

岩手県大釜崎人工礁の蛸集効果に関する研究 海洋環境と魚群の蛸集効果との関連

東北区水産研究所海洋環境部

稲掛伝三・村上眞裕美*・友定 彰

調査実施年度 平成4～7年度

1. 緒言

岩手県大釜崎地区人工礁（図1）には、黒ソイ・アイナメ・エゾイソアイナメ・ニジカジカ、季節によってスルメイカ・マイワシが蛸集する。これら魚類の蛸集状況は海洋環境特に水温の変動によって変化している形跡がある。当人工礁が設置されている岩手県沿岸は津軽暖流の南下経路にあるが、時として親潮系の冷たい水に覆われることがあり、また、黒潮系暖水や暖水塊の影響も受け、魚類の蛸集状況はこのような海況変動にともなって変化していると推定される。そこで、当人工礁で水温を長期間連続観測して、高周波～低周波の広い帯域の水温変動の実態を把握する。これにより、自然界に存在する周期帯と人工魚礁によって発生する周期帯を解析し、擾乱のスペクトルを求め、人工魚礁によって生じる温度場の擾乱を検出する。その結果を岩手県水産技術センターが行う漁獲試験結果と対比させて、海洋環境が魚類の蛸集効果に与える影響を明らかにし、魚礁漁場造成の指針となる基礎的な資料を得ることを目的とする。

2. 調査方法

岩手県大釜崎地区人工礁内の水深125m前後の海底に、切離装置を装備したサーミスターチェーン（連結された6機の水温計；図2参照）を係留設置して、10分毎の水温観測を平成6年4月19日～平成7年10月11日まで連続して行ない、人工礁周辺の高周波～低周波にわたる水温変動の実態を把握した。この係留系は3～5カ月毎に回収・再設置した。調査期間を表1に示す。水温計の取り付け深度は、第1次調査から第4次調査までは、45m、65m、85m、102.5m、105m及び107.5mで、45m深の水温計の直上に深度計を取り付け、系の傾きを検出できるようにした。第5次調査時には、魚礁内の流速変動をとらえるため、水温計とともにRD社製の超音波式多層流向流速計（ADCP）を設置した。ADCPは水深114m深にくるように取り付け、水深110m以浅の2mごと、計55層の流向流速を10分ごとに測定し、記録した。ただし、海面～10m深層までは海面からの音波の乱反射のため流速は異常値となっている。また、第5次調査時には、対照区として大釜崎人工礁北東部の魚礁外の地点に水温計を取り付けた係留系を設置し、魚礁外の自然界に近い場所での水温観測を行った。第5次調査の水温計は、魚礁内、魚礁外とも50m、70m、90m、107.5m、110m、112.5m深付近になるように設置した。

魚礁内に設置した係留系の北側には、1.5m角あるいは3m角の小型単体の積み重ね及び高さ10.078mのポリコン魚礁の大型単体一基ずつの配列、また係留系の南側には高さ11.21mのFRP（AK7型）の大型単体が一基ずつ配列されている。水深は120～140m強であり、水深の約1割程度の魚礁の高さが確保されているので、人工魚礁による影響は海底から表層20～30m深の水層に及んでいるものと考えられる¹⁾。したがって、本調査で設置した各水温計は、魚礁による影響が出現する水深に設置され

*現中央水産研究所

ていると考えられる。

係留系に取り付けた水温計（アレック電子社製 超小型メモリー水温計；MDS-T）は新製品であったため、平成4年度において室内実験、平成5年度に現場での検証実験を行い、精度を確認した。すなわち、室内実験では、氷水中に3機の水温計を束ねて投入し、水温の上昇に伴う水温計の変化を測定するとともに、3機の水温計相互の機差を調査した。また、現場実験では、本水温計を平成5年3月23日～8月2日まで、岩手県山田湾大沢前（山田町水産種苗センター；図1参照）の約2mの深さに設置し、20分毎の水温の連続観測を行った。山田湾大沢前では、水温計設置地点から100m程沖合の定点で棒状温度計による測温がほぼ定期的になされており、また、短期間（3月23日～4月8日）ではあったが水温計設置点に隣接して、岩手県水産試験場の観測ロボット（シーバード社製CTD；SB-16）が設置されていたため、これらの観測データと本水温計の比較を行い、精度や水温計間の機差の有無を検査した。

一方、魚群の蝟集効果を明らかにするため、東北区水産研究所調査船若鷹丸により、当人工礁周辺の計量魚探調査、物理観測調査を行う予定であったが、計量魚探が不調となり、調査ができず、魚礁に蝟集している魚群の調査ができなかった。

本課題の調査研究の実施に際して、岩手県水産技術センター長渋谷正博士をはじめとし、岩手県水産技術センター漁業資源部及び岩手丸乗組員の方々および山田町水産種苗センターの方々には、多大な御協力を戴いた。ここに深謝の意を表する。

3. 結果

（1）水温計の検定

平成4年度には、室内において、本水温計の検定試験を行った。図3に、平成4年度に購入した3機の水温計の内2機の水温計の測定データの回帰関係を示す。回帰直線の傾きはほぼ1であり、切片も-0.039と0に近い。回帰係数もほぼ1で両水温計は同様な温度変化を記録していた。他の1機との関係も同様であり、本水温計は基本仕様通りの性能を有していることを示している。

室内における検定試験終了後、現場での長期の使用状況下での水温計の性能評価を行うため、平成5年3月23日～8月2日まで、岩手県山田湾大沢前（山田町水産種苗センター）に3台の水温計を設置した。山田湾大沢前では、棒状温度計による測温が定期的になされており、また、短期間ではあったが岩手県水産試験場の観測ロボット（シーバード社製CTD）が設置されていたため、これらの観測データと本水温計の比較を行い、精度や水温計間の機差の有無を検査した。

大沢前での3月23日～8月2日までの水温は、観測開始時の8.2℃から徐々に昇温し、5月下旬には15℃近くに達し、その後10℃台を記録したものの、7月頃からほぼ連続的に15℃前後となり、観測終了間際の7月24日には、18.4℃を記録した。

現場における本水温計の性能評価を行うため、2機毎の水温計間で、各々の観測結果の回帰直線関係を調べ、3機の水温計間の機差を検査した（図4）。いずれも相関係数は0.999以上であり、傾きは1に近く、切片も0に近い。しかしながら温度計番号1011と1013との観測値に比べ、温度計番号1011と1012、および温度番号1012と1013との関係はばらつきがやや大きく、温度計番号1012の温度計は、他の2機と比べて若干機差が大きい可能性がある。

図5に水温計に隣接して設置された観測ロボットの水温値と温度計番号1011の水温計観測値との回帰関係を示す。水温計間の回帰関係（図4）に比べ観測値にばらつきは多きく、後述するように水温計の温度分解能が0.15℃のため、観測ロボットの観測値に比べ、水温計の観測値に段差があるものの、相関係数は0.925と高く、傾きはほぼ1、切片もほぼ0であった。また、水温計観測値と観測ロボットの水温値の差の頻度分布（図6）は、平均値が0.01℃、標準偏差が0.11の正規分布となっており、本

水温計が信頼できる測器であることを示している。同様に、水温計観測値と大沢前定点観測による表面水温値との回帰関係は、相関係数が0.998と高く、傾きは1に近く、切片も0に近い(図7)。水温計観測値と大沢前定点観測の表面水温値との差の頻度分布(図8)は、平均が0.40℃、標準偏差が0.20℃であり、日射の影響をより多く受ける表面水温の方が2m深に設置した水温計よりやや高い値を示し、分布もややばらついてはいるものの、両者の関係は良い相関関係にあるといえる。以上のことから、本水温計の精度は信頼できるものと考えられる。

水温計の温度変化に対する反応特性を調べるため、各観測値と1つ前(20分前)の観測値との差を取り、その頻度分布を図9に示した。観測ロボットでの水温差は0℃を中心とした正規分布計を示しているのに対し、水温計の水温差は中心は0℃であるものの正規分布はしておらず、-0.15℃と0℃及び+0.15℃にモードを持っている分布を示している。この水温計は、精度が0.15℃であるが分解能も0.15℃であり、これより小さな温度変化は検出できないことを示している。本機種を用いた観測ではこの点に留意して解析を行う必要がある。

