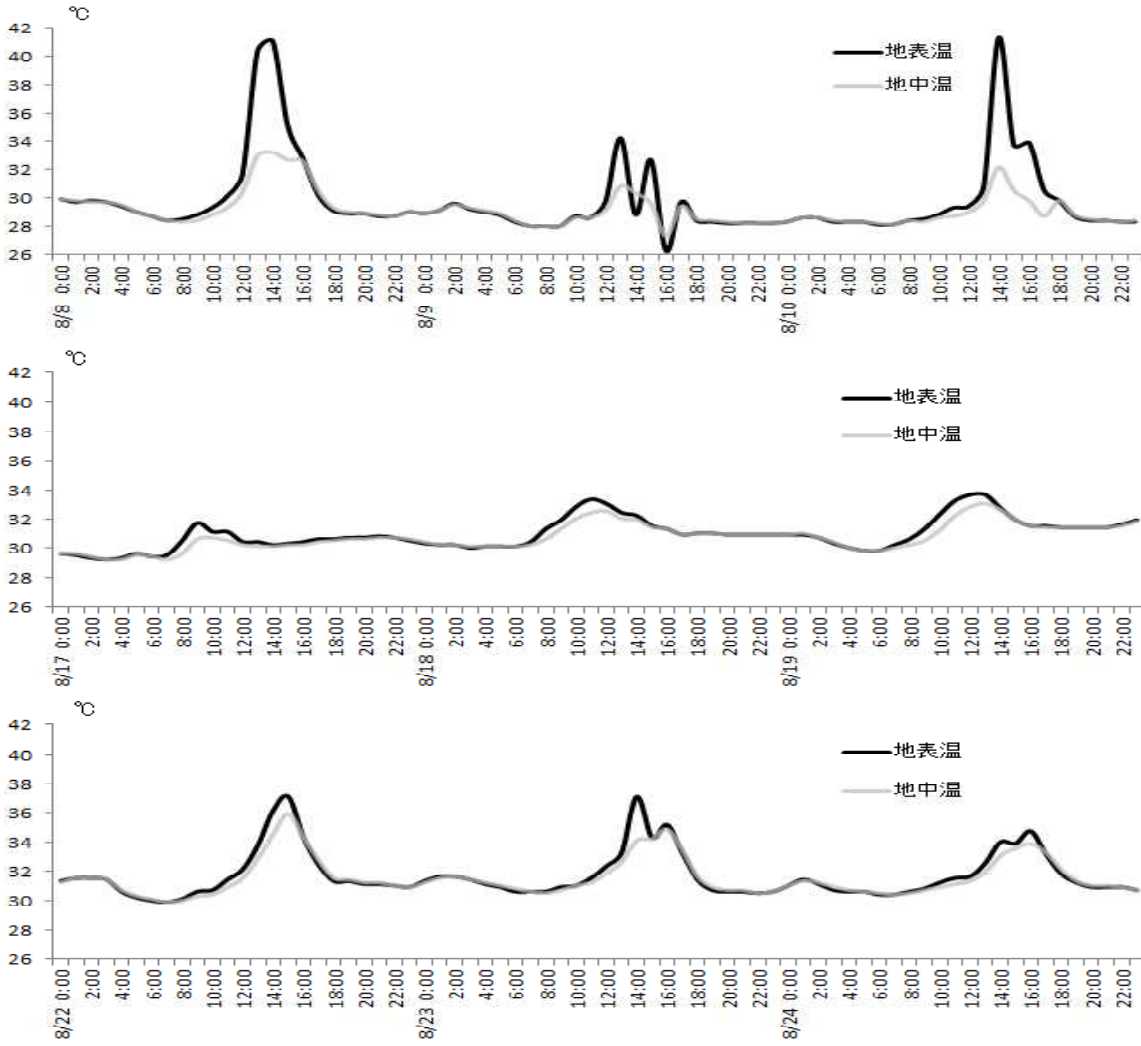


図16 2010年8月の地温の経時変化（小祝地先） 上段：8/8-10、中段：8/17-19、下段 8/22-24

～19日は小潮～長潮、8月22日～24日は中潮～大潮に該当する。

8月8日～10日の地温をみると、地中温、地表温共に28～29℃台であることが多かったが、日中の干潮付近で昇温し、その上昇幅は地表温で大きく、特に8月8日、8月10日には地表温で40℃を超える時間帯が確認され、その地中温との差は+7.4～+9.2℃となった。なお、8月9日の干潮付近の地温の上昇幅は比較的小さく、上下変動しているが、これは降雨、少日照による影響と考えられる(図17)。

