

陸奥西湾における潮汐周期の水温変動について

仲村 俊毅

はじめに

昭和49年度より陸奥湾内5ヶ所に設置されているブイロボットは、毎時、水温、塩分、流向、流速、溶存酸素等のデータを増殖センター内の基地局に送り込んでくる。このようにして得られたデータは、ホタテガイの天然採苗予報、養殖管理などに活用されている。一方、このブイロボットによる観測データの重要性は、長期的、あるいは短期的な陸奥湾の海況変動の把握と、そのメカニズムの解明といった基礎的な研究の積み重ねにより倍加される。

ブイロボットによる観測の最大の特徴は、時間的に詳細に、かつ長期にわたってデータを得られる点にある。反面、その最大の欠陥は観測値の精度が充分でない点である。この最大の特徴を生かし、同時に欠陥を補うような解析方法としては、時系列解析が考えられる。

本報告はブイロボットによるいくつかの測定項目のなかで、特に生物環境要因として重要な水温をとりあげ、時系列解析を行ったものである。なお、この解析は筆者が昭和50年度より継続して行っており、50年度に北海道大学大型計算機センター利用によって行った解析結果は「陸奥湾漁業開発基本計画調査最終報告書」に「水温変動の統計処理」と題して報告した⁽²⁾（以下、本文ではこれをIとして引用する）

本文に入るに先だち、貴重な御助言をいただいた北海道大学水産学部大谷清隆助教授に、また計算処理にあたって御助力いただいた青森県総務部電子計算額の諸氏にお礼申し上げます。

解析の目的

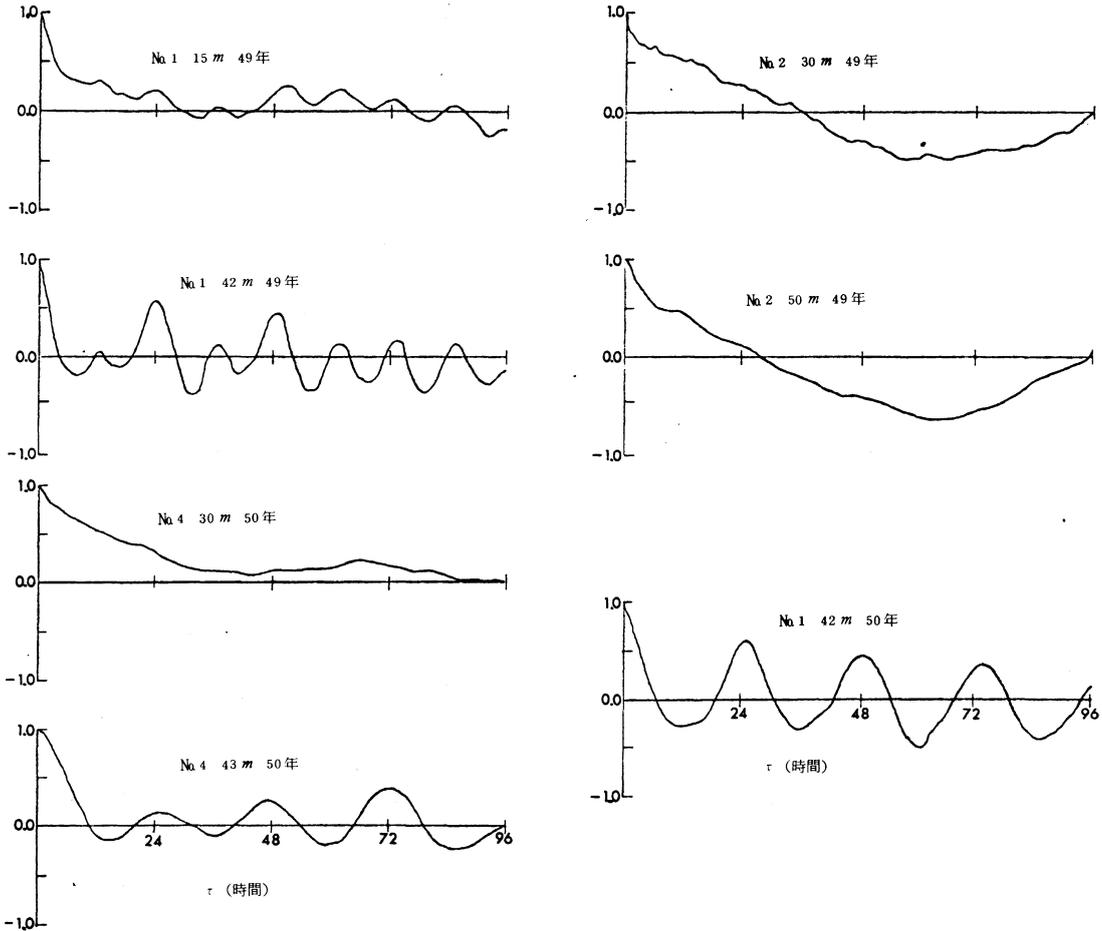
陸奥湾の海水交換、混合、あるいは湾口部における湾内水、湾外水の流出入機構を問題とすると、潮汐の寄与を明確に把握する必要がある。一般に陸奥湾は潮位差が小さく、海水交換、あるいは海水混合を論ずるうえで、潮汐はあまり問題とならないとされている。しかし、Iで指摘されたように潮汐周期的な水温変動は、しばしば認められ、特に湾口部においてはきわめて大きな水温変動として現われている。この潮汐が湾口部や湾奥においてどのようなふるまいをするか、が湾口部における海水交換や、湾内の海況変動のメカニズムの解明に当って大きな課題となる。本報告では、これらの諸問題解明の手がかりを得る目的で、湾口部あるいは湾奥部での潮汐周期の水温変動の有無とその大きさを調べ、若干の知見を得たので報告する。