以上の結果、水温計の検定試験によって、本水温計の精度は0.15℃であり、また分解能も0.15℃であることが確認され、現場での実験に使用可能であることを確認した。

(2) 係留観測結果

図10に平成6年度に係留観測した第1次と第2次の水溫観測結果を月齢とともに示した。平成6年7月下旬以降10月下旬まで顕著な潮汐周期(半日周期)の変動が存在する。この変動は内部潮汐で、海底に近い107.5m深でも変動の幅は最大6℃以上ときわめて大きい。同時に1~2週間周期の変動も存在することがわかったが、その原因については未検討である。

つぎに潮汐周期よりも短周期側に卓越する変動が無いかを調べた。はじめにThompsonの方法²⁾を参考にしてフィルターを設計し、12.5時間より短周期の変動だけを抽出した。図11は用いたフィルターの重み関数と応答関数である。45m深と107.5m深についていくつかの時期を選んで11日間のデータを切り出し、その短周期変動のパワースペクトルを求めた。1例として平成5年5月5日~16日の結果を図12(a)45m深、(b)107.5m深に示した。左側はフィルターによって分離された長周期側(上図)と短周期側(下図)の時系列、右側は左下図の短周期変動に対して求めたパワースペクトルである。それぞれの時期で4時間と7~8時間にピークが見られたが余り明瞭なものではなかった。またこの短周期変動が人工礁に起因する擾乱かどうかは不明であり、対象区として魚礁外の水溫変動を調査し、魚礁の内外との比較を行い、人工礁による変動と、自然界における変動とを区別する必要があると考えられた。

このため、平成7年7月27日~10月11日に行った第5次調査時には、魚礁外に水温計を設置するとともに、魚礁内にはサーミスターチェーンとともに流速計(ADCP)を設置した。図13にADCPの観測例を示す。本海域は津軽暖流からの南下流が卓越する海域であり、基本的には1ノット前後の南西方向の流れが頻繁に観測された。しかしながら、70m以深の下層においては北東方向の弱い流れが認められることがあった。この流れの反転は、本海域に特有のものなのか、人工礁の擾乱によるものかは1カ所の観測のみからは断定できないが、興味ある現象として、留意しておく必要がある。また、流速の鉛直断面の時系列の変化を見ると、底層付近で生じた北流が、時間の経過に伴い表層20~30m深付近へと連なっていく現象が認められた。この現象は、人工礁によって発生する流動変化が上層へ及ぶ現象¹⁾と類似しており興味深い。

図14に魚礁内で観測した71m深での水温観測結果を示す。上図が生データ、中図が6時間移動平均したデータ(ローパスデータ)、下図が両者の差をとったハイパスデータである。人工礁によって生じる擾乱は潮汐周期等に比べかなり短い周期変動を持つ擾乱となると考えられるので、6時間以下の短周期変動を解析するため、6時間以下のハイパスデータを作成した。図14の下図の右側には、ハイ

パスデータの水温最大値と最小値を記し、6時間以下の周期変動によって生じる水温変動の範囲を示した。また、図15に図14と同じハイパスデータの頻度分布を示した。ハイパスデータは0℃を中心とする正規分布型の頻度分布を示し、標準偏差は0.36℃となっている。本海域の擾乱の程度を示す指標として、図14と図15に例示したハイパスデータの最大値と最小値、及び標準偏差を全観測層において表示したのが、表2である。短周期変動の水温変動幅および標準偏差は中層で小さく、底層で大きくなる傾向が認められる。また、魚礁内と魚礁外で比較すると、魚礁内の方が水温変動幅は大きい傾向が認められた。標準偏差も魚礁内の方が魚礁外に比べ、若干大きい傾向がある。これらのことは、魚礁内の底層において、短周期変動が新たに生じていることを示唆している。

人工礁付近で生じる短周期変動を明らかにするため、MEM法（最大エントロピー法）によって6時間以下のハイパスデータの周期特性を解析した。この際、1つの周期の変動を再現するには4点程度以上のデータが必要であると考え、40分以上の周期を中心にスペクトルピークを読みとった。また、魚礁内の係留点は、常に魚礁の影響を受けるものと考えられるが、魚礁の北側に設置した係留点では南流の時には流れの上流側にあたり、あまり魚礁の影響を受けず、逆向きの北流が卓越する際には流れの下流側になり、魚礁の影響を受けることになる。このため、南流が卓越した平成7年8月6日～11日、主として北流が卓越した9月20日～26日、期間は短い北流が継続して卓越した8月2日～4日の3期間に関して、周期解析を行った。図16に、周期解析の一例として、南流卓越時の魚礁内のスペクトルを示す。中層（71m深）では波数17～103（周期1～6時間）の変動スペクトル（図中黒丸）が7つ認められるが、底層（108.8m及び113.5m深）では4つに減少し、魚礁内における1～6時間の水温変動周期は、底層では周期特性が弱まる傾向を示している。一方、最深層（113.5m深）では波数154.5（0.67時間周期）の変動が新たに出現している。

表3に、南流卓越時期、主に北流が卓越した時期、北流卓越時期における魚礁内及び魚礁外の測点で観測された6時間以下の周期を示した。図16にも見られたように、魚礁内における1～6時間の水温変動周期は、底層では周期特性が弱まる傾向が、主に北流が卓越した時期にも認められた。これに対して、魚礁外ではこのような傾向は認められず、中層から底層まで類似した周期の変動が出現している。従って、1～6時間の周期変動は、魚礁外と比較して、魚礁内の底層で周期特性が弱まる傾向があるといえる。このことから、1～6時間の周期変動が、魚礁により碎波され、不規則な擾乱となって検出されなくなっている可能性が示唆される。

1時間以下の周期変動では、中層から底層まで広く見られる周期と、上流域では底層を中心に、下流域では表層を中心に認められる周期変動があった。即ち、南流卓越時の魚礁外の係留点（上流側）では、底層近くの109.5m深のみに認められる0.82時間及び0.71時間の周期は、下流に当たる魚礁内においては、底層～中層（113.5m～91m深もしくは111m～71m深）に認められ、逆に主として北流が卓越した時期には、上流側に当たる魚礁内では中層から底層（71m～113.5m深）まで認められた0.82時間の周期が下流側の魚礁外では中層（52m・72m深）のみに認められ、魚礁内で底層近く（91～113.5m深）のみに認められた0.77時間の周期は、下流側では中層から底層（52m～114.5m深）に鉛直に幅広く観測された。北流卓越時にも、上流側の魚礁内では底層近く（91m～113.5m深）で認められた0.81時間の周期が下流では中層（52m・72m深）のみに認められ、また、魚礁内で底層（108.5m及び113.5m）のみに認められた0.68時間の周期が下流では中層（72m深）のみに認められている。先に述べたように、ADCPで観測した流速の変動においても、底層近くの流れの変動が中層～表層近くへ伝わっていく様子がうかがわれており、人工礁によって生じた擾乱が、1時間以下の周期変動として、下流へ行くにしたがい浅い層へと伝わっていく様子を示しているものと考えられる。

以上のように、人工礁内においては、6時間以下の短周期変動は魚礁外に比べ変動幅が大きい傾向にあり、魚礁内での擾乱の新たな形成を示唆していること、1～6時間の周期帯の変動は底層に行くにしたがい弱まっていく傾向があること、この周期帯の変動は魚礁外では弱まりを見せず、魚礁によ

りこの周期帯の変動が碎波されている可能性があること、人工礁内で生じたと考えられる1時間以下の周期帯の変動は、下流に行くにしたがい浅い層へと伝わっていくことが示唆された。

4. 考察

魚礁内外でのサーミスターチェーン及び流速計の係留観測を行うことにより、主として海洋物理面から人工魚礁内で生じている現象を明らかにすることができた。特に、魚礁が設置されている低層付近で、1～6時間の周期の水温変動が、魚礁の影響により弱まり、逆に1時間以下の周期の変動が新たに発生し、この変動が下流に行くにつれ浅い方へと伝搬していく現象がとらえられたことは、魚礁内の実際の海中において生じている、魚礁による物理的効果をとらえたものと示唆される。

また、半日周期の潮汐周期変動が海底近くにまで現れていること、この変動幅は最大で6℃以上に及ぶことなど、海洋学的にも新たな知見を得ることができた。このように大きな変動幅の内部潮汐は、本海域特有のものと考えられるが、このような海域で人工魚礁を設置する際に、内部潮汐周期の変動を弱めるような規模・構成の人工魚礁を開発し、これを設置したりしなかったりすることにより、大きな変動を好む魚種とそれを好まない魚種の蛸集を選択することが可能になるものと期待される。

