

有明海湾奥部における夏期の海況と気温・降水量及び河川流量の影響

吉本 宗央・杠 学*

Sea Conditions in Summer in the Inner Part of Ariake Sea
and Influence by Air Temperature, Precipitation and River Discharge

Muneo YOSHIMOTO and Manabu YUZURIHA*

まえがき

有明海の海況は、干満差が大きく、遠浅なために内湾性の特徴を示す¹⁾とされているが、佐賀県有明海はこの中でも最も湾奥部に位置し、広大な干潟や多数の流入河川により気象条件の影響を強く受ける²⁾ことが知られている。特に、夏期は1年の最高温期で、また、多雨期に当たるため、水温や海水比重に与える影響は大きいと想像される。気温は、この時期に産卵するサルボウなどの魚介類の産卵生態³⁾と密接に関係し、また、集中豪雨による海水比重の低下で貝類が大きな被害を受けることも少なくない。さらに、赤潮の発生も高温期を通じ常時みられるが、昭和63年以来、魚介類に被害を与えるシャトネラ⁴⁾が続けて出現するように

なり、水産業に与える影響が懸念されている。加えて、この時期の降水量はノリ漁期の栄養塩の挙動⁵⁾と関係し、前駆現象としても予測指標としても重要な意味をもっていることが知られている。

このような有明海の夏期の海況については、ノリ漁期に当る冬期に比較して、報告例⁶⁾が少なく、気象要素との関係を解析した事例も、意外と少ない。そこで、昭和49～平成2年のサルボウ浮遊幼生調査の観測結果を用いて、有明海湾奥部の干潟前縁域(干潮線及びその周辺域)における夏期の水温、比重、溶存酸素の変動及びこれら海況要素と気象条件や河川流量との関係について解析し、若干の考察を行なったので報告する。

方 法

サルボウ浮遊幼生調査³⁾は、昭和49年から開始、毎年6～9月に、旬に1～2回、満潮時に実施し、この間の調査回数は7～13回である。調査地点は、52年までが図1に示すSt.1～4の4点、53年からはSt.5を加え、計5点である。地盤高(潮位基準面からの高さ)は、St.1、5が0～0.5m、St.2、3が-0.5m、St.4が-2.5mである。

調査項目は水温、比重で、昭和61年以降はDOを新たに加えた。

水温、比重及びDOは、表層と底層を測定した。底層の採水には北原式採水器を使用し、水温は、棒状水銀温度計を用い現場で、比重は海水試料を実験室に持ち帰り後、サリノメータ(鶴見精機製E-2型)を用いて塩分を測定し、この値を15°Cの

* 現佐賀県栽培漁業センター (Saga Prefectural Sea Farming Center.)

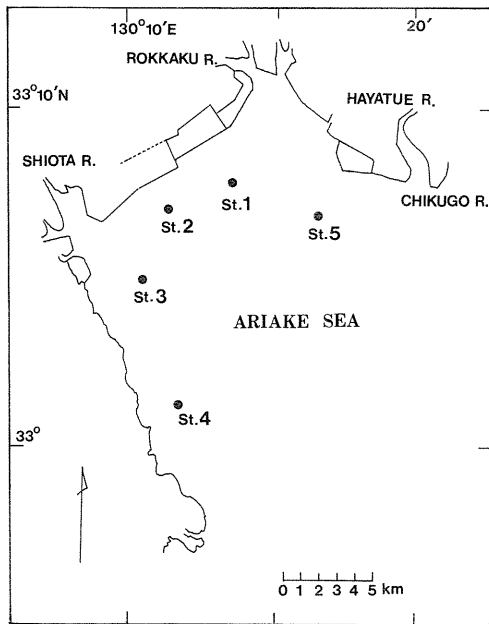


図1 調査地点

比重に換算して表わした。また、DOは現場固定後、ウィンクラ-法によった。

水温、比重は、観測日が旬の前半か後半かを問わず、旬1回の観測ではその値を、2回観測の場合にはその平均値を、旬の代表値として取り扱い、これらを累年平均したものをも旬平均値、6月中旬～8月中旬の各旬の観測値を平均して期間平均値とした。また、気温と水温の比較に当っては、各旬の観測値と旬平均気温とを対応させた。

なお、本報では海況と気温、降水量及び河川流量との関係を解析したが、このうち気象観測値は、佐賀県気象月報に記載された佐賀地方気象台気象月表の数値を用いた。また、河川流量は、筑後川が瀬ノ下流量観測所(流域面積2315km²)、六角川が妙見橋流量観測所(同95km²)の観測値であり、建設省河川局編の流量年表に記載された昭和49～62年の数値を用いた。

結果及び考察

1. 気象の長期的変動

6～8月平均気温及び合計降水量の大正1年～平成2年の年変動をそれぞれ図2、3に示す。

夏期の気温は、昭和20年代の半ばを境に、それ以降は、以前に比較してほぼ0.5℃上昇している。26℃をを目安にしてみると、昭和30年以前は、この線を越える年が皆無なのに対し、その後になると10回も出現している。

6～8月の合計降水量には、気温のような明瞭な変動傾向はみられない。しかし、1200mmを越える大量の降雨年は、昭和20年代後半から数年おきに出現しており、やや増加傾向にあるものと考えられる。

2. 夏期の海況変化

1) 水温と比重

昭和49年～平成2年の水温、比重を各旬、各層毎に平均して、旬別変化として図4、5に示した。また、旬平均気温及び旬降水量の昭和49年～平成2年平均値を、それぞれ図4、5に併示し、水温、比重の変化と比較した。さらに、6月中旬～8月

中旬の水温、比重を、層別に平均し、その年変化を図6、7に示す。また、旬平均気温の6月中旬～8月中旬平均値及びこの間の合計降水量を、それぞれ図6、7に各年別に併示し、水温、比重の変化と比較した。また、このような気温と水温、降水量と比重の期間平均値の関係を、それぞれ直交座標として図8、9に表わした。

平均的にみた夏期の表層水温は、6月上旬には23℃前後で、その後8月上旬まで上昇し、8月上旬には最高値に達して28℃を越える傾向を示す。その後、8月下旬までは28℃前後で推移する。底層水温は、表層に比べて1～2℃程度低く推移するが、その差は7月下旬～8月上旬に約2℃と最大になり、水温躍層が発達して水塊が成層化することを示している。また、表層水温の6月中旬～8月中旬平均値は、25～28℃で、年較差は大きく最高3℃を越える。底層の期間平均水温は、表層から1～2℃低く、同じような年変動を示し、49年以降では昭和53、56、平成2年が27℃を越える高温年、昭和49、51、55年は25℃以下の低温年であっ