問題点の整理

第1図は一部を除きIより転載したものである。これは昭和49年、50年のそれぞれ8月のNo.1、No.2 No.4 ブイの中、底層水温を時間間隔96時間まで自己相関係数を計算したものである。

注 本報告は、陸奥湾海域開発調査報告書(昭和52年3月、青森県⁽¹⁾)に水温観測値の統計処理と題して報告したものに、その後の解析の進展により得られた若干の知見を加えたものである。したがって内容の多くは、前記報告書と重複する。

No. 1 の 15 m 層ではわずかに日周変動、半日周変動ともに現われている。同じく 42 m 層では日周変動、半日周変動ともにきわめて明瞭になり、その平均的な振幅は 1°C を越える⁽¹⁾。一方、同時期の No. 2 の 30 m、50 m 層では日周変動、半日周変動ともに認められない。また 50 年 8 月の No. 4 では 43 m 層に日周変動が現われている。これと同時期の No. 1 の 42 m 層では日周変動はみられるが、49 年 8 月にみられた半日周変動は現われていない。



第 1 図 49 年、50 年 8 月の水温の自己相関係数

ここで問題点を整理してみると、次の二つが挙げられる。

- (1) 潮汐周期の水温変動の出現傾向は湾口部と湾奥で異なるのだろうか。
- (2) 半日周期の水温変動に特定の出現傾向があるのだろうか。

いうまでもなく、潮汐による水塊移動が水温変動として現われるためには、水温構造が、水平的にも鉛直的にも複雑であることが要求される。加熱期、夏季の陸奥湾底層は、冬季に東湾で形成された冷水の残留と、東湾あるいは西湾奥部からの加熱により、きわめて複雑な水温構造を示すことが知られており⁽³⁾、もし、潮汐による水塊の移動が単純な往復運動であるならば水温変動に明瞭な周期成分が出現するはずである。したがって水温を潮汐の指標として使うことが可能となる。

本報告では前述した(1)、(2)の疑問を明らかにするため、50 年 8 月と 51 年 8 月のブイの水温データと 51 年 8 月の潮汐表から得られた潮位のデータについて、自己相関係数、系列相関係数、調和解析などの

統計処理を行った。

解析の方法

本報告では自己相関係数、系列相関係数、調和解析の計算を行った。以下にその定義式を示す。

自己相関係数

$$RC(\pi) = \left(\frac{1}{N-\pi} \sum_{i=1}^{N-\pi} X_i \cdot X_{i+\pi} \right) \bigg/ \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 \right)$$