8月17日～19日では、地中温、地表温共に日中の干潮付近から昇温し、2～3時間経過後にピークとなり、それ以降、降温するが、経日的にみると各上昇幅に対し下降幅は比較的小さく、徐々に地温が底上げされていく傾向が認められ、期間当初29℃台であった地温が、終盤には31℃台まで上昇している。

表4 2010年8月の潮汐表

2010年	満潮				干潮				潮時
	時刻	潮位(cm)	時刻	潮位(cm)	時刻	潮位(cm)	時刻	潮位(cm)	
8/8	7:01	292	20:18	345	1:35	155	13:41	43	中潮
8/9	7:54	317	20:58	364	2:21	128	14:30	20	大潮
8/10	8:43	340	21:35	375	3:03	104	15:15	5	大潮
8/17	1:07	294	14:44	273	8:03	97	20:29	188	小潮
8/18	1:56	267	16:44	266	9:17	114	22:24	205	小潮
8/19	3:28	247	18:22	281	10:54	118	-	-	長潮
8/22	7:28	286	20:25	329	1:55	150	13:57	75	中潮
8/23	8:05	304	20:53	337	2:26	131	14:32	64	大潮
8/24	8:38	319	21:19	343	2:54	114	15:03	57	大潮

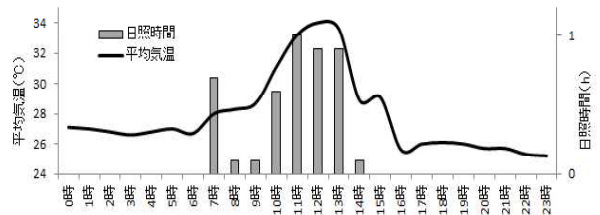


図17 2010年8月9日の平均気温と日照時間及び降水量の推移（中津市）

8月22日～24日では、地中温、地表温共に30℃を下回ることなく、30℃台後半～31℃台であることが多かったが、日中の干潮付近で昇温し、両者の最高値は各日34℃以上を示し、特に8月22日の地中温で36.0℃、また、8月22日、8月23日の地表温で37℃を超える時間帯が確認される。

このように、2010年夏季高温下において地温は、日中の干潮時、当該地盤に対する潮位の高低あるいは干出・非干出により、特徴的な昇温傾向を示すことが確認され、晴天続きで降雨がなく高温な気象条件下にあった1983年夏季(7月22日～8月6日)においても、地温は常時30℃以上となり、日中の干潮付近では地中温34℃、地表温の非干出域37℃、干出域40℃をそれぞれ超えるような日が一定期間継続していたと類推される。

しかも、当地温計測地点より高地盤域においては、さらに高温な状態が長時間、高頻度で現れていたと考えられる。

アサリの高温耐性に関して、木下⁸⁾はアサリの高温海水接触試験等により、アサリの稚貝や成貝の場合、水温が40℃を超えると1～2時間以内に死亡し、35℃以上の水温が24時間持続するとほぼ全数が死亡するとしている。同様に、磯野ら⁹⁾はアサリは25℃を超えると高温阻害が生じ始め、34℃付近では数日以内に死亡し、40℃を超えると数時間内に死亡するとしている。

また、石田ら¹⁰⁾はアサリの空中露出試験により、露出温度40℃、露出時間60～360分で小型稚貝の活力や生残に影響が現れ、35～40℃に小型稚貝の温度限界の閾値があると推定している。

これら既往知見から、夏季高温下で特徴的な昇温傾向を示す干潟域において、数時間あるいは数日間というスケールの中で、一時的、断続的に高温に晒されるアサリの影響を単純に推し測ることは出来ないが、少なくとも1983年夏季の高温状態がアサリ個体の生理活性を低下させ、これが大量へい死の引き金になったと判断される。

なお、本報では、1983年夏季の異常高温によりアサリの大量へい死が発生したという前提のもと検討を進めてきたが、当然、他のへい死要因が絡んでいた可能性を否定するものではないことを付け加える。

一方、気温の長期変動は明らかな上昇傾向を示しており(図6、表1)、夏季の月別上昇率(表2)も高いことが認められる。これに関連し、1980～1989年及び2003～2012年夏季における高温日の状況を見ると(表5)、アサリ大量へい死期間と推定した1983年7月22日～

表5 1980～1989年及び2003～2012年夏季の平均気温(中津市)

	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
7/1																				
7/2																				
7/3																				
7/4																				
7/5																				
7/6																				
7/7																				
7/8																				
7/9																				
7/10																				
7/11																				
7/12																				
7/13																				
7/14																				
7/15																				
7/16																				
7/17																				
7/18																				
7/19																				
7/20																				
7/21																				
7/22																				
7/23																				
7/24																				
7/25																				
7/26																				
7/27																				
7/28																				
7/29																				
7/30																				
7/31																				
8/1																				
8/2																				
8/3																				
8/4																				
8/5																				
8/6																				
8/7																				
8/8																				
8/9																				
8/10																				
8/11																				
8/12																				
8/13																				
8/14																				
8/15																				
8/16																				
8/17																				
8/18																				
8/19																				
8/20																				
8/21																				
8/22																				
8/23																				
8/24																				
8/25																				
8/26																				
8/27																				
8/28																				
8/29																				
8/30																				
8/31																				