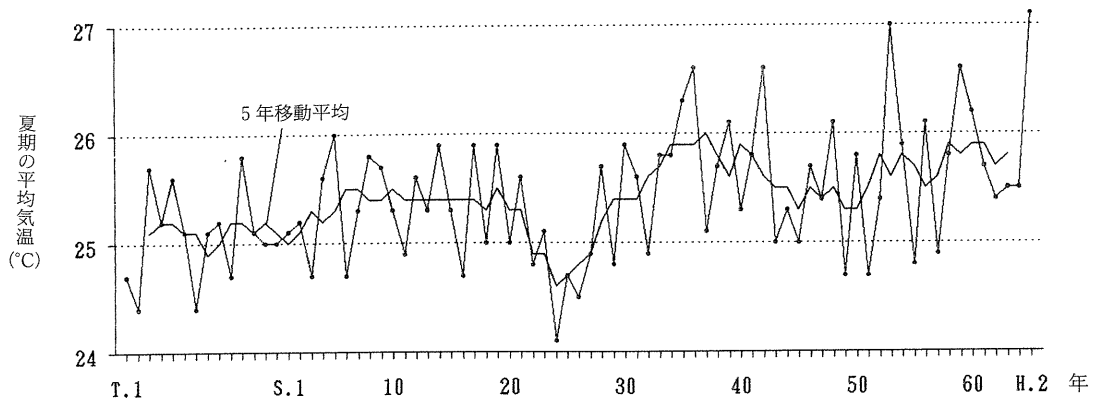


図2 佐賀市における夏期平均気温の年変動（大正11年～平成2年）

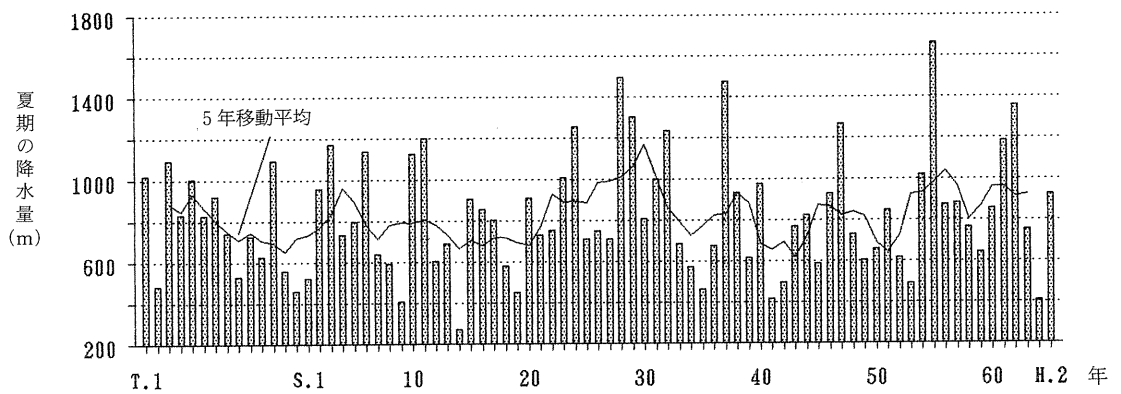


図3 佐賀市における夏期の総降水量の年変動（大正11年～平成2年）

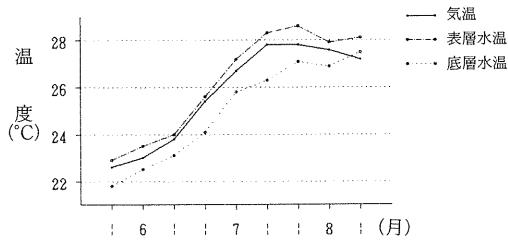


図4 水温，気温の旬別変化（S.49～H.2年平均）

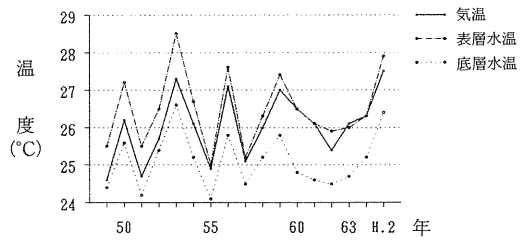


図6 夏期平均水温，気温の年変動（6月中旬～8月中旬平均）

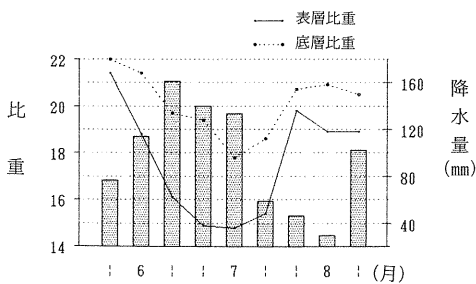


図5 比重，降水量の旬別変化（S.49～H.2年平均）

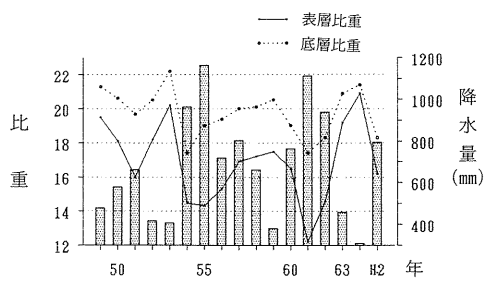


図7 夏期平均比重，総降水量の年変動（6月中旬～8月中旬平均）

た。このような水温の変動は、気温の変化傾向に酷似しているが、これは、有明海湾奥部が、浅海域であり、水温が気温による影響を強く受けるためと考えられる。

一方、夏期の底層比重の平均的な変化は、梅雨期に入る6月中旬から梅雨明けの7月上中旬までの低下が急激で、6月初めの20以上から15以下まで下がる。底層比重は類似した変動傾向を示すが、常に表層より高く推移し、梅雨期にも表層ほどは低下しないために、この時期には特に表層との差が大きくなり4以上となる。また、表層比重の6月中旬～8月中旬平均値は12～20で、年較差は大きく8以上にもなる。底層比重は、表層に比べて変動幅は小さいが、18～22で類似した変動傾向を示し、昭和49年以降では昭和49, 53, 平成1年が21以上の高比重年、54, 61年が18以下の低比重年であった。これらの変化は、いずれも降水量と反比例する傾向を示し、内湾である有明海では、比

重が雨による影響を強く受けて変動していることを示唆すると考えられる。

2) DO

昭和61～平成2年のDOを各旬、各層毎に平均して、旬別変化として図10に示した。また、水温とDOの鉛直較差（表層と底層の差、以下同じ）の関係を図11に示した。

表層のDOは4～6 ml・ℓ⁻¹であり、7月中旬には6 ml・ℓ⁻¹以上と最高値を示すが、8月中下旬には4 ml・ℓ⁻¹台まで低下する。底層のDOは、常に表層より低く、2～4 ml・ℓ⁻¹であり、7月下旬には2 ml・ℓ⁻¹と最低値を示し、表層との差は最大になり3 ml・ℓ⁻¹を越える。DOと水温の鉛直較差には図11のような密接な関係があり、この時期は、前述の水温躍層の発達期に相当することから、水塊が安定して底層が貧酸素状態になるものと考えられる。このように有明海の干潟前縁部における底層のDOは、干満差が大きく、潮流が速いわり

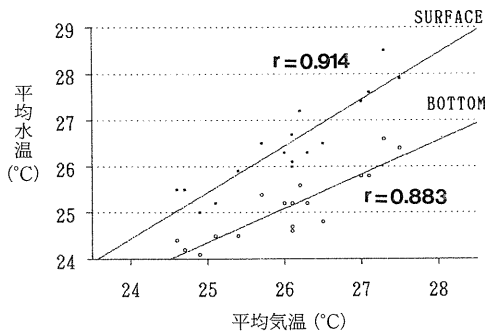


図8 夏期平均水温と平均気温の関係(S. 49～H. 2年)

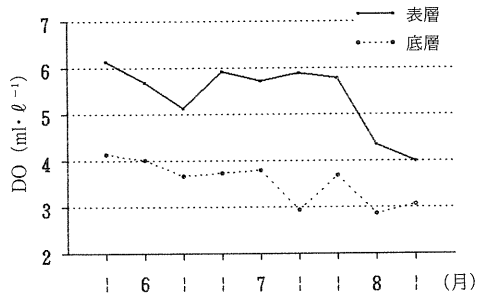


図10 DOの旬別変動(S. 61～H. 2年平均)

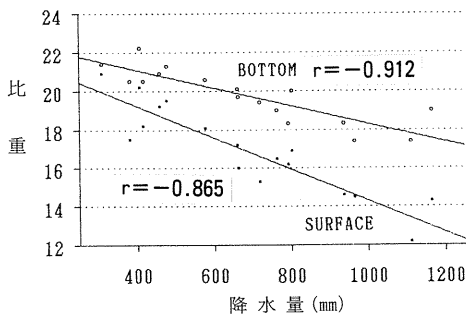


図9 夏期平均比重と総降水量の関係(S. 49～H. 2年)

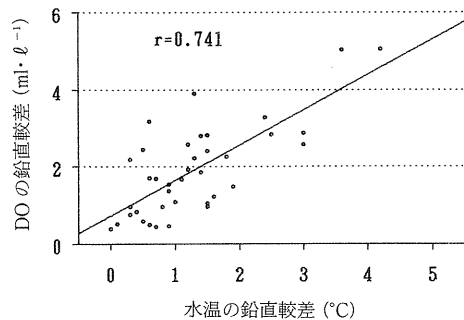


図11 DOと水温の鉛直較差(表層-底層)の関係

にはかなり低水準であり、年によっては $1\text{ ml}\cdot\ell^{-1}$ 台まで低下することもある。これまで、夏期の貝類等の斃死原因については、漁場の淡水化や高温によるものなど直接的な要因ばかりが目されがちであったが、この結果は、DOも副次的に生物に影響を与えるものとして無視できないことを示している。

3. 調査地点の特徴

各調査地点は、当海域におけるサルボウ養殖場の代表としての意味をもっている。また、他の海況調査⁶⁾やノリ漁期における海域区分^{7,8)}の際の地点とも重複しており、干潟前縁域における夏期の海況特性とこれらを比較する目的もあって調査地点の特徴について検討する。

地点別の水温、比重及びDOの旬別変化(層別)と鉛直較差をそれぞれ図12~14に示した。また、水温、比重の各地点間の差を層別に、組合せごとに計算して、表1~4に示した。

表層水温は、全般的に $\text{St. } 2 > 3 > 1 > 4 > 5$ の順に低くなる傾向を示し、7月上中旬には地点間の差が、統計的にも有意なものになる。St. 2とSt. 4, 5の差は期間を通じて比較的大きい。底層水温は、 $\text{St. } 1 > 3 > 5 > 2 > 4$ の順に低い傾向を示し、St. 4は他の4点と比較して期間を通じて低い。一方、鉛直較差は、St. 4で大きく、次いで、St. 2, 3の順で、st. 1, 5では 1°C 以下で最も小さい。

表層比重は、梅雨期以外はほぼ $\text{St. } 4 \geq 5 >$

表1 旬別にみた表層水温の地点間差 ((A)-(B))

(A)	(B)	6上	6中	6下	7上	7中	7下	8上	8中	8下
St. 2	St. 3	0.43	0.18	0.15	0.11	0.39**	0.01	0.11	0.16	-0.08
	St. 1	0.33	0.03	0.24	0.29	0.45**	0.21	0.21	0.25	-0.01
	St. 4	0.63*	0.41	0.25	0.52*	0.69**	0.35	0.15	0.28	-0.14
	St. 5	1.01**	0.44	0.60**	0.84**	0.88**	0.41	1.10**	0.90**	0.55
St. 3	St. 1	0.10	-0.15	0.09	0.21	0.19	0.19	0.10	0.09	0.06
	St. 4	0.20	0.19	0.10	0.41*	0.31	0.34	0.04	0.12	-0.06
	St. 5	0.59*	0.20	0.35	0.93**	0.72**	0.44	0.87**	0.72**	0.63
St. 1	St. 4	0.30	0.32	0.01	0.19	0.19	0.15	-0.06	0.02	-0.13
	St. 5	0.69*	0.56**	0.31	0.72**	0.38	0.43	0.88**	0.76**	0.56
St. 4	St. 5	0.39	0.12	0.12	0.42	0.18	0.18	0.79*	0.51*	0.69*

*危険率5%で有意 **危険率1%で有意

表2 旬別にみた底層水温の地点間差 ((A)-(B))