X : データの平均偏差値

N : データの総数

i : データの時間的順序を示す添字

π : 時間間隔

系列相関係数

$$SC(\pi) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\pi} T_i \cdot T_{i+\pi} - \frac{1}{N-\pi} \sum_{i=1}^{N-\pi} T_i - \sum_{i=1}^{N-\pi} T_{i+\pi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-\pi} T_i^2 - \frac{1}{N-\pi} \left(\sum_{i=1}^{N-\pi} T_i \right)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N-\pi} T_{i+\pi}^2 - \frac{1}{N-\pi} \left(\sum_{i=1}^{N-\pi} T_{i+\pi} \right)^2}}$$

T : データ

他の記号は前述の自己相関係数の場合と同じ。

調和解析

$$T(t) = T_0 + T_1 \sin \left(\frac{2\pi}{N} t + \partial_1 \right) + \dots + T_n \sin \left(\frac{2n\pi}{N} t + \partial_n \right)$$

T_0 : データの平均値

N : データの総数

T_1, T_2, \dots, T_n : 各周期成分の振幅

$\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_n$: 各周期成分の位相角

なお、自己相関係数と系列相関係数はほぼ同様の性格を持つものである。この両者の計算を行っているのは解析の進展とともに電子計算プログラムの改革を行ったためである。一般的な議論を行う場合、この両者の違いはほとんど問題にならない。また、これらの解析は傾向変動を含むデータには適用できないが、本報告においては傾向変動がほとんど含まれないデータを用いた。

資料

昭和50年8月7日から13日までの大潮から小潮へいたる期間（以下これを期間Iとする）のNo.1と

No. 4の毎時の水温データ。ただしNo. 2については欠測があるため8月10日から13日までの4日間、同じく8月15日から21日までの小潮から大潮へいたる期間(以下これを期間Ⅱとする)のNo. 1、No. 2、No. 4の毎時の水温データ。51年8月4日から7日までの日潮不等の大きい期間(以下これを期間Ⅲ)と、8月12日から15日までの日潮不等の小さい期間(以下これを期間Ⅳ)のNo. 1、42m層の毎時の水温データ。および51年8月の潮汐表から読みとった潮位のデータをそれぞれ用いた。