一方、今回の調査では、魚礁によって生じる物理的効果を明らかにすることができたが、この物理現象によって生じるであろう生物・化学的な効果を調査するまでには至らなかった。すなわち、水温に現れた変動は、水温躍層などの海中のインターフェースが上下するために生じるものと考えられるが、このインターフェースが上下することにより、下層の栄養塩豊富な水塊が光の多い表層へ移動することになり、低次生物生産が高まるものと期待される。人工礁内で生じたと考えられる1時間以下の周期変動が下流へ行くにしたがい浅い層へと伝わっていくことなどの、人工魚礁によって生じた物理的効果が実際の生物生産や栄養塩類の分布にどのように影響を及ぼしているのかなどを明らかにしていく調査研究が、人工魚礁の効果を明らかにするためには必要であると考えられる。

また、人工魚礁に実際に蛸集している魚群と物理的変動との関係については、計量魚探調査ができなかったこと、人工魚礁内での変動が半日周期より短い変動であり、これに応じた時間変動の魚群の蛸集状況をつかむことが難しかったこと等の理由のため、本調査実施期間内には明らかにすることができなかった。今後の調査研究に期待したい。

5. 摘要

- (1) 岩手県大釜先人工礁に設置する新型水温計の検定実験を行い、精度・分解能とも0.15℃であること、現場での観測実験に使用可能であることを確認した。
- (2) 内部潮汐と考えられる、最大変動幅が6℃以上の半日周期の変動が認められた。
この変動の出現する水深は、7月の65～85m深付近から10月の107.5m深付近へと、躍層の深まりに伴い、深くなった。
- (3) 魚礁内の流速観測結果から、表層の流れは数十cmの南流が卓越しているのに対し、底層近くの流速は、概ね南流であるが北流の卓越する時期が認められた。
- (4) 6時間以下の短周期変動の水温変動幅および標準偏差は中層で小さく、底層で大きくなる傾向があった。また、魚礁内と魚礁外で比較すると、魚礁内の方が水温変動幅および標準偏差は大きい傾向が認められた。このことは、魚礁により新たな短周期変動が形成されていることを示唆している。
- (5) 水温の短期周期変動を1～6時間と1時間以下の2つの周期帯に分けて比較すると、魚礁内における1～6時間の水温変動周期は、底層では周期特性が弱まる傾向があった。この周期変動は、

魚礁外と比較して、魚礁内の底層で、周期特性が弱まる傾向があった。このことは、1～6時間の周期変動は、魚礁により碎波されているか、他の周期変動に分解されている可能性がある。

- (6) 1時間以下の周期変動では、中層から底層まで広く見られる周期と、上流側の測点では底層を中心に、下流側の測点では中層を中心に認められる周期変動があった。流速の変動においても、底層近くの流れの変動が中層から表層近くへ伝わっていく様子がうかがわれた。これらのことは、人工魚礁によって生じた擾乱が、1時間以下の周期変動として、下流へ行くにしたがい浅い層へと伝わっていく様子を示しているものと考えられる。
- (7) 人工魚礁によって生じる物理的効果を明らかにすることはできたが、この物理的効果がさらに栄養塩の分布へ及ぼす影響などの化学的効果、低次生物生産や魚群の蟻集に及ぼす影響などの生物学的効果を調査・研究することができなかった。今後の調査研究に期待したい。

6. 引用文献

- 1) 全国沿岸漁業振興開発協会, 1986: 沿岸漁場整備開発事業 人工魚礁漁場造成計画指針 昭和61年度版, 全国沿岸漁業振興開発協会, 東京, 全国沿岸漁業振興開発協会PP. 184.
- 2) Thompson, R. O. R. Y., 1983: Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies. J. Phys. Oceanogr., 13, 1077-1083.

表1. 観測期間及び調査内容

第1次	1994年4月19日～1994年7月29日	魚礁内水温観測
第2次	1994年7月29日～1994年10月22日	魚礁内水温観測
第3次	1994年10月22日～1995年3月15日	魚礁内水温観測
第4次	1995年3月15日～1995年7月27日	魚礁内水温観測
第5次	1995年7月27日～1995年10月11日	魚礁内水温・流速観測 魚礁外水温観測

表2. 第5回目観測時(1995年7月27日～10月11日)におけるハイパスデータの変動範囲と標準偏差。

海底から		魚礁内		海底から		魚礁外	
の高さ	水深	変動範囲	標準偏差	の高さ	水深	変動範囲	標準偏差
				80m	52m	-1.85～2.25℃	0.28℃
50m	71m	-1.73～2.55℃	0.36℃	60m	72m	-2.29～2.25℃	0.39℃
30m	91m	-2.90～2.08℃	0.42℃	40m	92m		
12.5m	108.5m	-4.32～2.42℃	0.47℃	22.5m	109.5m	-2.62～2.24℃	0.44℃
10m	111m	-3.28～2.64℃	0.45℃	20m	112m		
7.5m	113.5m	-3.83～2.47℃	0.46℃	17.5m	114.5m	-2.60～2.12℃	0.42℃

表3. 6時間以下のハイパスデータに現れた周期

南流卓越時 (1995 8/6 19:10 ~ 8/11 02:00 ;103hr)												
海底からの高さ 水深		周期 (時間)										
魚	80m	52m	(4.80)	2.85	1.78	1.58	1.11	0.95	0.86	0.77	(0.69)	0.64
礁	60m	72m		3.61	2.34	1.98	1.60	1.32	1.13	0.99	0.88	0.78
外	22.5m	109.5m		3.61	(2.54)	1.93	1.51	1.05	0.91	0.82	0.71	0.64
外	17.5m	114.5m	(5.72)	3.27	2.37	1.84	1.59	1.23	1.07	0.93	0.76	0.64
魚	50m	71m	5.02	3.38	2.40	1.91	1.51	1.26	(1.08)	0.94	0.77	0.72
礁	30m	91m		3.80	2.62	1.85	1.30	1.12	0.95	0.83	0.72	0.65
内	12.5m	108.5m	4.79	2.78	1.87	1.11	0.87	(0.80)	0.72	0.72	0.64	
内	10m	111m		3.87	1.90	1.61	1.02	0.89	0.78	0.72	0.63	
	7.5m	113.5m		3.96	1.66	1.21	1.04	0.90	(0.80)	0.75	0.67	
主に北流卓越時 (1995 9/20 00:00 ~ 9/26 00:00 ;144hr)												
魚	80m	52m	5.66	3.72	2.64	2.02	1.68	1.30	1.05	0.91	0.82	0.76
礁	60m	72m	5.77	3.90	2.18	1.66	1.16	1.01	0.84	0.78	0.70	0.65
外	22.5m	109.5m	5.34	2.67	1.76	1.30	1.07	0.89	0.78	0.70	0.69	
外	17.5m	114.5m	5.54	4.00	2.67	1.84	1.49	1.28	1.10	0.99	0.91	0.79
魚	50m	71m	4.17	2.85	2.14	1.73	1.44	(0.97)	0.88	0.80	0.67	
礁	30m	91m	5.60	2.88	2.14	1.75	1.50	1.22	1.05	(0.88)	0.83	0.77
内	12.5m	108.5m	3.90	2.34	1.75	1.52	1.20	0.97	0.83	0.74	0.66	
内	10m	111m	5.59	2.45	1.79	1.20	1.08	0.94	0.86	0.74	0.65	
	7.5m	113.5m		1.95	1.58	1.39	1.12	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68
北流卓越時 (1995 8/2 20:00 ~ 8/04 11:40 ;40hr)												
魚	80m	52m	3.03	1.83	1.25	0.99	0.80	0.65				
礁	60m	72m		1.90	(1.15)	1.03	0.80	0.68				
外	22.5m	109.5m		2.41	1.40	1.02	0.77					
外	17.5m	114.5m		2.15	1.53	1.09	0.77	0.65				
魚	50m	71m	3.62	1.77	1.24	1.00	0.78					
礁	30m	91m	(3.79)	1.75	(1.36)	1.09	0.82	0.66				
内	12.5m	108.5m		2.10	1.37	1.02	0.81	0.69				
内	10m	111m	3.71	2.08	1.42	1.09	0.79	0.66				
	7.5m	113.5m		1.85	1.15	0.81	0.67					