(A)	(B)	6上	6中	6下	7上	7中	7下	8上	8中	8下
St. 1	St. 3	0.47*	0.23	-0.01	0.21	0.12	0.41**	0.50*	0.15	0.01
	St. 5	0.54*	0.11	0.41**	0.18	-0.14	-0.02	0.38**	0.41*	0.30
	St. 2	0.44*	0.37	0.21*	0.24	0.44*	0.54**	0.63**	0.28	0.22
	St. 4	1.21*	0.80**	0.46*	0.69**	1.53**	1.22**	1.39**	0.71**	0.43*
St. 3	St. 5	0.07	-0.25	0.41*	0.06	-0.01	-0.46	-0.21	0.25	0.29
	St. 2	0.03	0.13	0.22*	0.09	0.31	0.14	0.13	0.13	0.21
	St. 4	0.65*	0.59**	0.47**	0.49*	1.37**	0.82**	0.89**	0.62**	0.42*
St. 5	St. 2	0.10	0.14	-0.18	0.02	0.48*	0.52	0.11	-0.06	-0.08
	St. 4	0.67	0.76*	0.17	0.60*	1.96**	1.53**	1.16*	0.36	0.13
St. 2	St. 4	0.77*	0.44*	0.25	0.40	1.13**	0.68*	0.77	0.52*	0.21

*危険率5%で有意 **危険率1%で有意

3 > 1 > 2 の順に低くなるが、梅雨期には St. 5 の低下が激しく、水温のような全般的な地点差がみられない。底層比重は、St. 4 > 2 > 3 > 1 > 5 で、St. 4 と他の 4 地点とは統計的にも有意な差がみられる。一方、鉛直較差は、水温と全く同じ傾向を示し、St. 4 > 2 > 3 > 1 > 5 の順に小さく、St. 5 では 2 前後にすぎない。この傾向は、底層比重の傾向と全く同じで、底層比重が高い地点ほど、鉛直較差が大きいことを示している。

表層の DO は、St. 2 > 3 > 4 > 1 > 5 の順に低くなるが、底層では、St. 5 > 1 > 3 > 2 > 4 となり、St. 4 を除いて考えると、St. 2, 3 と St. 1, 5 の関係は、表層とは全く逆になる。鉛直較差は、St. 4 > 3 > 2 > 1 > 5 で、ほぼ底層 DO と逆の傾

向を示し、底層 DO が低い地点ほど鉛直較差が大きいことを意味している。

以上を総合すると、St. 4 は表層が、他地点に比べ常時低水温、高比重であり、この時期には沖合水が陸水に比べて低水温であること⁶⁾に留意すれば、相対的に沖合水の影響が強い水域であると考えられる。また、鉛直較差は全般的に大きいのが、これは他の地点よりも水深がやや深いためと考えられる。一方、St. 4 以外の各地点を比較すると、水温、比重、DO の鉛直較差の大小はいずれも同じ順位を示すことがわかる。しかも、鉛直較差が小さい地点ほど底層の比重は低く、また、逆に DO は高い傾向にあり、上下混合されて表層と底層の環境値が均一化された地点ほど、この数値が小

表 3 旬別にみた表層比重の地点間差 ((A)-(B))

(A)	(B)	6上	6中	6下	7上	7中	7下	8上	8中	8下
St. 4	St. 5	0.71	-1.52	0.31	1.43	0.97	0.11	-0.80	-0.23	-0.06
	St. 3	0.67	-0.16	-0.02	1.17	0.94*	0.19	0.04	0.35	0.29
	St. 1	0.76*	0.53	0.91	1.40	0.89	-0.36	-0.22	0.45	0.41
	St. 2	1.01	0.55	0.35	0.93*	1.66**	0.19	-0.29	1.04*	0.61
St. 5	St. 3	0.04	1.17	0.15	1.25	-0.23	0.23	0.90	0.57*	0.34
	St. 1	0.04	1.22	0.40	0.13	0.21	0.00	0.59	0.96	0.47
	St. 2	0.30	1.57	0.23	1.78*	0.58	0.38	0.55	1.47*	0.67
St. 3	St. 1	0.09	0.68	0.72	0.03	-0.05	-0.49	-0.32	0.31	0.13
	St. 2	0.34	0.65*	0.35	0.53	0.57	0.04	-0.33	0.58	0.33
St. 1	St. 2	0.26	-0.03	-0.19	0.22	0.47	0.53*	-0.01	0.37	0.20

*危険率 5% で有意 **危険率 1% で有意

表 4 旬別にみた底層比重の地点間差 ((A)-(B))

(A)	(B)	6上	6中	6下	7上	7中	7下	8上	8中	8下
St. 4	St. 2	0.70	0.09	1.33	1.34*	2.72**	2.00*	0.68	0.83	0.98
	St. 3	0.53*	0.19	1.30	1.58**	2.74**	1.76**	0.78*	0.84**	0.96*
	St. 5	0.97	0.47	2.39	2.80**	4.18**	3.09**	0.80	0.68	0.79
	St. 1	1.30	0.72**	1.74	0.33	2.92**	2.28**	1.24**	0.99**	0.90**
St. 2	St. 3	0.17	0.09	-0.03	0.18	0.15	-0.24	0.10	0.05	-0.01
	St. 5	0.27	0.15	0.14	0.78	0.81	0.41	-0.08	-0.01	-0.19
	St. 1	0.60*	0.63**	0.41	-0.14	0.33	0.28	0.45*	0.19	-0.08
St. 3	St. 5	0.44	0.29	0.51	0.78	0.64	1.02*	-0.01	-0.14	-0.18
	St. 1	0.77	0.53*	0.44	-0.04	0.18	0.52	0.39	0.15	-0.06
St. 5	St. 1	0.33**	0.26	0.13	-1.20	-0.58	-0.41	0.55**	0.35	0.11

*危険率 5% で有意 **危険率 1% で有意

さくなることを意味しており、つまり、鉛直較差は水塊の上下混合の度合いを表わすと考えられる。鉛直較差が最も小さいのは、St. 5 であり、早津江川の滞筋に位置し、また、表層の水温が低く、梅雨期には低比重、それ以外は高比重傾向を示すことから、沖合水と陸水の混合が活発で、比較的沖合水の影響が強い海域であると考えられる。St. 1 の鉛直較差は、その次に小さく、六角川の河口域に位置し、一般的に表底層とも低比重で、水温は St. 2, 3 に似て割合に高い傾向にあることから、沖合水と陸水の混合する地点ではあるが、St. 5 と比較すると相対的に陸水の影響が優っている水域であると考えられた。St. 2, 3 はともに、St. 1, 5 に比べて混合度が低く、水温、DO の鉛直較差は7月下旬に最大となって水温躍層が発達し、表層は高水温、底層は貧酸素になる海域である。

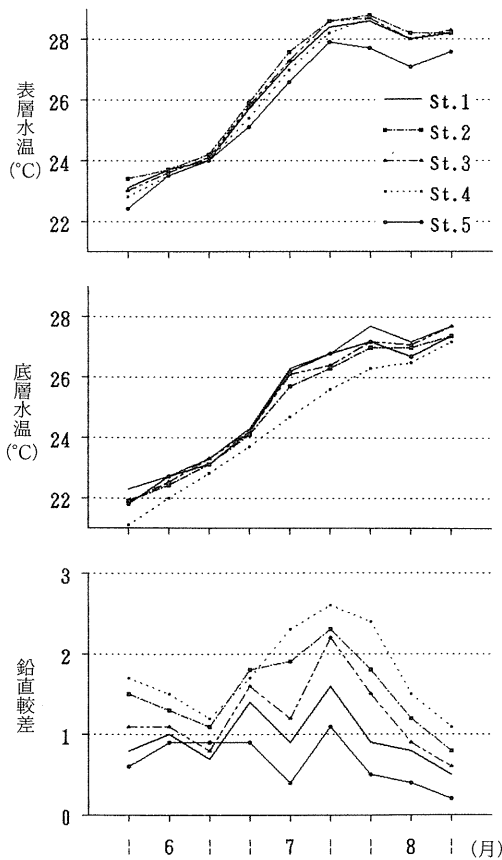


図12 地点別にみた水温の旬別変化

4. 水温・比重と気象変化の関係

1) 水温と気温の関係

まず、かなり特異な気象条件下における水温と旬平均気温の関係を見るため、高温年として、昭和53年と平成2年、低温年として昭和51年と55年をとりあげ図15に例示してみた。

水温は、高温年、低温年とも気温と酷似した時期的変動を示す。層別にみると、表層水温は底層に比べ気温の変化に即応して変動幅が大きい傾向を示すようである。

次に、このような気温と水温の関係を一般的に考察してみる。

図16は、昭和49～平成2年の水温と旬平均気温の年間偏差をそれぞれ旬別に計算し、両者を各調査時毎に対応させて示したものである。調査前旬の気温とは、調査を実施した旬の1つ前の旬平均