本報告では潮時により期間をわけて解析を行っているので、以下これを整理して示す。

期間Ⅰ：大潮から小潮へいたる期間、50年8月7日から13日まで

期間Ⅱ：小潮から大潮へいたる期間、50年8月15日から21日まで

期間Ⅲ：日潮不等の大きい期間、51年8月4日から7日まで

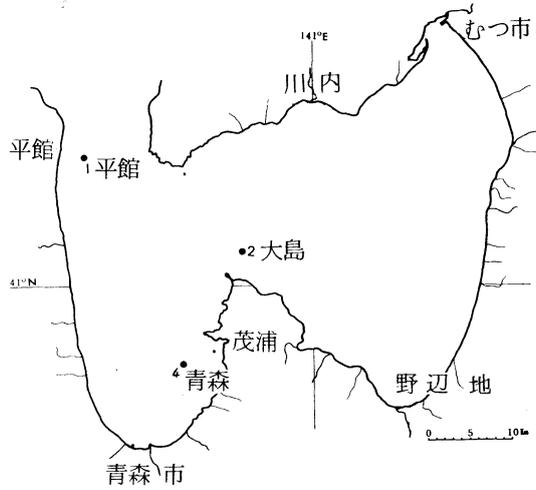
期間Ⅳ：日潮不等の小さい期間、51年8月12日から15日まで

なお、第2図にNo. 1、No. 2、No. 4ブイの位置を示した。

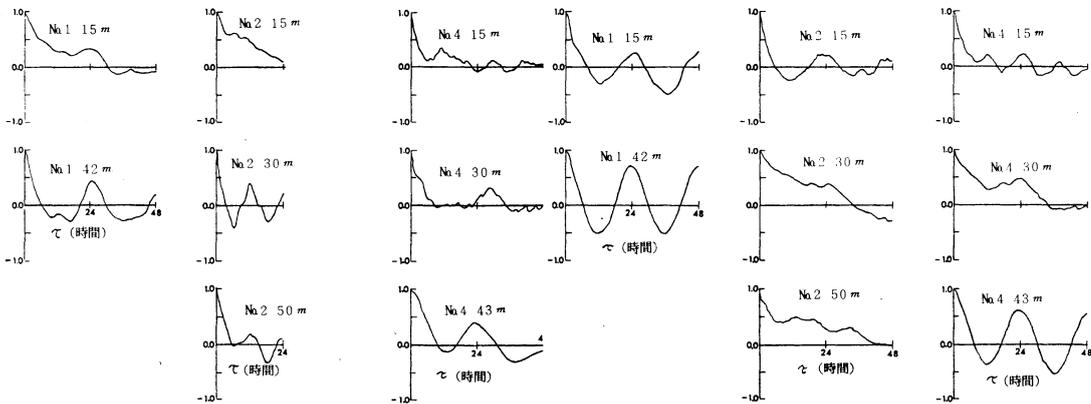
(1) 潮汐周期の水温変動の出現傾向について

第3図に、それぞれ期間Ⅰ、期間Ⅱにおける各測定点、各層における自己相関係数を示した。また、第1表には調和解析の結果から、日周変動と、半日周変動の振幅値を示した。なお、期間Ⅰにおいて、No. 2では欠測のため8月10日から13日までの4日間を期間Ⅰとした。また、ここでは潮汐だけを問題としているため、各測定点の中で、底層における結果のみを述べる。

まず図3(a)の期間Ⅰであるが、潮汐周期的な変動が比較的明瞭に現われているのはNo. 1、42m、No. 2、30m、50m、No. 4、43mの各層で



第2図 ブイロボット的位置



第3図 それぞれの期間における自己相関係数(期間ⅠにおけるNo. 2は欠測のため8月10日から13日までの4日間のデータを用い、時間間隔24時間までの自己相関係数を示した。)

ある。No. 1の42 m層では日周変動が卓越している。No. 2の30 m、50 m層では半日周変動が比較的明瞭に現われている。しかし、その振幅値をみると、それぞれ0.18、0.31と小さく、また、期間中の最高水温と最低水温の差は、それぞれ0.9℃、2.0℃となっており、潮汐に伴う実質的な水温変化はほとんどないと考えてよい。No. 4、15 m、30 m層では明瞭な周期成分は見当らず、不規則な振動成分が出現している。No. 4、43 m層では日周変動が卓越しているが、傾向変動をやや含んでいる。

次に期間Ⅱであるが、No. 1、15 m、30 m、No. 4、43 mの各層で日周変動がきわめて明瞭になり、他の周期成分、あるいは不規則な振動成分は含まれていない。No. 2、15 m層では周期成分は不明瞭であり、30 m、50 m層では周期成分はみられない。No. 4、15 m層では半日周変動がみられるが、いくぶん形は乱されている。

次に振幅値をみると、No. 2を除いては、いずれの期間も日周変動が卓越し、期間Ⅰから期間Ⅱにいたって大きな値となる。特に、期間ⅡにおけるNo. 1、42 m層では日周変動の振幅は3.28℃にもなり、これは日間6～7℃にも及ぶ変動のあることを示している。また、この値は期間長（7日間）における平均的な状況を示すものであるから、この時期の湾口部底層では時により、日間10℃にも及ぶ変動のあることも予想される。

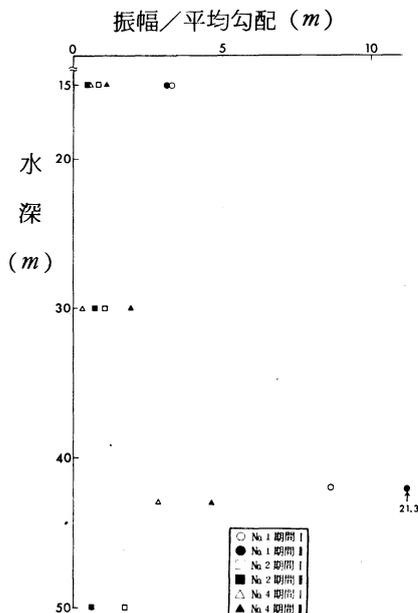
海水交換あるいは混合に対する潮汐の寄与を問題とすると、潮汐による水塊の運動の大きさを把握する必要がある。すでに自己相関係数の計算により、日周変動、半日周変動などの周期成分の有無を確かめ、調和解析により、日周変動、半日周変動の振幅を求めた。しかしながら、前述したとおり潮汐による水塊の移動を水温を指標として把握するためには、水平方向、鉛直方向の温度勾配を知る必要がある。ここでは水平方向の温度勾配を示す資料はないため、鉛直方向についてのみ議論を進める。