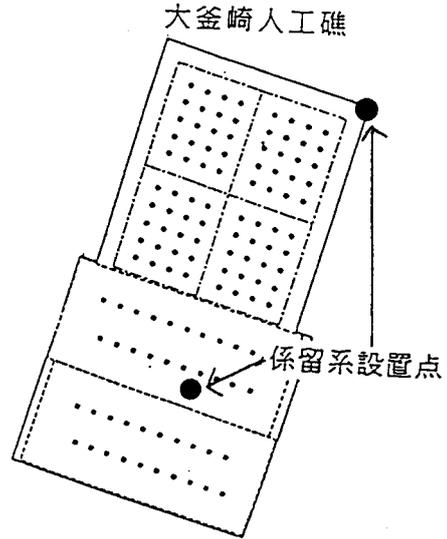
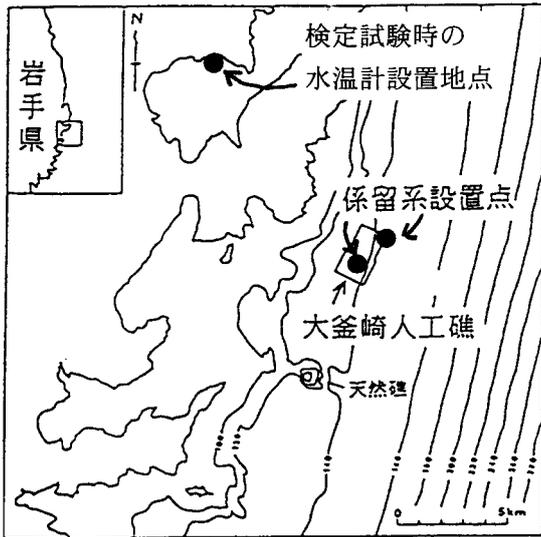


図1. 係留系設置地点。図中の数字は水深 (m) を示す。

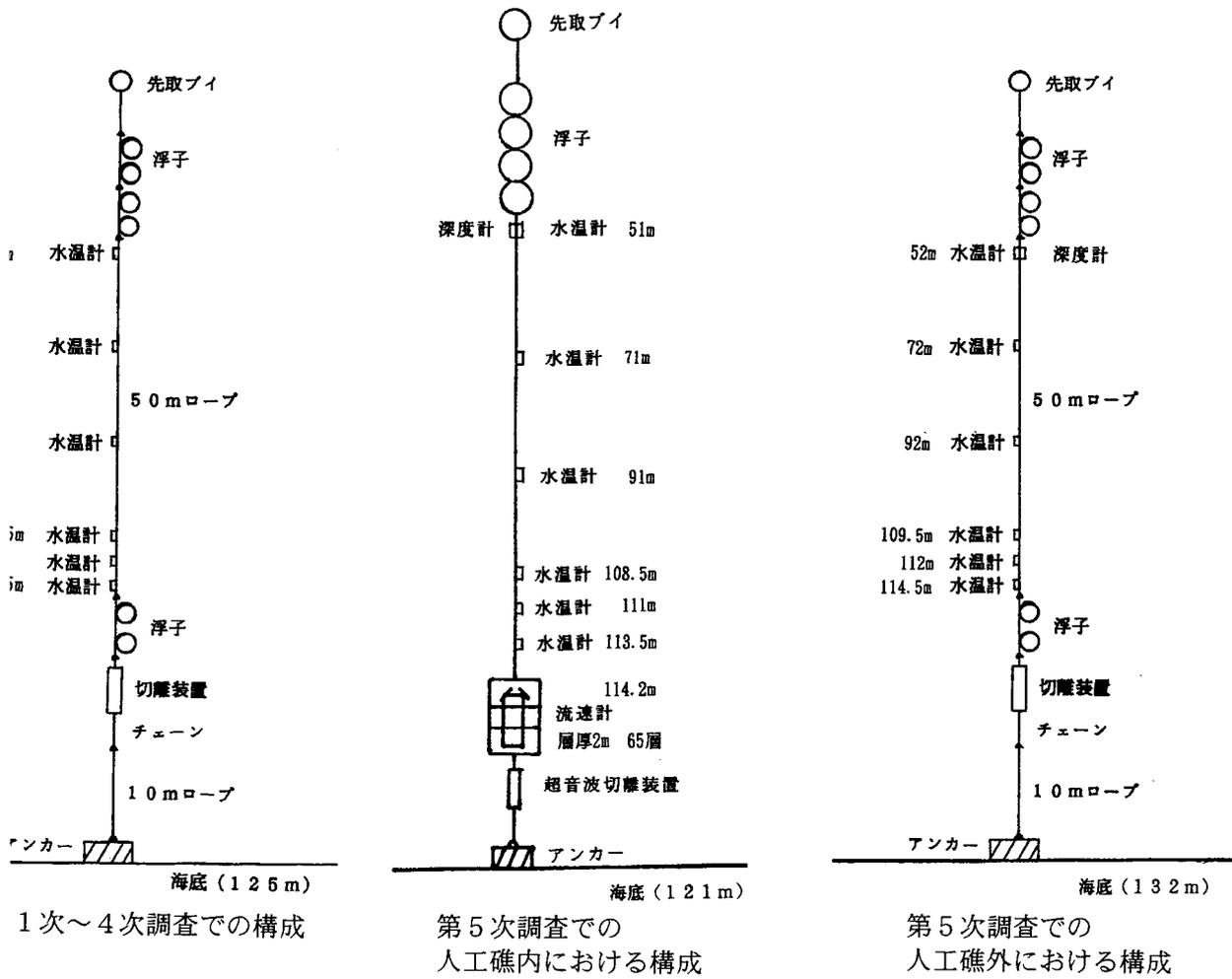


図2. 係留系の構成

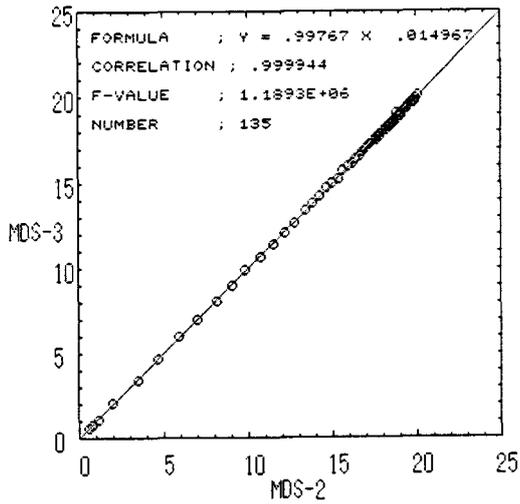


図3. 室内実験における2機の水温計観測値の関係。

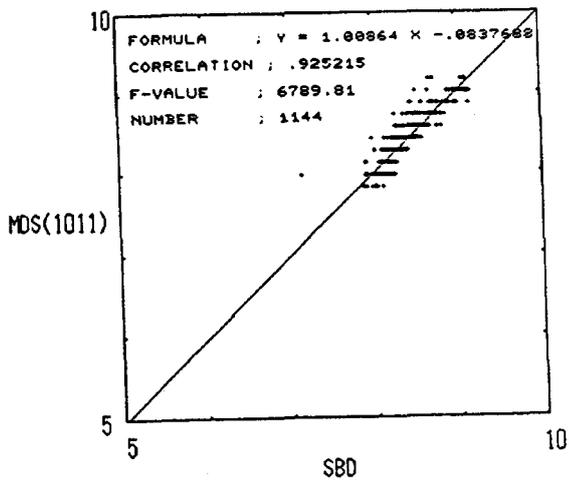
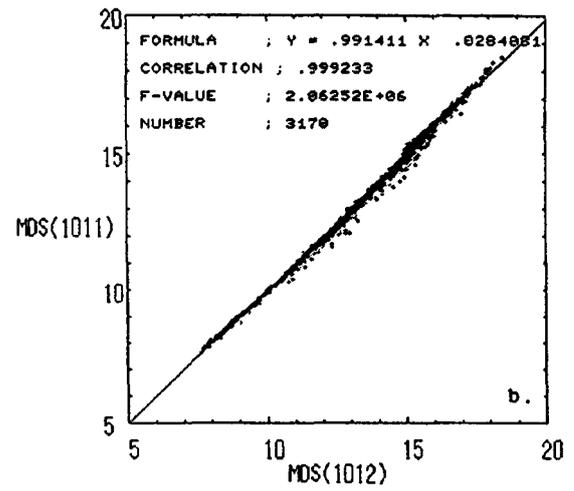
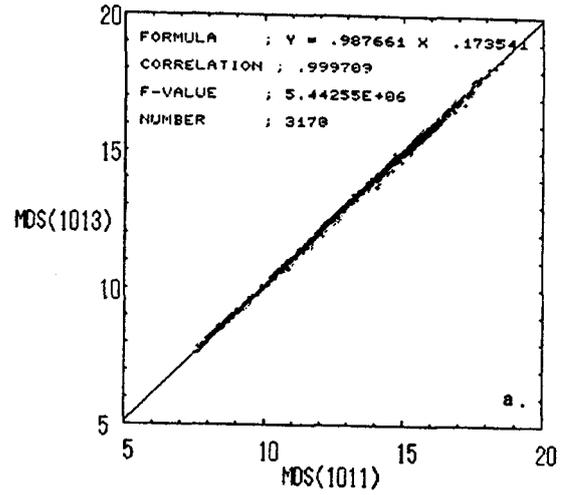