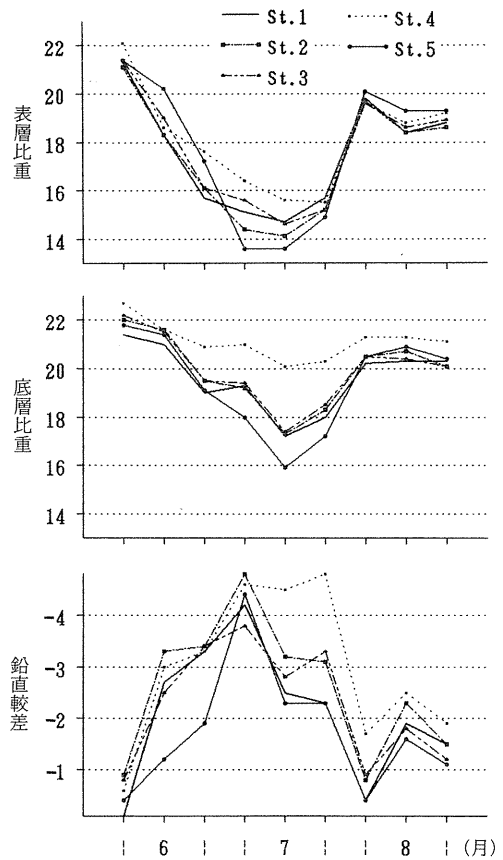


図13 地点別にみた比重の旬別変化

気温のこと、調査当旬気温とは、調査を実施した旬の旬平均気温、当旬+前旬は、この2つの平均値である。これらの旬平均気温と、水温は、相関係数が0.46~0.69の相関を示し、水温の値は、第1象限と第三象限にほぼ偏り、つまり、気温が平年以上(+)(平年以下(-))のときは、水温も平年以上(+)(平年以下(-))と考えてほぼ間違いないと考えられる。また、調査当旬気温と表

層、底層水温の相関係数は、0.6以上で、前旬気温の場合に比べて高く、つまり、水温は、気温の変化に、短時間で応答した変化を示すと考えられる。さらに、底層水温は、表層と比べると当旬気温との相関は低いが、前旬気温との相関が高く、これは気温に対する応答時間が、表層よりも比較的遅くなるためと考えられる。

同様に、地点別に水温と当旬平均気温各々の平年偏差の相関係数を計算し、表5に示した。両者の相関は、表、底層ともSt.1, 5で高く、他の地点と比べて水温の変化が気温と密接に結び付いていることを示している。St.1, 5は陸水の影響を受ける地点であったが、一般に陸水は気温の変化を受け易く⁹⁾、そのために、この両地点では、間接的に気温の変化を強く反映すると思われる。反対に、陸水の影響が弱いと考えられるSt.4では相関係数が最も低く、水温と気温の関係は他地点よりも希薄になっている。

2) 比重と降水の関係

降水による海水比重の低下パターンを知るため、昭和53, 59, 60年, 平成1, 2年における両者の変化を図17に例示した。これらの例は、ある量の降水があった時の比重低下と回復を単純化したパターンでみれるように、最初にまとまった降水があり、その後、比較的降水が少なかった典型的な年を、作為的に選び出したものである。

小潮前後の降水や大潮(月齢0または15)から小潮(月齢7または21)に向かう期間(通称“オテガラ”)というの降水は、比重を低下させる傾向がある。59, 60, 平成2年のように、この期間に150mmを越える降水があると、比重は表層で10以下、底層では15前後まで低下し、低下前まで回復する

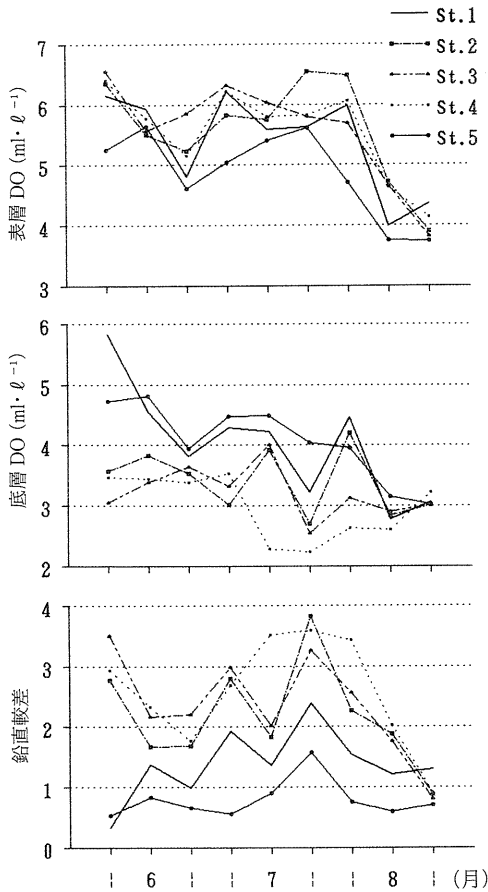


図14 地点別にみたDOの旬別変化

表5 水温平年偏差と当旬気温平年偏差の相関係数

項目 / 地点	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	地点平均
表層水温	n 128	127	126	125	99	128
	r 0.718	0.697	0.647	0.629	0.702	0.690
底層水温	n 129	128	127	126	101	129
	r 0.646	0.622	0.623	0.422	0.687	0.646