まず鉛直方向の水温の平均勾配を次のように求める。すなわち各期間において、各測定点、各層の平均水温から各層間

第1表 期間Ⅰ、期間Ⅱにおける日周変動と半日周変動の振幅

測定点	水深 (m)	期 間 Ⅰ		期 間 Ⅱ	
		日 動 (°C)	半日周変動 (°C)	日周変動 (°C)	半日周変動 (°C)
No. 1	15	0.32	0.04	0.39	0.12
	42	1.27	0.85	3.28	0.67
No. 2	15	* 0.11	* 0.03	0.09	0.06
	30	* 0.05	* 0.18	0.13	0.04
	50	* 0.23	* 0.31	0.08	0.11
No. 3	15	0.07	0.05	0.17	0.10
	30	0.07	0.03	0.44	0.08
	43	0.75	0.10	1.49	0.28

* 8月10日から13日までの4日間のデータについての計算結果

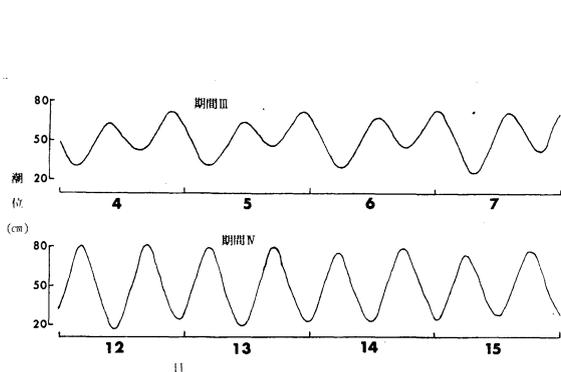


第4図 各測定点、各層における水塊の鉛直移動距離

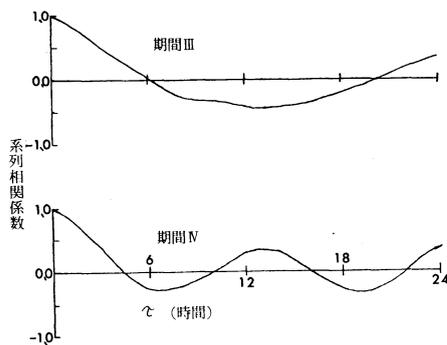
の平均水温の差を求め、それを深さの差で除し、1 m当りの平均勾配とする。そして、各測定点の底層については、このようにして求めた平均勾配を、その深さにおける平均勾配とした。また、15 m、30 m層ではその上層、及び下層との平均勾配の算術平均を、その深さにおける平均勾配とした。次に第1表に求めた各測定点、各層での日周変動と半日周変動の振幅値の値の大きなものを取りあげ、これを先に求めた平均勾配で除し、各測定点、各層における潮汐による水塊の鉛直移動の大きさを示す指標とした。以下、これを潮汐振動と仮称する。第4図にこれを示した。期間Ⅰ、Ⅱを通じ、潮汐振動はNo.1で最も卓越する。また、大きな特徴として、No.2では期間Ⅰよりも期間Ⅱで潮汐振動が小さくなる。この傾向はNo.1やNo.4とは逆になっている。全体的な傾向として、底層ほど潮汐振動が大きいたことがわかる。しかしながら、このことによって中層では潮汐の影響をあまり受けないと結論することはできない。というのは、もし潮汐による水塊移動が同時に海水混合を伴うものならば、自己相関系列上の乱れとして表現されるはずである。第3図からも明らかなように、自己相関係数図において、特に中層において乱れが強く現われ、底層においては乱れは弱い。このことから逆に、底層においては潮汐振動が大きいたにもかかわらず海水混合を伴わず、海水混合にはたす潮汐の役割りは小さいといえる。いうまでもなく、ここで使用した日周変動、半日周変動の振幅値には、水塊の水平移動に伴う水温変動も含まれている。したがって、ここで示した潮汐振動の大きさを示す指標は、必ずしも潮汐による水塊の鉛直移動距離を正確に示すものではないが、大まかな目安を与えるには充分であろう。

(2) 半日周期の水温変動の出現傾向について

半日周期の水温変動については日潮不等との関係を調べてみた。第5図に、51年8月の日潮不等の大きい期間(期間Ⅲ)と日潮不等の小さい期間(期間Ⅳ)の潮汐表から読みとった潮位を示した。また、第6図には、同じ期間のNo.1ブイ42 m層の水温について時間間隔24時間までの系列相関係数を示