図5. 観測ロボット（シーバード社製CTD）の水温値と水温計観測値との相関関係。

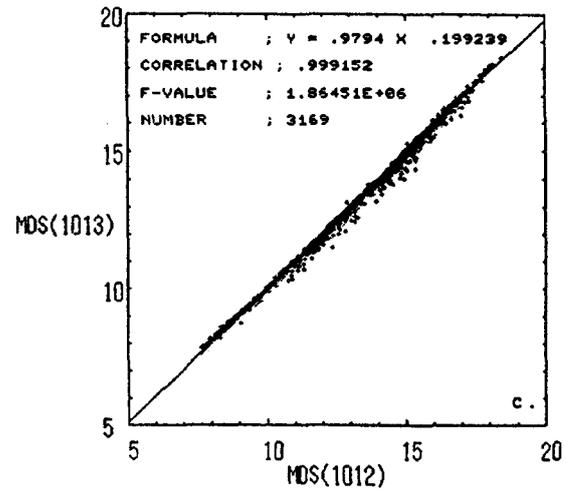


図4. 2機毎の水温計の観測値の関係。
 a. 温度計番号1011と1013の関係。
 b. 温度計番号1011と1012の関係。
 c. 温度計番号1012と1013の関係。

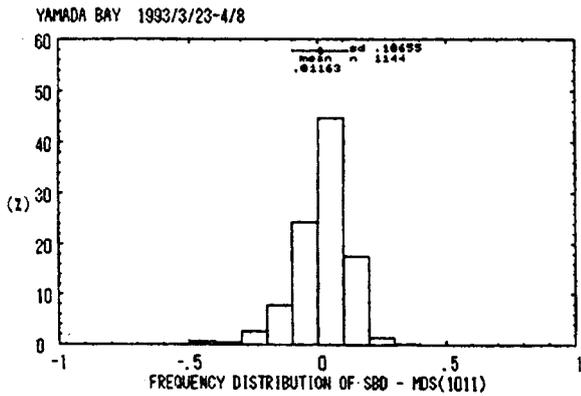


図6. 観測ロボット（シーバード社製CTD）の水温値と水温計観測値の差の頻度分布。

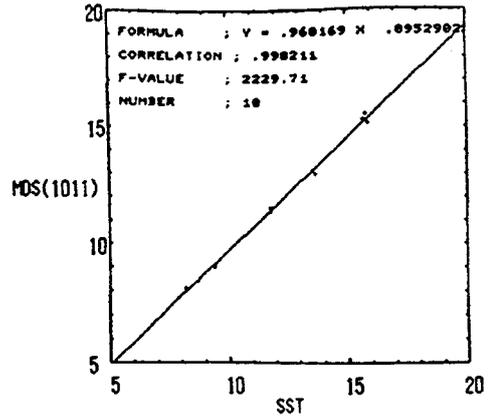


図7. 大沢前定点の表面水温値と水温計観測値との相関関係。

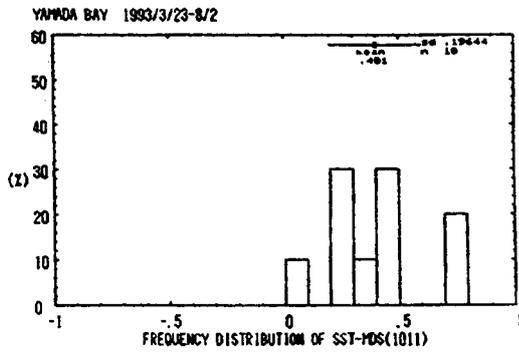


図8. 大沢前定点の表面水温値と水温計観測値の差の頻度分布。