n : データ数 r : 水温(Y)と気温(X)の相関係数で、 $Y = bX$ の回帰係数(b)とは同値

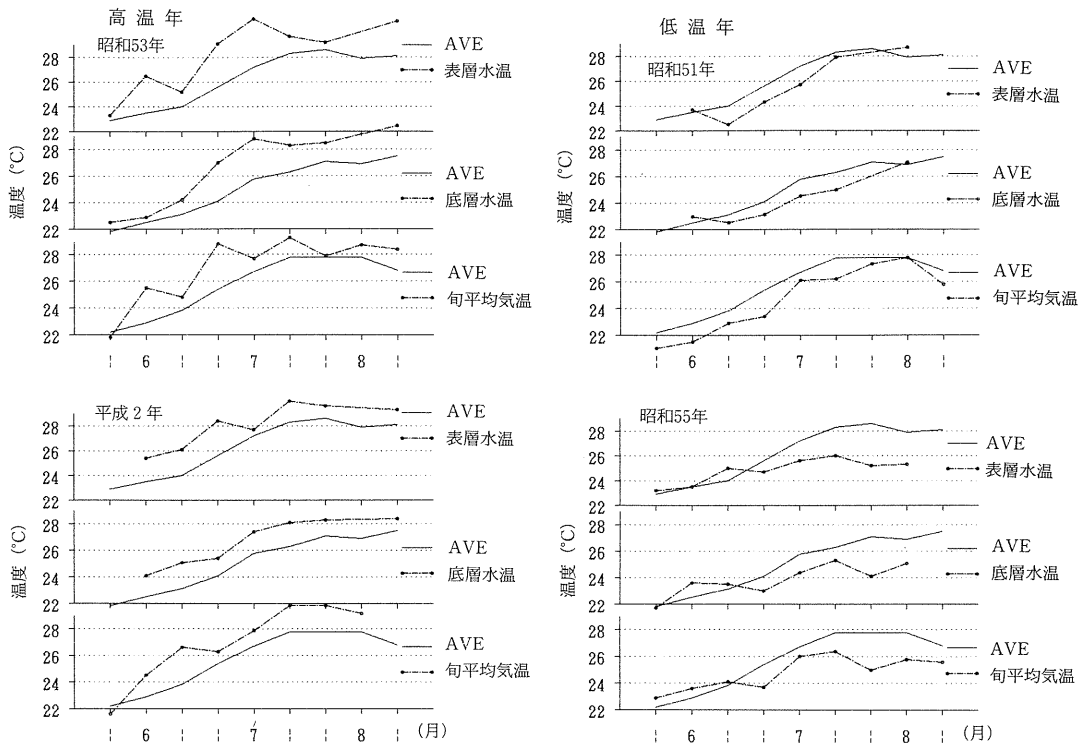


図15 高温年，低温年における水温，気温の変動パターン

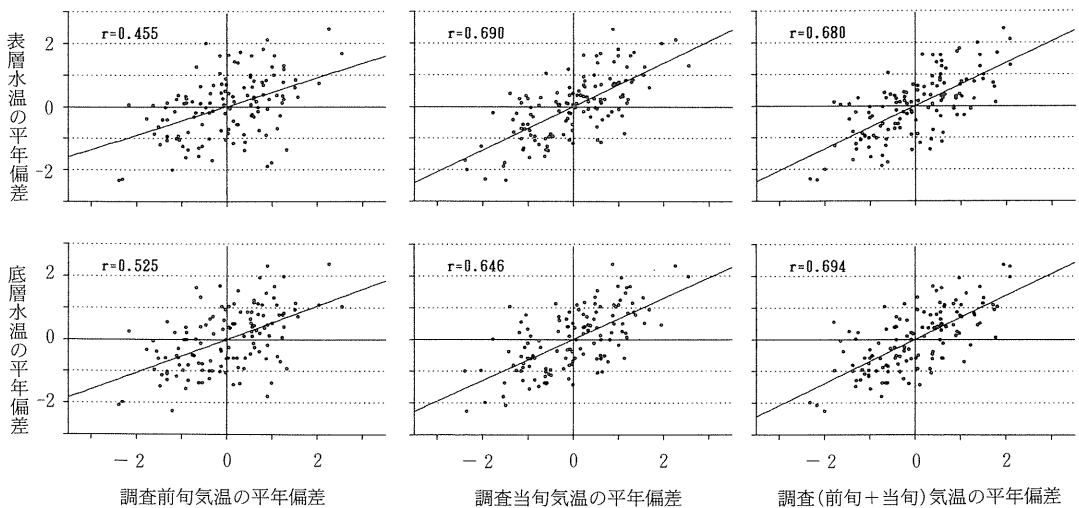


図16 旬別にみた夏期の気温変化と水温変化の関係

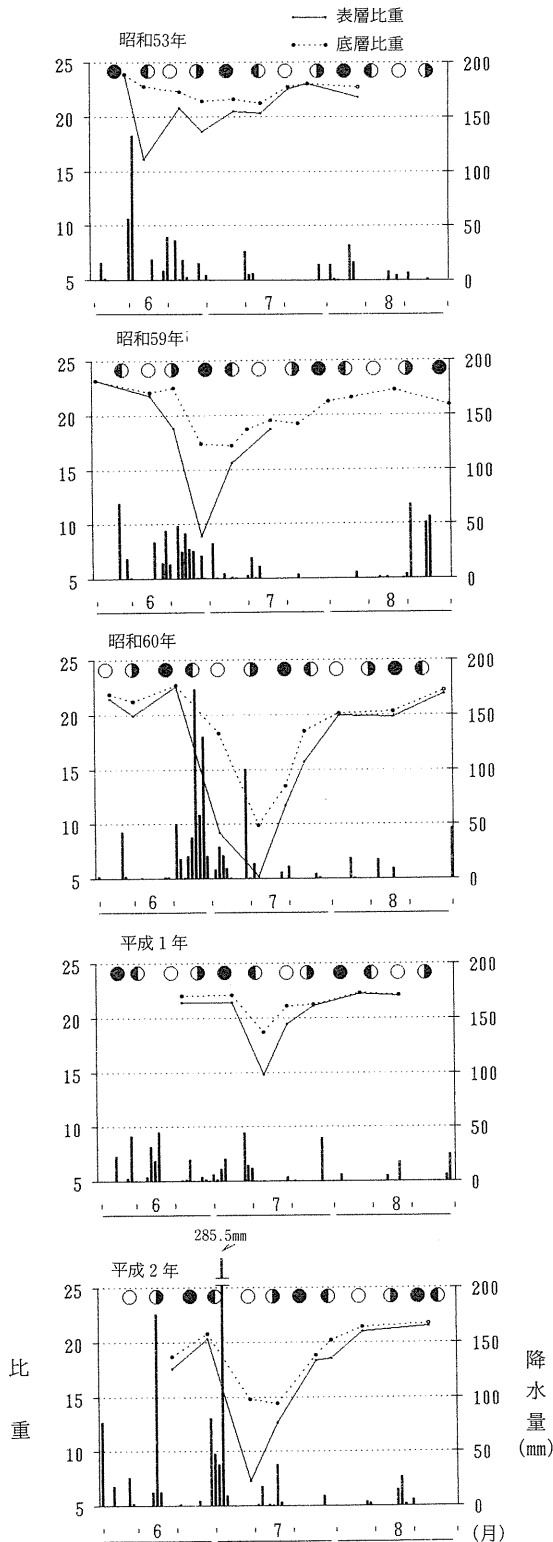


図17 梅雨期の降水による比重の低下パターン

には、ほぼ2潮（月齢30日間）もかかる。一方、53、平成1年のように、比較的小雨年で、50mm以内の降水が散発的にある場合でも、小潮またはオテガラ（潮干）の降水は、比重を低下させるが、大潮または小潮から大潮に向かう時期（通称“オキグチ”という）の降水はほとんど比重を低下させないようである。

次に、このような比重と降水量の関係を一般的に考察してみる。

図18は、比重をその調査日前5日間及び前10日間の合計降水量と対応させて、各調査時毎に示したものである。また、表6には大潮、小潮時別に比重と降水量の相関係数と回帰係数（傾き＝低下率）を計算して示した。満月、新月とその前後2日間を大潮調査時、上、下弦とその前後2日間を小潮調査時とした。また、表7には地点別の比重と降水量の相関係数と回帰係数を同様に示した。

比重と降水量は、負の相関を示し、調査前5日間に100mm以上の降水があると、表層比重は15以下、前10日間に150mm以上の降水があると、底層比重は20以下になると考えてほぼ間違いない。また、表層比重は底層に比べて降水量との相関が強く、低下率（傾き）も大きくて、表層水は降水の影響をじかに受け変動していることがわかる。また、降水量の合計期間別に比重との関係を見ると、前5日間の方が前10日間合計よりも低下率は高いが、相関が低くなる。これは、比重回復に2潮もかかることからわかるように、降水の影響がかなり長い時間持続し、しかも5日間を単位としてみた場合には、潮汐周期（オキグチ、オテガラ等）で比重に与える影響にバラつきが出るためであろう。

潮汐別にみると前5日間降水量との相関係数は小潮時が高く、低下率（傾き）も大きくて、小潮時の比重が降水の影響を強く受けることを示している。一方、前10日間降水量との相関係数は反対に大潮時で高い。これは、降水を10日間単位で区切った場合、期間内に小潮、大潮の両方を含んでしまうため、例えば、降水量としては同じであるが一方は小潮、他方は大潮時に降った雨が比重に与える影響は、大潮時が調査日、小潮時が調査

日から逆算して月齢 1/4 周期前の場合には、オキグチから大潮時にかけて干満差が大きくなるため、両者はかなり均一化されてしまうと考えられ、この結果、相関が高くなるのであろう。これに対し、小潮時調査の場合には、両者には相当なバラつきが出ると考えられる。

地点別にみると、降水量と表層比重の相関係数にはほとんど差がないが、底層比重との相関は、St. 5 で最大となり、St. 4 で最小になるため、気温の場合と同様、陸水の影響として一応説明することができる。しかし、St. 1 の相関係数は St. 2, 3

より小さくなり、この中では St. 1 が六角川河口域にあり河川水の影響が大きいことを考えると矛盾した結果である。

以上のように、水温は気温の変化に即応して変化し、比重は降水の影響を強く受けていることから、これら気象要素を海況指標値として代用してもよいと考えられる。生物の生態と環境の関係などを検討したりする場合には、連続して変動傾向を把握できる環境因子が適していることがあり、このような観点からは、観測回数の少ない海況値よりも、観測頻度の高い気象要素の使用が望まし

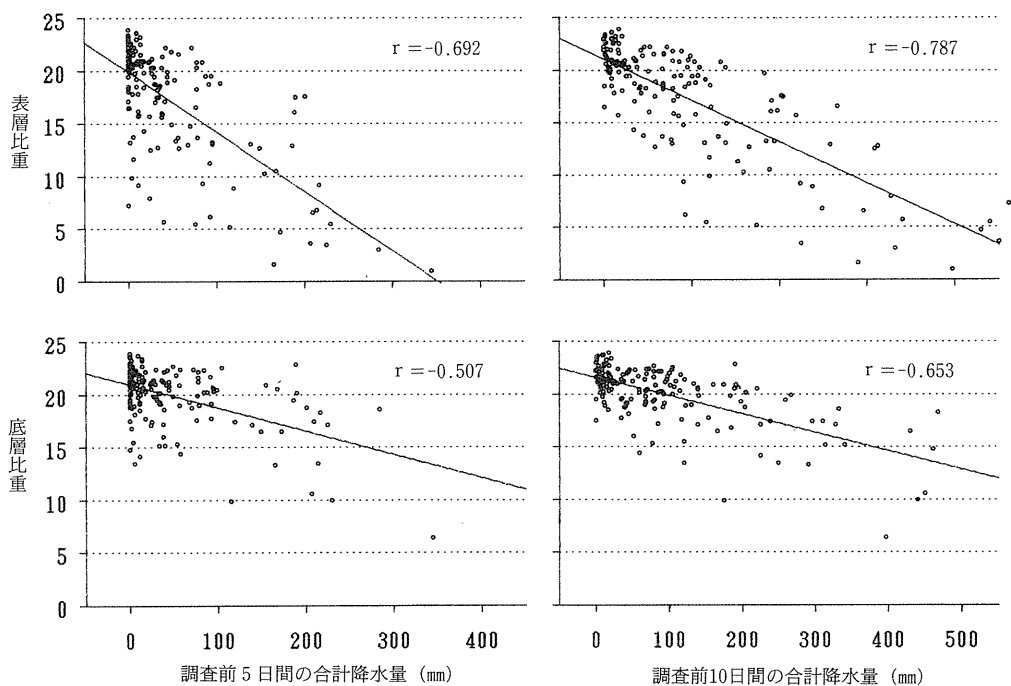


図18 夏期の降水と比重変化の関係

表6 大潮・小潮別の比重と降水量の相関

項目 / 潮時 /	n	前5日間降水量(X)		前10日間降水量(X)	
		r	b	r	b
表層比重 (Y)	小潮 57	-0.765	-6.63×10^{-2}	-0.709	-3.70×10^{-2}
	大潮 57	-0.629	-5.55×10^{-2}	-0.848	-3.98×10^{-2}
底層比重 (Y)	小潮 60	-0.469	-2.36×10^{-2}	-0.606	-1.84×10^{-2}
	大潮 57	-0.304	-1.17×10^{-2}	-0.695	-1.42×10^{-2}

n : データ数 r : 比重(Y)と降水量(X)の相関係数 b : $Y = bX + a$ の回帰係数(傾き)

いと考えられる。

5. 比重と河川流量の関係

降水は、河川水となって海に流入し、海水を希釈して比重を変化させる。有明海には大小、多数の河川が流入しているが、このうち、湾奥東部の佐賀、福岡県境に河口を有する筑後川（流域面積2904km²）は、流量が全河川流入量の70%にも達し、湾奥部全体の海水比重に影響を与えること¹¹⁾が知られている。また、この他、佐賀県域には、六角川（380km²）、塩田川（119km²）などの河川があり、流入量の全体比率は、流域面積の比から9.2、3.0%と推定されている¹¹⁾。そこで、本調査定点に影響が大きいと思われる筑後川と六角川の流量と海水比重の関係について検討した。