第5図 期間Ⅲ、Ⅳにおける潮位



第6図 No.1、42 mの系列相関係数

した。また、第2表に同時に行った調和解析の結果から、期間Ⅲ、Ⅳにおける、日周変動と半日周変動の振幅を示した。

第6図から明らかなように、期間Ⅲにおいては半日周変動は出現していないが、期間Ⅳには明瞭に現われている。振幅値をみると、これも同様に期間Ⅲでは日周変動が卓越し、期間Ⅳでは両者とも、ほぼ同

第2表 期間Ⅲ、Ⅳにおける日周変動と半日周変動の振幅(°C)

期 間	Ⅲ	Ⅳ
日 周 変 動	2.33	1.13
半 日 周 変 動	0.88	1.74

様な値となっている。これらの結果から、半日周期の水温変動は日潮不等の小さい時期に現われることがわかる。しかしながら、日潮不等といっても満、干潮時の時間間隔の不等、満、干潮位差の不等等がある。そこで、どのような日潮不等が半日周期の水温変動の出現傾向を左右するのかを検討してみた。

第3表は、51年8月1日から31日までの満、干潮の潮時と潮位を潮汐表から読みとって、潮時の時間間隔と潮位の差について平均と母分散を計算したものである。

まず潮時の時間間隔の不等であるが、これは満潮時のズレが大きい。しかし、母分散値は0.62と小さく時間間隔の不等は1時間に満たない。したがって日潮不等は、潮時のズレとしては現われていない。

次に潮位の不等であるが、これは主として干潮位に大きく現われている。その母分散値は133.52ときわめて大きく、干潮時の潮位は1潮位毎に大きく変動し、日潮不等は干潮位に強く現われることがわかる。したがって、この時期における湾口部底層の半日周期の水温変動は、干潮位の不等により、その出現を左右されるものと結論できる。

第3表 潮時の時間間隔と潮位差の平均と母分散

	平均	母分散
相次ぐ満潮時の時間間隔	12.46 時間	0.62
〃 干潮時の 〃	12.43 〃	0.16
〃 満潮位の潮位差	0.13 cm	30.08
〃 干潮位の 〃	0.20 cm	133.52

結 論 と 要 約

- (1) 日周期、半日周期の潮汐によるとみられる水温変動は各測定点、各層にみとめられる。特にNo.1、No.4の底層には日周変動が強く現われ、大潮から小潮にいたる期間よりも、小潮から大潮にいたる期間でより明瞭になる。
- (2) 潮汐による水塊の鉛直移動はNo.1の底層で最も大きく、次いでNo.4の底層となる。また、いずれも大潮から小潮にいたる期間よりも、小潮から大潮にいたる期間に大きくなる。しかし、海水混合を伴わないと思われる点があり、潮汐振動は大きいものの海水混合にはたす役割りは小さいものと考えられる。
- (3) 潮汐振動はNo.2ではいずれの期間にもきわめて小さい。このことは陸奥西湾における海況変動のメカニズムを知るうえで重要な意味をもつと思われる。すなわち、No.1に現われた潮汐振動がNo.2には伝わっておらず、No.4には弱められて伝わっているのである。これはNo.1に現われた潮汐のエネルギーがNo.2、あるいはNo.4にいたる間に何らかの理由により消費あるいは分散されていることを示している。この消費されたエネルギーの一部はおそらく海水混合や水塊移動に使われているはずである。この潮汐エネルギーの消費が、どのように行われ、またどのような結果をもたらすか、を知ることにより、陸奥湾における海況変動のメカニズムの一部を解明できよう。またNo.1における大きな潮汐振動は、湾口部における湾内水と湾外水の流入機構に何らかの役割りをはたしている可能性がある。
- (4) 半日周期の水温変動は日潮不等の小さい時期に現われる。また、この日潮不等は、51年の8月では、干潮位の不等として現われる。

参 考 文 献

- (1) 青森県（昭和52年3月）：陸奥湾海域開発調査報告書
- (2) 青森県（昭和51年3月）：陸奥湾漁業開発基本計画調査最終報告書
- (3) 大谷清隆・寺尾豊光（1973）：むつ湾の海洋構造 北大水産彙報 24(3)P.P 100 - 131

資 料

むつ湾の気象暦（潮汐 天象 気象表） 昭和51年 日本気象協会青森支部