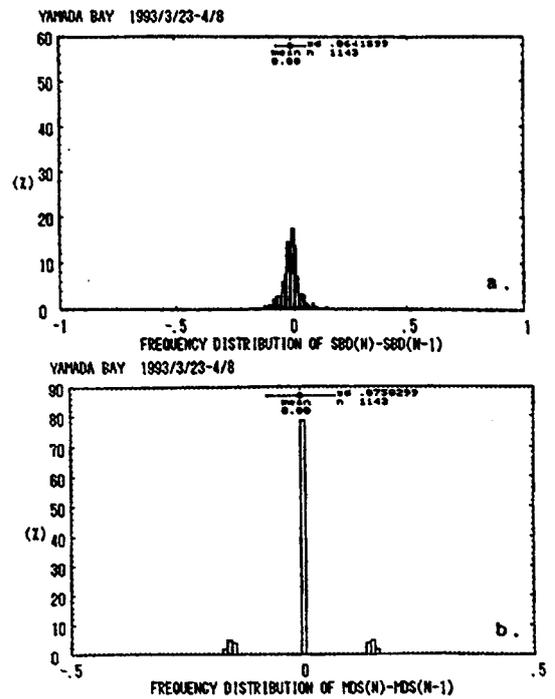


図9. 水温変化（各観測値における直前（20分前）の観測値との差）の頻度分布。

- a. 観測ロボット
- b. 水温計（温度計番号1011）

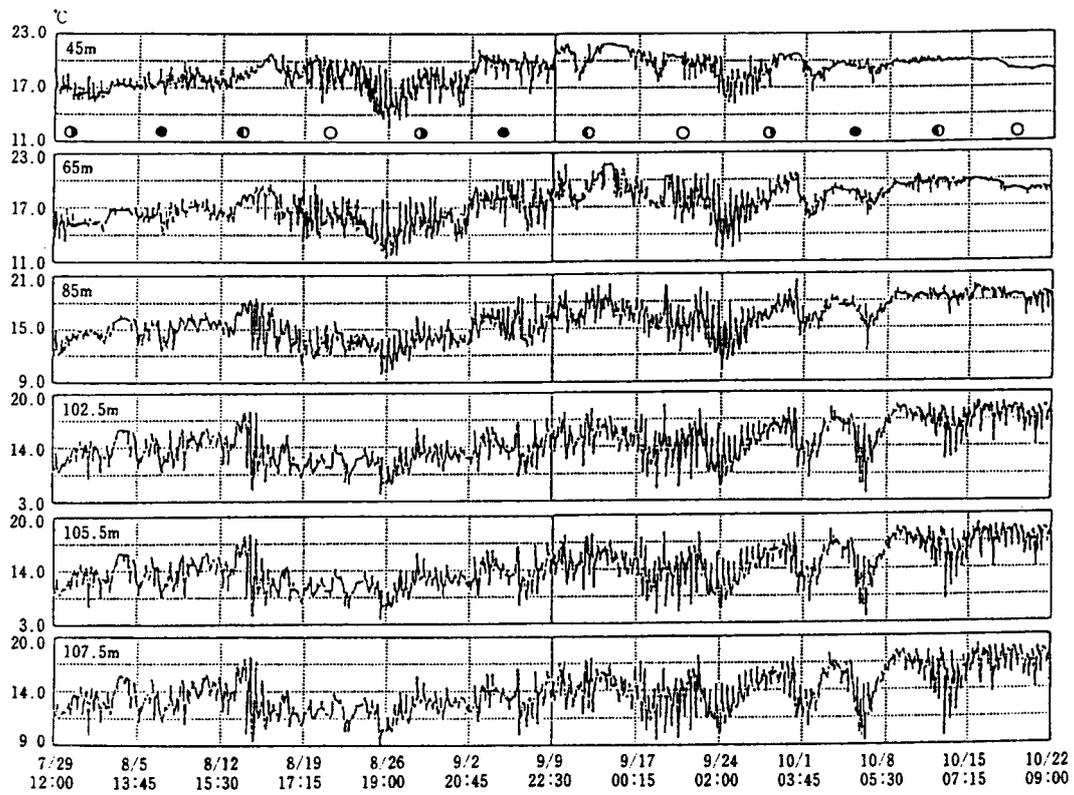
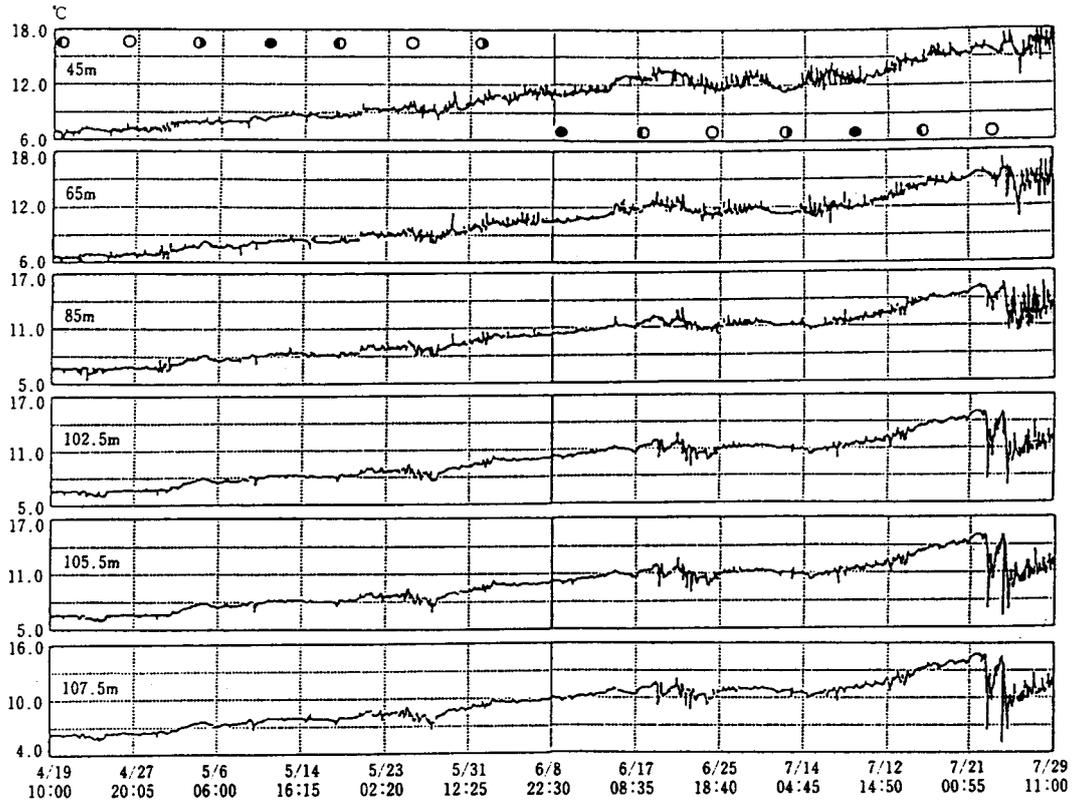


図10. 水温観測結果。図中の記号は月齢を表す。

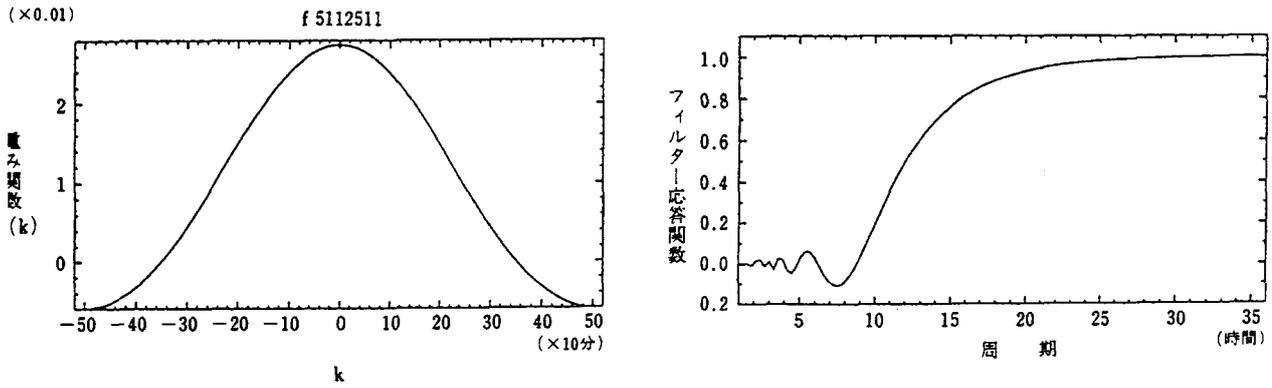


図 1 1. フィルターの重み関数とフィルター応答関数。

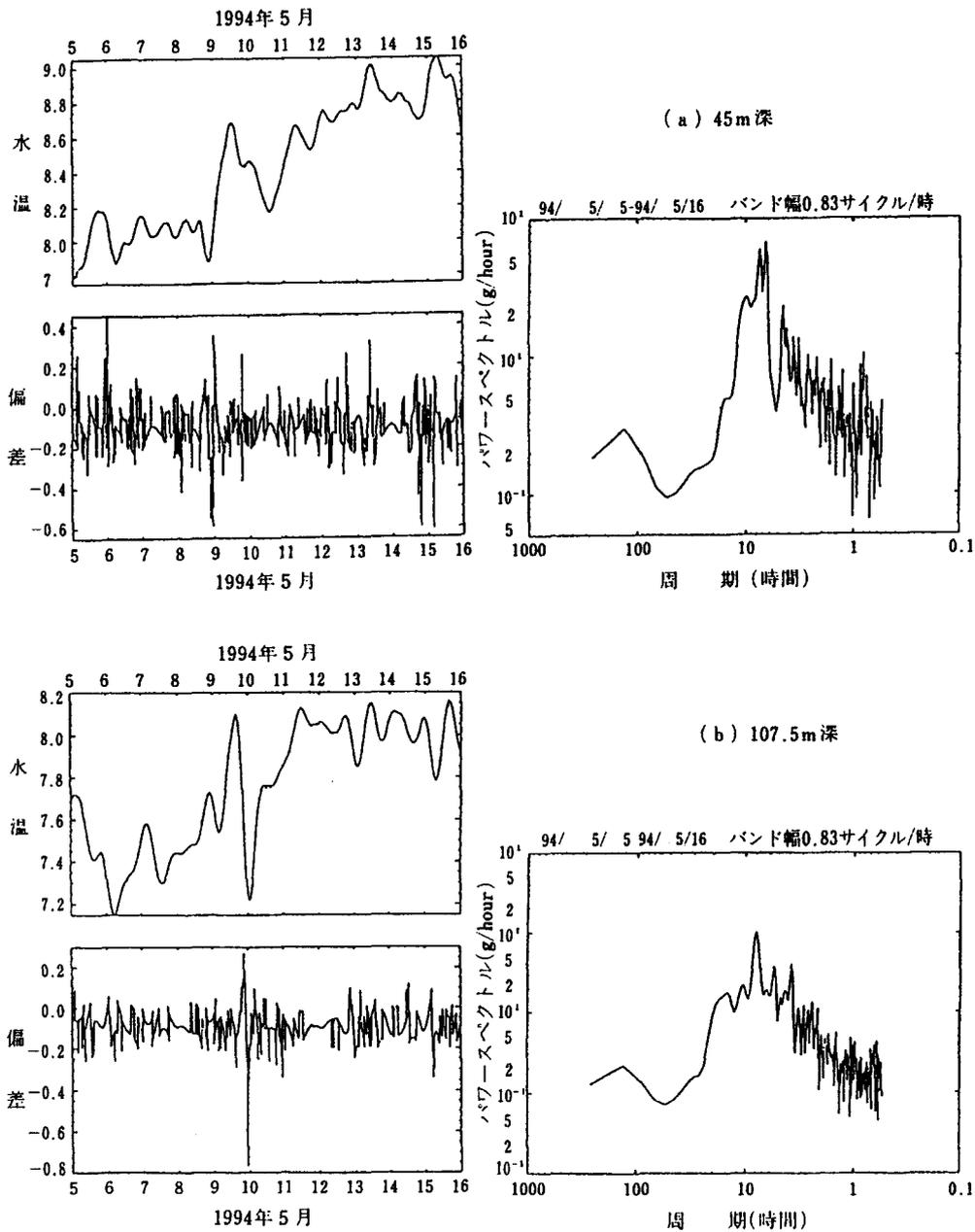


図 1 2. 左図：フィルターによって分離された水温の時系列（上が長周期側、下が短周期側）。
右図：短周期側の変動に対するパワースペクトル。 (a) 45m深、(b) 107.5m深。