6～8月の比重は昭和58、59年に St. 5 に近い早津江川自動観測塔において連続観測されており、図19は、この両年の日平均表層比重と筑後川流量及び降水量の変化を示し、3者の時系列的な関係をみたものである。比重と河川流量は相反する増減傾向を示し、降水直後には流量の増加・減少を示す突出部分がみられ、これに即応して比重の減少・増加を示す谷（凹部）が出現する。流量のピークは、降水の当日かまたは1日程度遅れて出現し、さらに比重の最低値は流量のピークと同日かまたは1日程度遅れて出現する。また、降水が時間的

には非常に断片的であるのに対し、流量は滑らかに連続したカーブを描いて増減し、環境要素としてみても、流量は降水の影響が平滑化され、持続した環境量に変換されたものといえることができる。したがって、統計量としても降水量の場合には集計期間等の扱いが問題になるのに対し、河川流量を用いると今調査のように不定期な観測値を用いて画一的な統計処理を行なっても、経時的な変化を含めて全体の現象をある程度まで把握できると考えられる。以下、昭和49～62年の調査結果を用いて全般的な比重と河川流量の関係について検討する。

降水と両河川の日平均流量との関係をみるため、5日間合計降水量と5日平均流量の相関係数を計算し、図20に示す。図20は、5日平均流量の計算区間を、5日間降水量の合計期間である(t)～(t+4)を基準に(t+6)～(t+10)日まで1日ずつスライドし、それぞれ起算日0～6日として別々に相関係数を計算し、日数の経過とともに降水の影響度がどのように変化するかを表わしたものである。降水と河川流量は正の相関を示し、降水により流量が増加する様子を表わしている。さらに両河川とも、降水は起算日1日の流量との相関（正）が最も高く、降雨があつて1日たつてから河川水となって出現する傾向があることを示している。ま

表7 地点別の比重と降水量の相関

項目 / 地点 / n	前5日間降水量(X)		前10日間降水量(X)			
	r	b	r	b		
表層比重 (Y)	St. 1	150	-0.663	-5.66×10^{-2}	-0.746	-3.81×10^{-2}
	St. 2	149	-0.693	-6.14×10^{-2}	-0.759	-4.12×10^{-2}
	St. 3	147	-0.674	-5.62×10^{-2}	-0.773	-3.90×10^{-2}
	St. 4	147	-0.690	-5.26×10^{-2}	-0.778	-3.72×10^{-2}
	St. 5	117	-0.673	-5.70×10^{-2}	-0.762	-3.90×10^{-2}
	地点平均	153	-0.692	-5.65×10^{-2}	-0.787	-3.94×10^{-2}
底層比重 (Y)	St. 1	160	-0.468	-2.25×10^{-2}	-0.565	-1.66×10^{-2}
	St. 2	159	-0.530	-2.80×10^{-2}	-0.636	-2.06×10^{-2}
	St. 3	159	-0.498	-2.26×10^{-2}	-0.653	-1.85×10^{-2}
	St. 4	157	-0.318	-0.85×10^{-2}	-0.435	-0.72×10^{-2}
	St. 5	127	-0.537	-3.18×10^{-2}	-0.708	-2.52×10^{-2}
	地点平均	161	-0.507	-2.21×10^{-2}	-0.653	-1.74×10^{-2}

n : データ数 r : 比重(Y)と降水量(X)の相関係数 b : $Y = bX + a$ の回帰係数(傾き)

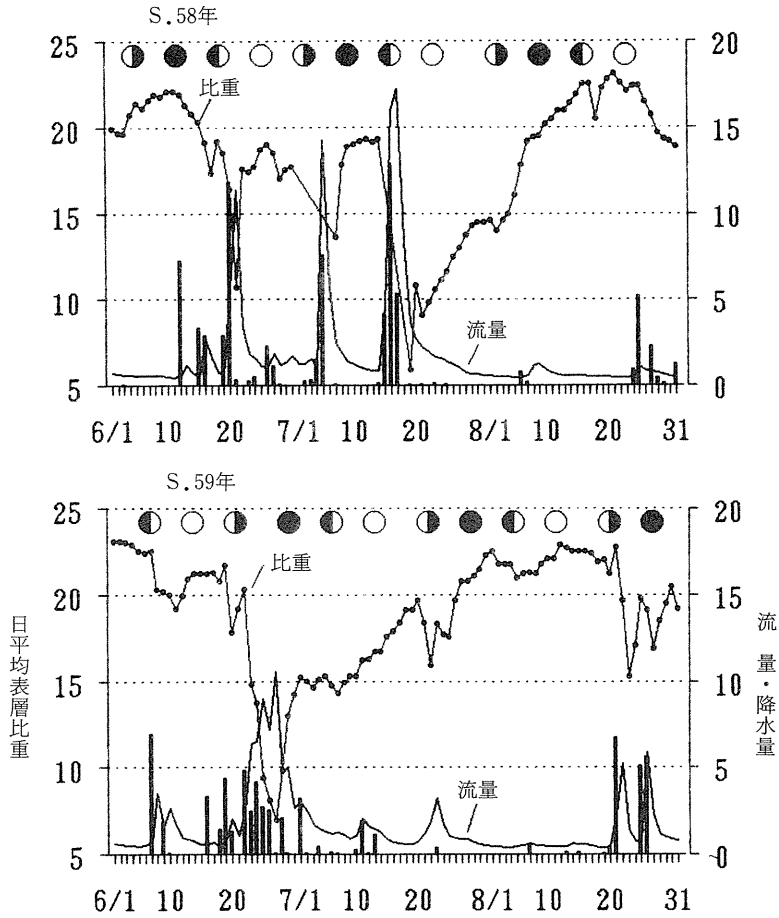


図19 日平均比重と降水量及び筑後川流量の関係
(流量： $\times 10^2 \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}$, 降水量： $10\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$)

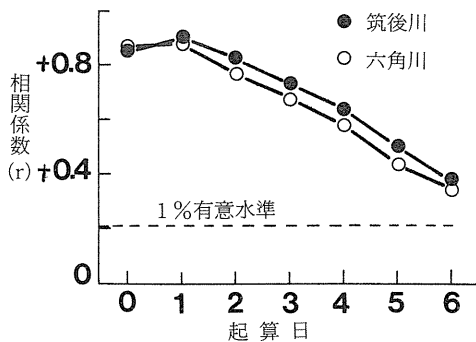


図20 5日間合計降水量と起算日別の5日平均流量の相関

〔降水量の合計期間(t)~(t+4)を起算日0
(t+6)~(t+10)を起算日6とした。〕

た、筑後川の相関は、六角川に比べて高く、降水の影響をより強く反映していることがわかる。表8に5日間合計降水量に対する起算日1日の5日平均流量の回帰直線を示しておく。

次に、同日、前日及び翌日に観測された筑後川の日平均流量に対する六角川流量の回帰直線と相関係数を表9に示し、5日間移動平均流量の関係についても併示した。両河川の流量にはかなり高い($r=0.824$)正の相関がみられ、ほぼ同調した変化を示すことがわかる。さらに、六角川の日平均流量は同じ日に測定された筑後川の流量との相関(正)が高く、日単位でみた場合には位相の差はみられない。また、回帰係数は、日平均流量で

0.051, 5日平均流量では0.049であり、梅雨期のように降水量が多く流量が増える時期には、六角川水系の牛津川妙見橋観測所における流量は筑後川の約5%たらずであり、ほぼ流域面積の比(95:2315)に近いことがわかる。昭和49~62年の6~8月の総平均流量は筑後川が $226.63\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ 、六角川が $9.54\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ であった。なお、六角川全体の流量は、流域面積の比(95:380)から、妙見橋の4倍程度と推測される。

表9 前日, 同日, 翌日の筑後川流量(X)に対する六角川流量(Y)の回帰直線

区分/回帰直線	Y = a + b X		r (相関係数)	n	総平均	
	b (回帰係数)	a (切片)			X	Y
前日	0.032	2.321	0.514	1274		
同日	0.051	-2.017	0.824	1288	226.63	9.54
翌日	0.041	0.093	0.671	1274		
5日移動平均*	0.049	-1.660	0.905	1232	228.13	9.61

*移動平均間の関係

筑後川

筑後川の調査当日から6日前までの各日平均流量と地点平均比重の相関係数を計算し、図21に示す。また、調査前日の日平均流量に対する地点平均比重の回帰直線を表10に示した。

比重と河川流量は負の相関を示し、流量の増加とともに海水が希釈されて比重の低下する様子がわかる。層別にみると表層比重の流量との相関は底層比重に比べて高く、表層が河川水の影響を直接受けるためと考えられる。相関係数の経時変化をみると、比重は、1日前の流量との相関が最も高く、流下後、1日遅れで比重の低下に影響する傾向があることを示している。つまり、前述の降水から流量への影響が1日遅れであることからすると、降雨が河川水となって比重に与える影響の度合いは、降雨の後、2日してからが最も大きいことになる。また、比重と流量の相関は、調査日前3日目まで高く、4日目以降から低下する傾向にあるが、これは、河川水には4日(3日前~当日)単位で比重に影響する性格があることを示している。したがって、流量に対する比重の回帰直

表8 5日合計降水量に対する5日平均河川流量(起算日1日*)の回帰直線

河川 / 回帰直線	Y = a + b x		
	b (回帰係数)	a (切片)	r (相関係数)
筑後川	3.640	57.36	0.894
六角川	1.966×10^{-1}	3.021×10^{-1}	0.872

*降水量の合計期間(t)~(t+4)に対して(t+1)~(t+5)の平均流量

線を求めるに当っては、統計量として4, 5日程度の平均流量を用いるのが妥当と考えられた。そこで、4日((t-3)~(t)), 5日((t-4)~(t))平均の流量の起算日(t)を当日から6日前までスラ