記号 気温
 ● ≥30℃
 ○ ≥29℃
 · ≥28℃
 <28℃

8月6日と同様の高温状態が、2003～2012年において頻繁に確認されることから、近年夏季の干潟域におけるアサリの生息環境は非常に厳しい高温条件下にあると考えられる。

浜口¹¹⁾は中津干潟のアサリについて7～9月に成長停滞やへい死が起こり、障害輪はこの時に形成されるとし、その原因として気温上昇によるアサリの生理活性の低下等を挙げている。近年、アサリ資源が低位のまま、回復しない一因として、このように夏季高温化による影響が示唆される。すなわち、豊前海干潟域におけるアサリ、特に新規加入した稚貝は、夏季高温により大幅に減耗し、例え、へい死に至らずとも、その後の成長や生残に悪影響が及んでいる可能性がある。

摘 要

1983年夏季の異常高温が原因とされる豊前海アサリ大量へい死事例を取り上げて、気象・海象データを整理し、夏季高温とアサリへい死の関連性について検討した。

- 1) 中津市における1980～2012年の気温の長期変動は明らかな上昇傾向を示していた。
- 2) 中津市において2010年8月は高温な気象状況下にあった。1983年7月22日～8月6日についても同様であり、この期間が、アサリ大量へい死の原因とされる異常高温時に当たると考えられた。
- 3) 中津市小祝地先における2010年8月高温下での地温は特徴的な昇温傾向を示すことが確認された。1983年7月22日～8月6日についても同様の昇温傾向が一定期間継続していたと類推され、これが干潟域のアサリ個体の生理活性を低下させたと判断された。
- 4) アサリ大量へい死期間と推定した1983年7月22日～8月6日と同様の高温日が、2003～2012年夏季において頻繁に確認されたことから、近年夏季の干潟域におけるアサリの生息環境は非常に厳しい高温条件下にあると考えられた。
- 5) 近年、アサリ資源が低位のまま、回復しない一因として、夏季高温化による影響が示唆された。

引用文献

- 1) 木村聡一郎. 小祝地先における二枚貝類の分布. 大分県農林水産研究指導センター研究報告(水産研究部編)2013;3:13-20.
- 2) 木村聡一郎, 並松良美. 豊前海におけるアサリ資源回復に関する調査研究-3 資源供給漁場造成効果調査②(稚貝調査等). 平成23年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告2012;229-231. 武
- 3) 安村昭, 国武和人, 田染博章, 上城義信, 石川佑司, 吉肇, 窪田史朗, 横松芳治. 中津市小祝地先の浮泥によるアサリ大量へい死調査. 昭和56年度大分県浅海漁業試験場事業報告1983;119-121.
- 4) 安村昭, 国武和人, 田染博章, 石川佑司, 窪田史朗, 小原俊行, 日隈邦夫. 豊前海アサリへい死状況調査. 昭和57年度大分県浅海漁業試験場事業報告1983;141-145.
- 5) 久野操, 田染博章, 石川佑司, 小原俊行, 小川浩, 末吉隆. 豊前海アサリ大量へい死被害調査. 昭和58年度大分県浅海漁業試験場事業報告1984;107-112.
- 6) 野田誠, 宮村和良. 資源・環境に関するデータの収集・情報の提供事業-3 浅海定線調査等(伊予灘・別府湾). 平成24年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告2013;115-118.
- 7) 三代和樹, 福田祐一, 齊藤肇, 秋山吉寛. アサリ資源回復にむけての人工転石帯の有効性. 大分県農林水産研究指導センター研究報告(水産研究部編)2011;1:23-28.
- 8) 木下秀明. アサリの卵・浮遊幼生・稚貝の高温耐性. 海洋生物環境研究所研究報告1985;85204:1-38.
- 9) 磯野良介, 喜田潤, 岸田智穂. アサリの成長と酸素消費量におよぼす高温の影響. 日本水産学会誌1998;64(3):373-376.
- 10) 石田俊朗, 石田基雄, 家田喜一, 武田和也, 鈴木好男, 柳澤豊重, 黒田伸郎, 荒川純平. 夏季のアサリ小型稚貝の移植について. 愛知県水産試験場研究報告2005;11:43-50.
- 11) 浜口昌巳. 一次生産の変化と有用種の関係(二枚貝). 水産総合研究センター研究報告2011;23:33-47.