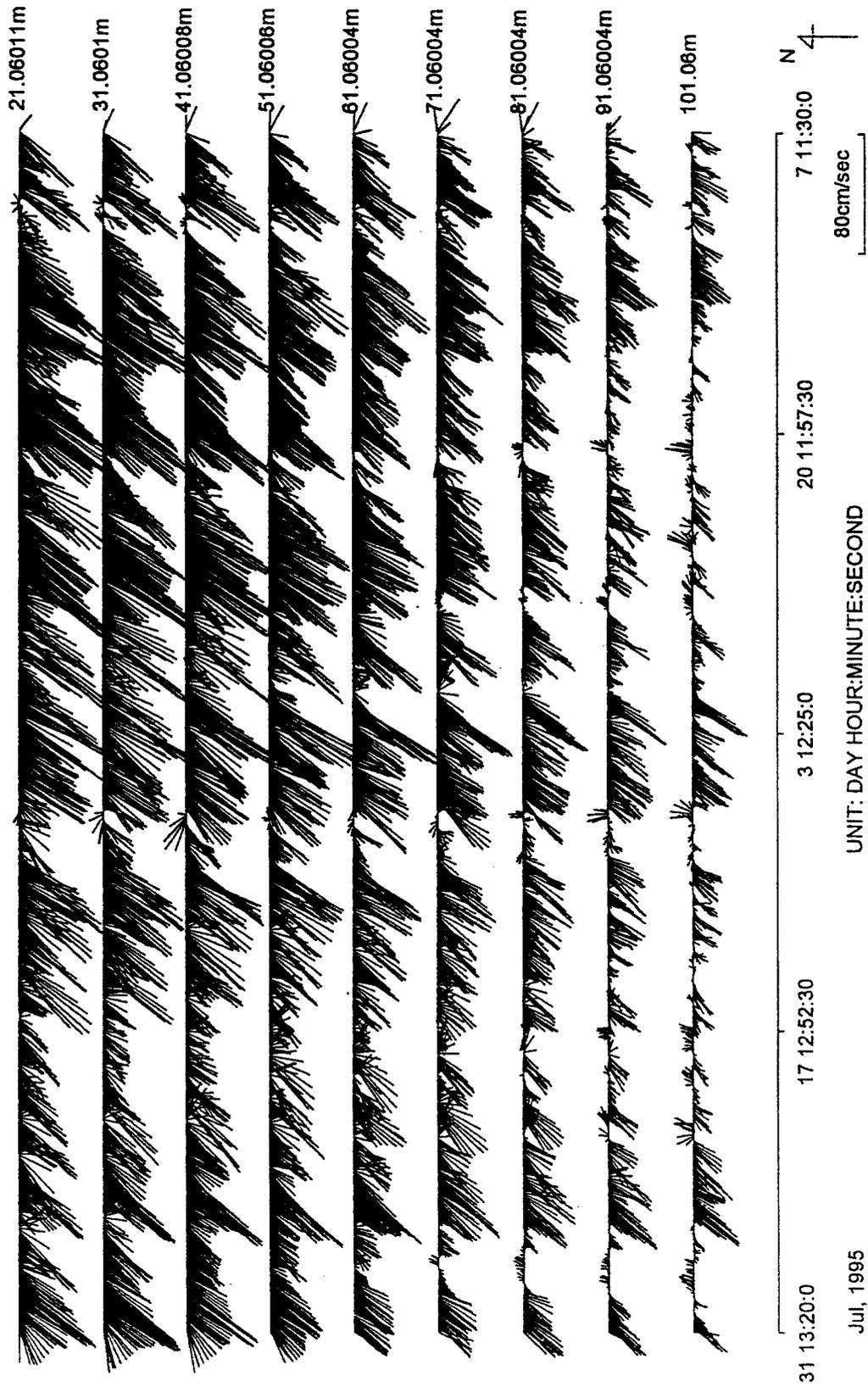


図 1.3. 超音波多層流速計による流速観測結果。

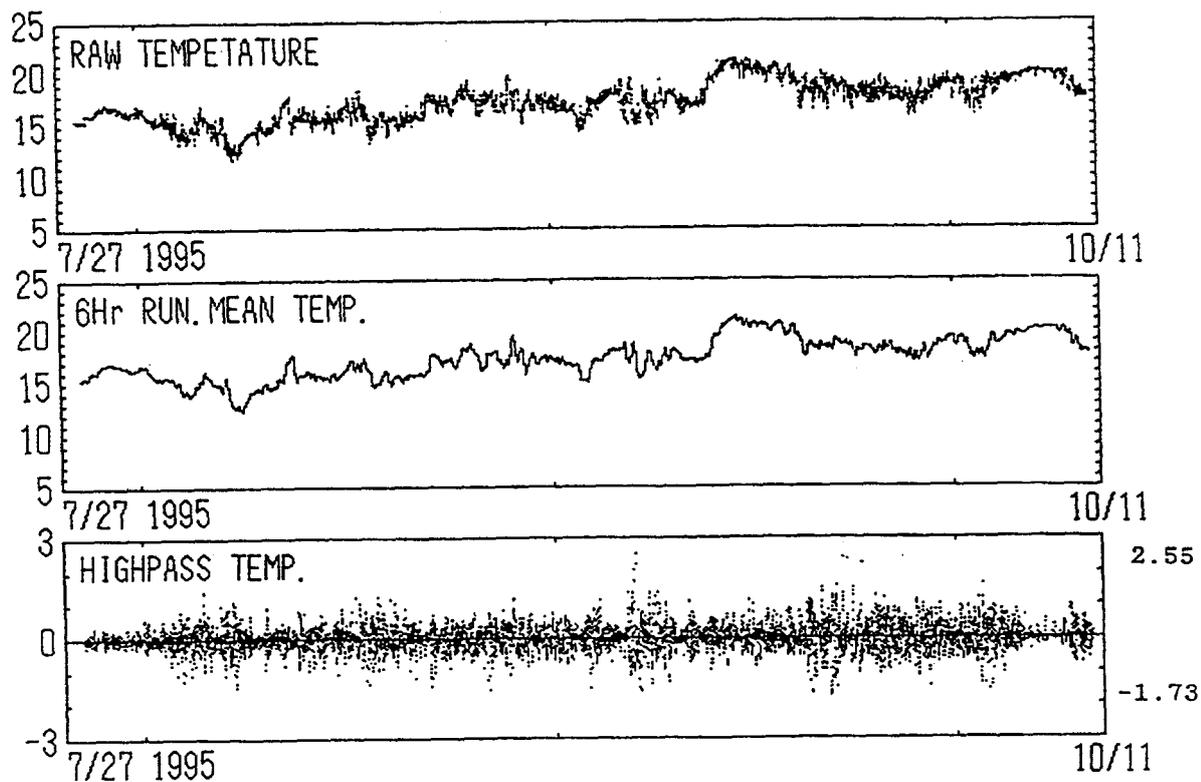


図14. 水温観測結果。(1995年7月27日~10月11日;水深51m)
 上; 生データ 中; 6時間移動平均データ 下; 6時間以下のハイパスデータ

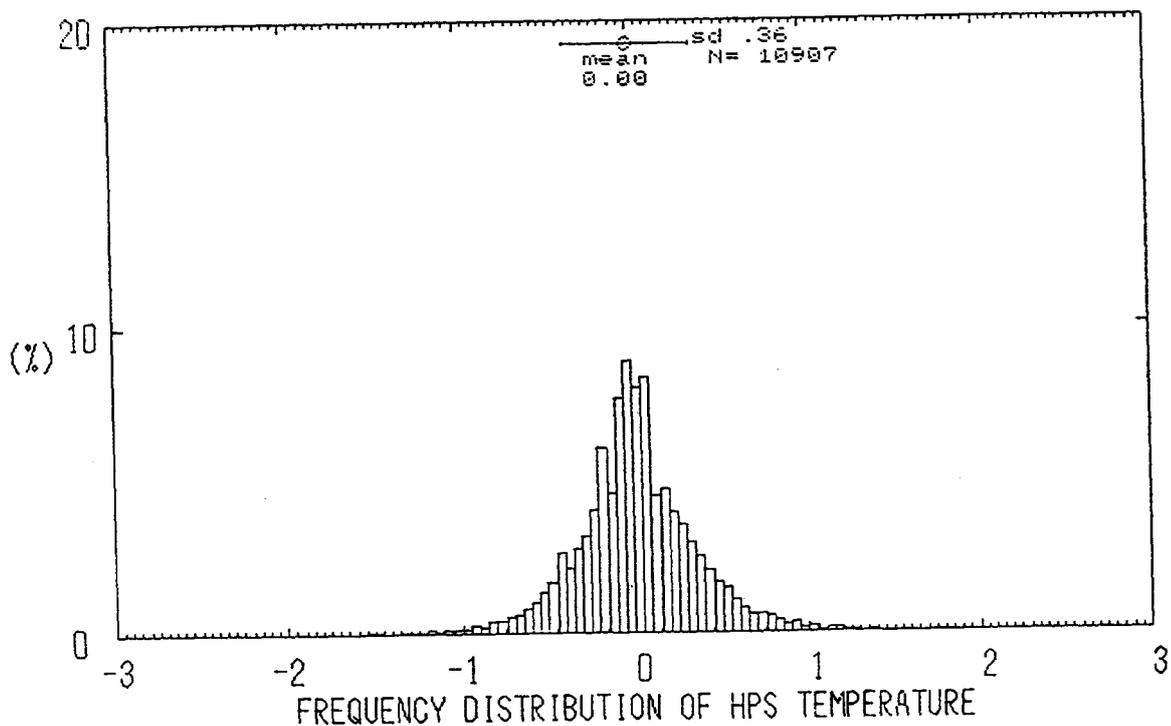
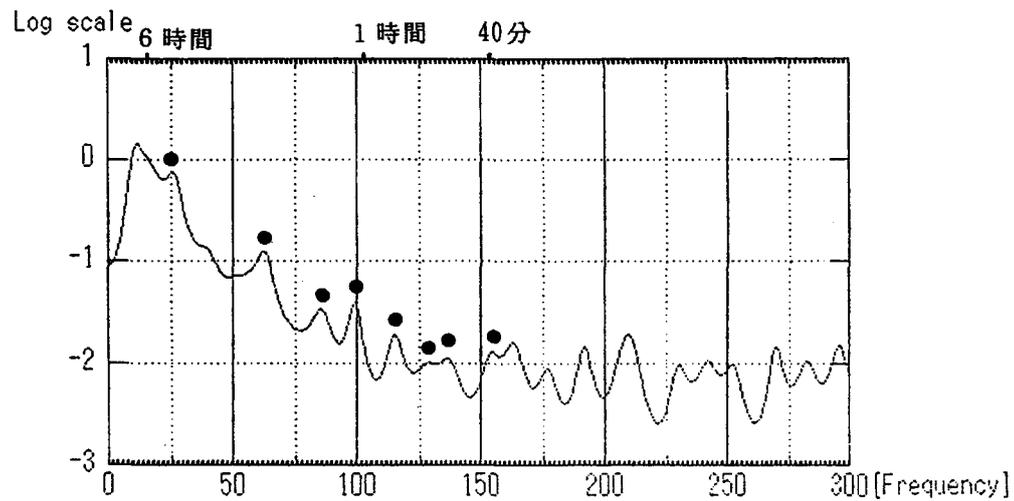
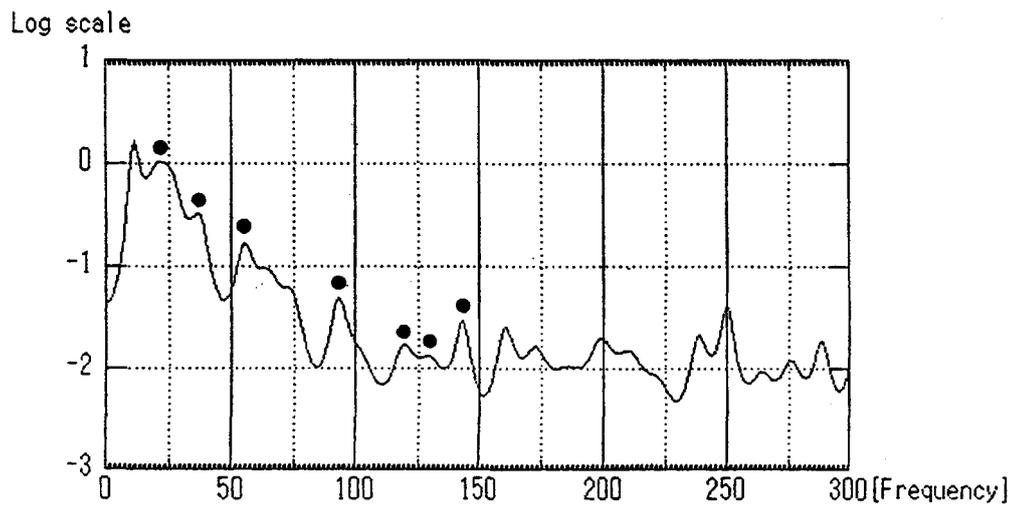