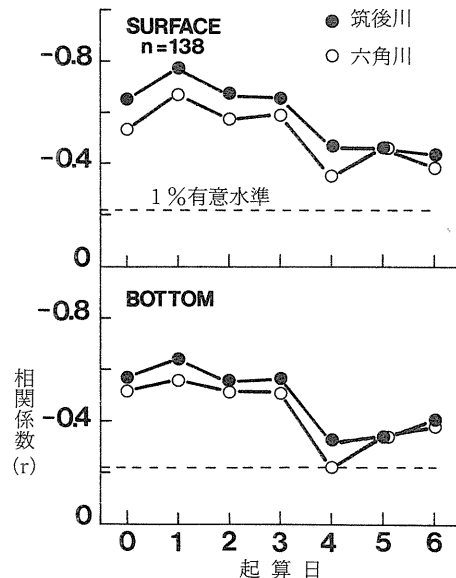


図21 比重と調査当日~6日前までの各日平均流量の相関

イドさせて、各々の相関係数を計算し、表11に示した。起算日が当日か1日前の場合に相関が最高になるが、この時の地点平均比重の流量に対する回帰直線を表10に示しておく。

次に、地点別に比重と調査日当日から6日前までの各日平均流量の相関係数を計算し、表12に示した。また、地点別に、調査当日から3日前までの4日平均流量に対する比重の回帰直線を求め、表13に示した。表層比重と流量の相関は、各地点とも底層に比べて一様に高く、低下率(回帰係数)も大きい。また経時的には、各地点とも調査前日の流量との相関が最も高くなる。地点別の比重と流量との相関度を相関係数の大ききで測ると、全般的に、それほど地点差がみられないが、河口域のSt.1, 5で調査当日にやや高く、1日後には反対にやや低くなる傾向を示した。一方、底層比

重と流量の相関には、地点差がみられ、St.5において相関度が他の4地点に比較して高く、低下率も大きく、St.4では逆に相関度が低く低下率は小さかった。経時的には、St.4以外の地点では表層と同様に調査前日流量との相関が最も高かったが、St.4では2日前との相関が高くなっており、応答時間の遅れと考えられた。このように、底層比重は、筑後川に最も近いSt.5で河川水の影響が強いと思われる傾向を示し、また、St.4では水深があるために河川水の影響が弱いと思われる傾向を示したが、表層比重には大きな地点差が認められなかった。洪水期の河川水による有明海湾奥部の表層水の希釈について、村上¹¹⁾は、等希釈域が帯状に、筑後川河口からほぼ図1のSt.5→1→2→3→4の方向に延び、六角川河口においてはそれほど希釈が大きくないことを確認しているが、これ

表10 相関係数が最大となる時*の日平均、4日及び5日平均流量(X)に対する比重(Y)の回帰直線

河川	比重	Y = a + b X / 流量平均期間	日平均	4日平均	5日平均
筑後川	表層	b (回帰係数)	-9.804×10^{-3}	-1.402×10^{-2}	-1.410×10^{-2}
		a (切片)	19.53	20.23	20.27
	底層	b (回帰係数)	-4.382×10^{-3}	-5.769×10^{-3}	-6.247×10^{-3}
		a (切片)	20.98	21.21	21.30
六角川	表層	b (回帰係数)	-1.589×10^{-1}	-2.401×10^{-1}	-2.647×10^{-1}
		a (切片)	18.57	19.33	19.47
	底層	b (回帰係数)	-0.718×10^{-1}	-1.099×10^{-1}	-1.134×10^{-1}
		a (切片)	20.56	20.91	20.91

*日平均流量の場合は調査前日、4・5日平均流量の場合は起算日0か1

表11 地点平均比重と起算日*別の4, 5日平均流量との相関係数

河川	平均期間	比重	起算日	0	1	2	3	4	5	6
筑後川	4日平均	表層		-0.783	-0.793	-0.691	-0.565	-0.512	-0.540	-0.519
		流量底層		-0.662	-0.643	-0.546	-0.455	-0.428	-0.509	-0.552
	5日平均	表層		-0.795	-0.769	-0.668	-0.583	-0.552	-0.544	-0.491
		流量底層		-0.654	-0.616	-0.542	-0.491	-0.489	-0.543	-0.519
六角川	4日平均	表層		-0.747	-0.748	-0.666	-0.579	-0.447	-0.487	-0.486
		流量底層		-0.658	-0.613	-0.536	-0.470	-0.383	-0.473	-0.513
	5日平均	表層		-0.745	-0.747	-0.644	-0.571	-0.494	-0.521	-0.493
		流量底層		-0.630	-0.608	-0.536	-0.489	-0.445	-0.525	-0.529

*比重調査日から3日前または4日前までの平均を起算日0, 調査6日前から起算して3または4日前までの平均を起算日6と表わす

と一致した結果ということが出来る。村上¹¹⁾は、この理由を、一旦下潮で南下した筑後川河川水が上潮時に北上して西岸及び北岸に加わるためとしている。

次に、潮時別、層別に比重と調査日当日から6日前までの各日平均流量の相関係数を計算し、表14に示した。また、起算日(t)を当日から6日前までスライドさせた場合の4日((t-3)～(t))及び5日((t-4)～(t))平均流量の各々と、潮時別の比重の相関係数を計算して併示した。

表層比重は、小潮時においては、調査当日と1日前の日平均流量との相関が極端に高く、3日後以降の低下が大きくて、調査直前の短期間の河川流量にかなり影響されることを示している。一方、大潮時においては、流量との相関係数の経時的な低下が小潮時に比較して緩やかであり、この時期には沖合水の影響が強く、河川水は沖合水と混合しながら徐々に表層比重を低下させるためと考えられる。底層比重の流量との相関は、小潮時が大潮時と比較して一般的に相当高く、小潮時におい

表12 地点別の比重と調査日～6日前の各日々における日平均流量の相関係数

河川/流量*/	表層比重					底層比重				
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
筑後川 0	-0.628	-0.638	-0.602	-0.629	-0.634	-0.552	-0.547	-0.544	-0.317	-0.625
1	-0.743	-0.764	-0.741	-0.760	-0.724	-0.569	-0.659	-0.636	-0.384	-0.652
2	-0.622	-0.648	-0.688	-0.671	-0.610	-0.459	-0.595	-0.556	-0.424	-0.513
3	-0.581	-0.629	-0.648	-0.692	-0.625	-0.527	-0.522	-0.592	-0.332	-0.610
4	-0.378	-0.445	-0.424	-0.504	-0.428	-0.267	-0.264	-0.362	-0.209	-0.359
5	-0.381	-0.426	-0.422	-0.490	-0.423	-0.298	-0.292	-0.367	-0.227	-0.383
6	-0.428	-0.403	-0.440	-0.442	-0.429	-0.386	-0.342	-0.415	-0.229	-0.479
六角川 0	-0.515	-0.525	-0.493	-0.505	-0.528	-0.527	-0.500	-0.504	-0.234	-0.594
1	-0.655	-0.668	-0.628	-0.630	-0.635	-0.513	-0.560	-0.542	-0.323	-0.590
2	-0.559	-0.562	-0.572	-0.566	-0.529	-0.388	-0.582	-0.524	-0.431	-0.466
3	-0.562	-0.561	-0.605	-0.610	-0.561	-0.449	-0.488	-0.526	-0.318	-0.531
4	-0.296	-0.339	-0.305	-0.366	-0.325	-0.150	-0.199	-0.264	-0.110	-0.266
5	-0.387	-0.443	-0.427	-0.470	-0.425	-0.290	-0.317	-0.374	-0.222	-0.342
6	-0.382	-0.361	-0.386	-0.389	-0.397	-0.352	-0.337	-0.411	-0.181	-0.438

*比重調査日から6日前までの各日々の日平均流量

表13 4日平均流量(X:調査日～3日前の平均)に対する比重(Y)の回帰直線

河川/地点/ Y=a+bX	表層比重		底層比重	
	b(回帰係数)	a(切片)	b(回帰係数)	a(切片)
筑後川 St. 1	-1.294×10^{-2}	19.80	-5.854×10^{-3}	20.82
St. 2	-1.348×10^{-2}	19.81	-7.142×10^{-3}	21.45
St. 3	-1.244×10^{-2}	20.02	-6.022×10^{-3}	21.12
St. 4	-1.167×10^{-2}	20.36	-2.140×10^{-3}	21.47
St. 5	-1.224×10^{-2}	19.96	-7.932×10^{-3}	21.04
六角川 St. 1	-2.336×10^{-1}	19.14	-1.097×10^{-1}	20.49
St. 2	-2.463×10^{-1}	19.02	-1.367×10^{-1}	21.08
St. 3	-2.252×10^{-1}	19.29	-1.146×10^{-1}	20.81
St. 4	-2.071×10^{-1}	19.62	-0.403×10^{-1}	21.35
St. 5	-2.310×10^{-1}	19.40	-1.549×10^{-1}	20.71