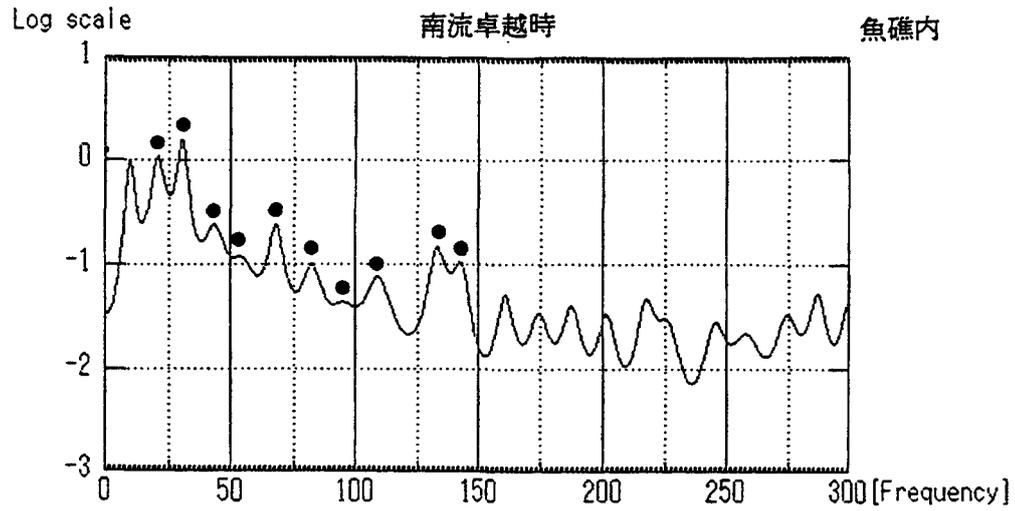


図15. ハイパスデータの頻度分布。(1995年7月27日~10月11日;水深51m)
 図中上部のmeanが平均値、sdが標準偏差、Nがデータ数



シコカ件 モデル ノ リスク ==> 50
 サイヨウ シュウハ スク ==> 0 95/8/6 19:10 - 95/8/11 2:0
 サイタイ シュウハ スク ==> 300 Sampling interval = 10 min.
 スペクトル ノ テンスク ==> 300 テータ スク ==> 613

図16. 南流卓越時（1995年8月6日～11日）の魚礁内の水温変動スペクトル。
 上；71m深層 中；108.5m深層 下；113.5m深層