表14 潮時別にみた地点平均比重と起算日別*の日平均、4日平均及び5日平均流量との相関係数

潮時	平均期間	比重	起算日	0	1	2	3	4	5	6
大潮	日平均	表層		-0.610	-0.702	-0.728	-0.679	-0.568	-0.563	-0.521
		底層		-0.408	-0.402	-0.500	-0.443	-0.324	-0.346	-0.439
	4日平均	表層		-0.792	-0.788	-0.699	-0.629	-0.593	-0.644	-0.586
		底層		-0.509	-0.486	-0.439	-0.414	-0.438	-0.574	-0.620
	5日平均	表層		-0.785	-0.760	-0.686	-0.633	-0.664	-0.648	-0.527
		底層		-0.492	-0.468	-0.455	-0.456	-0.537	-0.619	-0.556
小潮	日平均	表層		-0.733	-0.837	-0.607	-0.597	-0.395	-0.373	-0.440
		底層		-0.498	-0.596	-0.467	-0.496	-0.480	-0.410	-0.528
	4日平均	表層		-0.790	-0.768	-0.643	-0.475	-0.498	-0.530	-0.520
		底層		-0.585	-0.619	-0.584	-0.516	-0.582	-0.655	-0.700
	5日平均	表層		-0.804	-0.739	-0.632	-0.538	-0.515	-0.510	-0.522
		底層		-0.631	-0.626	-0.602	-0.599	-0.635	-0.664	-0.700

*比重調査日の日平均流量及び比重調査日から3日前または4日前までの平均流量を起算日0、調査6日前の日平均流量及び6日前から起算して3または4日前までの平均流量を起算日6と表わす。

ては河川水の影響が大きいことがわかる。また、相関係数の経時的な低下は、小潮時、大潮時ともに表層比重と比較して緩やかであるが、これは、底層ほど水塊の交換が少なく、比較的以前の流入水の影響が長く残るためと考えられる。

六角川

比重と流量について、筑後川の場合と同様の数の処理を行ない、相関係数を計算して、図20、21と表10～13に示した。比重と六角川の流量との相関は、層別、地点別とも筑後川の場合と同じような傾向を示した。しかし、いずれの相関も全般的に筑後川より低く、六角川流入水が比重に与える影響は筑後川と比較して弱いことを示している。六角川河口域のSt.1の比重と流量の相関についても、筑後川に比較して低く、河口にあるために他の地点とは相違すると思われるような点もみられなかった。相関係数の経時的な傾向もほぼ筑後川と同様であるが、調査当日～3日前までの流量との相関が比較的高いものに対して、調査4日前以降の低下は筑後川の場合よりもかなり大きく、河川水が4日単位で比重に影響する傾向がより強いことを意味すると考えられる。そのため、調査当日～3日前までの4日平均流量を用いると比重との相関係数はかなり大きくなって、筑後川の場合に近くなる。このように、六角川流入水の影響を

表わすと思われるような目立った地点別特徴や経時的な変化傾向は認められなかった。ところで、筑後川流入水の影響は湾奥部全域にまで及び、六角川河口域では主としてこの2河川の流入水が海水と混合していると考えられているが、平野¹²⁾はSt.1付近の海水中に含まれる河川水量のうち筑後川の水が占める割合（影響度）を、1/3～1/2としているのである。一方、前述のように六角川と筑後川の流量は、降水に即応して酷似した増減（相関）傾向を示し、しかも両河川間にもかなり高い相関がみられるが、このことは、六角川としての特徴的な変化が、日単位のスケールではほとんど検出できないことを意味している。つまり、両河川はほとんど同じような動きをしながら海水比重に影響を与えるため、六角川流入水が多く含まれる河口域においてもその特徴を検出できなかったのであろう。

なお、以上のような比重と河川流量の解析は、降水に対して一定の周期性をもたない旬1～2回の観測値を使用したもので、つまり、時系列的には断片的な事象であり、しかも降水の影響が連続した一連のものか、全く別個のものであるかには関係なく、一括して考察した結果になっている。また、相関により両者の関係を把握したため、流量が $100\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ 以下のような場合には比重は20

付近に集中し、反対に比較的流量が多く、比重が低い時のデータが回帰直線の傾き（比重低下率）を決め、相関係数の大きさも決めるきらいがある。そのため、上の結果は、ある程度流量が多い時に偏った傾向を示したものになっているといえる。

さて、有明海に生息している多くの生物が、水温や比重を介して間接的に気象要素や河川水の影響を受けていることは、本報の結果から十分に推測できる。加えて、有明海の特産魚介類の多くは、通称“ガタ”と呼ばれる広大な干潟を生息の場にしており、干潟は日に2回干出し、中でも高地盤高域においては大気中に露出している時間が長いた

め、気温や降水の影響を直接受けることになる。そのため、昭和62年7月や平成2年7月にアサリ、サルボウなどが大量降雨で漁場が淡水化して斃死した例のように、特異的な気象条件下では生物は大きなダメージをうける。また、有明海に流入する河川の感潮域は、各種生物の産卵場や幼稚子の成育の場として知られている¹⁰⁾が、これらも降水の影響を直接受けることになるであろう。このように有明海においては、気象要素や河川水は、直接、間接に生物の生息環境に影響し、資源の動向に与える影響も少なくないと考えられる。

要 約

1. 有明海湾奥部の干潟前縁部（干潮線）における夏期の水温、比重とDOの変化について検討した。また、水温と気温及び比重と降水量、河川流量の関係について検討した。
2. 水温は8月上旬に最高値に達し、鉛直較差は、その直前の7月下旬に最大になる。底層のDOは、この最高温期に最低値を示し、鉛直較差は7月下旬に最大になった。比重は、梅雨期の6月下旬に最低値を示し、鉛直較差は最大になる。
3. 7月下旬には、水温、DOとも鉛直較差が最大となり、水温躍層が発達し、満潮時には水塊が成層化しているものと考えられた。
4. St.5（早津江川澇筋）とSt.1（六角川河口）は水温、比重、DOの鉛直較差が小さく、沖合水と陸水の混合域と考えられた。一方、St.2（国営有明干拓前）、St.3（浜川沖）におけるこれらの鉛直較差は、最高温期を最大として全般的に大きく、成層化し易い水域と考えられた。
5. 水温と気温にはかなり高い相関関係が認められ、水温は気温の変化に即応して変化すると考えられた。表層水温は、底層に比べて相関度が高く、気温の影響を強く受けると考えられた。一方、底層水温は、表層と比べ気温変化に対する応答時間が遅れる傾向が認められた。
6. 陸水と沖合水の混合域であるSt.5、1の水温

は、他地点よりも気温との相関が高く、気温の影響を受け易い傾向が認められた。

7. 比重は、150mmを越えるような集中的な降水が、小潮時や大潮～小潮時にあった場合には10以下まで低下し、回復にはほぼ2潮（月齢1周期）かかる。

8. 比重と降水量には、相関関係が認められ、比重は降水の影響を強く受けて変動すると考えられた。表層比重は、底層に比べて降水量との相関が高く、その影響をじかに受けると考えられた。また、小潮時の比重は大潮時に比べて降水量との相関が高く、低下率も大きくて、降水の影響が強いと考えられた。

9. St.5の比重は、他地点より降水量との相関が高く、低下率も大きくて、降水の影響を受け易い傾向が認められた。

10. 早津江川自動観測塔で連続観測した夏期の日平均比重は筑後川の河川流量と相反する増減を示し、降水後の流量増加及び比重低下のピークは、各々ほぼ1日程度遅れる傾向が認められた。

11. 降水は、1日後の筑後川、六角川の日平均流量に最も強く影響する傾向が認められた。また、夏期における筑後川と六角川の同じ観測日の日平均流量には強い相関関係がみられた。

12. 比重は前日の河川流量から最も強い影響を受

ける傾向が認められた。また、比重は調査当日から3日前までの流量とかなり強い相関を示した。

13. 表層比重と流量の相関度には地点別の相違がみられなかった。底層比重の流量との相関は St. 5 で最も高く、流量増加時の低下率も大きく、筑後

川の影響が最も強い地点と考えられた。

14. 比重と六角川流量との相関は地点別、層別にみても、筑後川の場合とほとんど同じ傾向を示し、河口域にある St. 1 においても特徴的な点はみられなかった。

文 献

- 1) 井上尚文 1983: 有明海の物理的環境。月刊 海洋科学, (124), 116-126, 海洋出版(株), 東京。
- 2) 宮地邦明・永田 豊 1979: 有明海表面水温の季節変化について。沿岸海洋研究ノート, 17, (1), 61-67.
- 3) 吉本宗央・杠 学 1991: サルボウ浮遊幼生の出現状況の変化と採苗期の予察。本誌, 21-42.
- 4) 野田進治・大隈 斉・古賀秀昭 1991: 1990年夏季に佐賀県有明海で発生したシャトネラ赤潮-I, 発生状況。本誌, 43-50.
- 5) 馬場裕文・山下康夫 1985: 佐賀県有明海のノリ養殖における漁海況情報の利用。佐有水試報, (9), 39-44.
- 6) 北嶋博卿・野口敏春 1980: 海況観測結果からみた漁場環境の特徴について。佐有水試報, (7), 1-14.
- 7) 杠 学 1986: 佐賀県有明海ノリ漁場の海況特性について。佐有水試報, (10), 57-69.
- 8) 馬場裕文・川村嘉広・山下康夫 1990: ノリ漁場環境とノリ品質からみた漁場の類型化。佐有水試報, (12), 75-81.
- 9) 馬場裕文・杉原雄二 1986: 早津江川感潮域における大潮・小潮の水質特性。佐有水試報, (10), 101-113.
- 10) 異儀田和弘 1986: 六角川感潮域における稚仔魚等の分布について。佐有水試報, (10), 35-45.
- 11) 村上彰男 1968: 有明海湾奥部における塩素量分布。筑後川調査報告附属資料, 環境-3, 水産庁, 1-15.
- 12) 平野敏行 1968: 有明海湾奥部における筑後川水の稀釈混合について。筑後川調査報告附属資料, 環境-5, 水産庁, 11-21.