

網生簀養殖漁場における低酸素水の発生と風の影響について

佐々木 道也

1. はじめに

1973年の夏期に霞ヶ浦北浦の網生簀養殖漁場で、約1500トンのコイが酸欠によって斃死した。それ以後、規模は小さいものの毎年のように、7月から9月にかけて低酸素水によるコイの酸欠死事故が発生している。

この網生簀養殖漁場における養殖コイの酸欠死の原因については、これまでも幾つかの報告がなされているが^{(1) (2) (3) (4) (5)}、これによればいづれの場合にも漁場に低酸素水が発生することによって生じている。

この低酸素水の発生については種々の要因が考えられるが、現場の網生簀養殖業者からは風と酸欠との関係について話を聞くことが度々ある。

例えば南寄りの風の時はコイの調子が良いが、北寄りの風が吹くと調子が悪くなる、というようなことである。

実際、低酸素水が発生した現場を調査していると、そのような関係がみられることが多い。

そこでここでは風向きや風の強さなどに着目して、網生簀養殖漁場における低酸素水の発生と風の影響について検討したところ、若干の知見を得たのでそれを報告する。

2. 調査方法

本調査は、1983年6月-10月、84年9月-10月、89年6月-8月および91年7月-8月の5ヶ年の霞ヶ浦北浦における水温および溶存酸素量の分布、湖水の流況、風向風速等について、下記の方法で行った。

(1) 水温および溶存酸素量の分布

水産試験場地先棧橋における水中の溶存酸素量は、図1に示した内水面水産試験場地先の棧橋(st.1)で、1984年7月-8月に連続して測定し、毎正時ごとの溶存酸素量の値について25時間の移動平均値を求めた。

ただし水中の溶存酸素量は、図2のように水深約3m地点における1m層の水をポンプで常時汲み上げ、この湖水を記録計に接続したD.O.メーター(YSI・57型)で連続して測定した。

なお、ポンプで湖水を汲み上げて測定したのは、D.O.メーターを用いて測定する場合、電極膜に接する水の動きが測定値に大きな影響を与えるため、センサーの電極膜に常に同じ条件で湖水が接触するようにするためである。

養殖漁場等各水域における溶存酸素量と水温の値については、酸欠観測データ⁽⁶⁾を使用した。

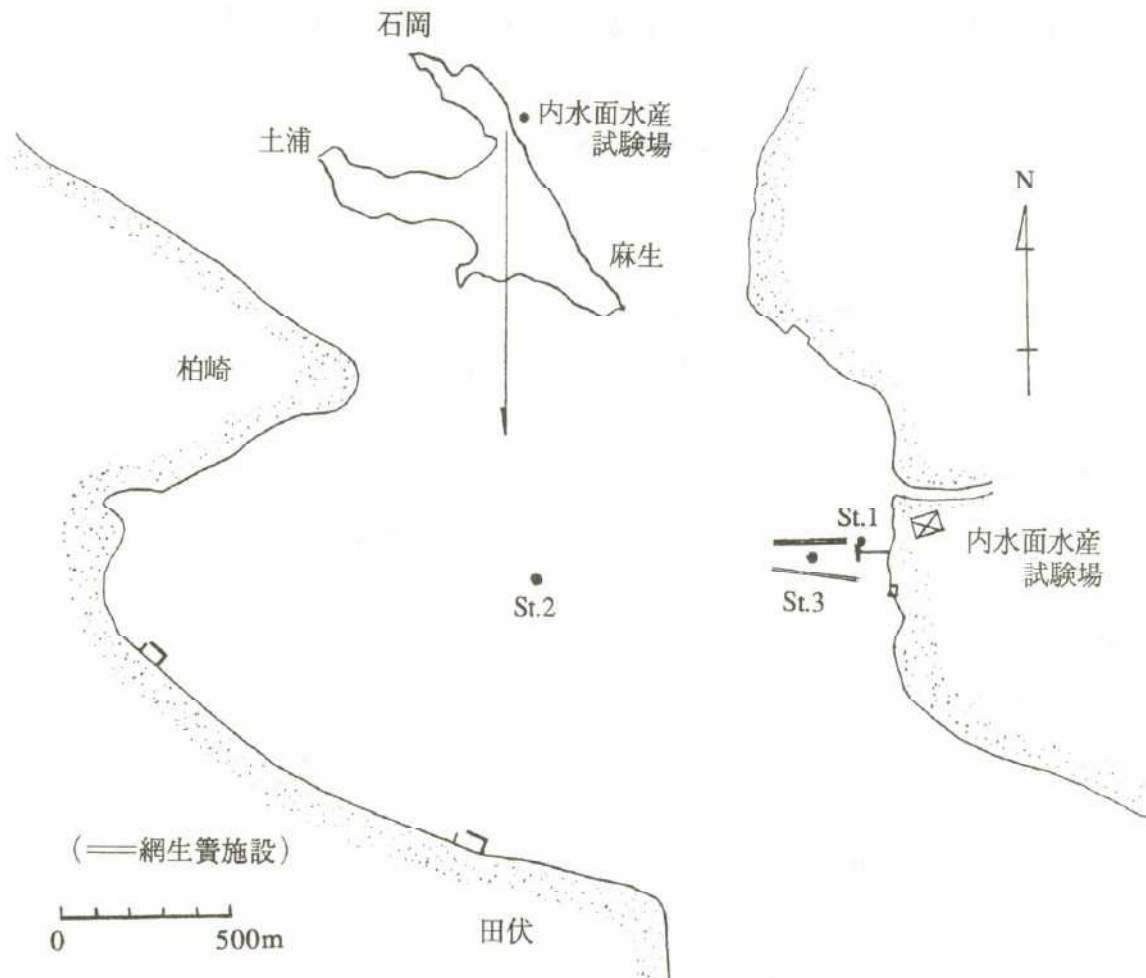


図1 観測栈橋等の位置

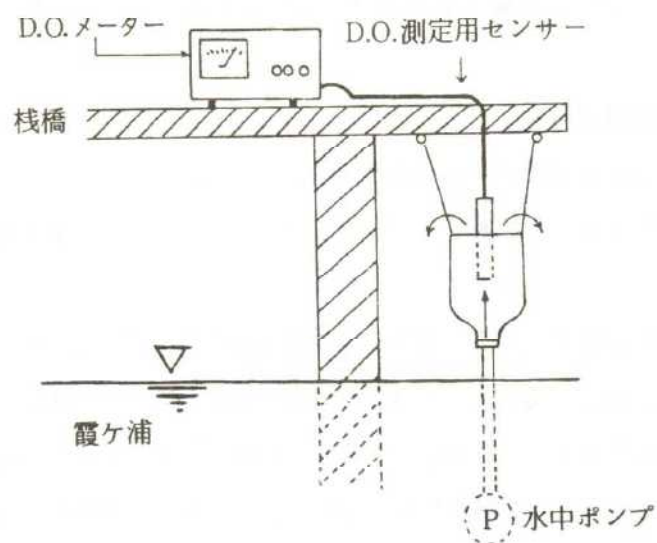


図2 栈橋における溶存酸素量測定装置

観測は毎回午前9～11時頃にD.O.メーター（YSI・57型）を用いて0・1・2m・・・と水深1mごとに行われている。

各漁場間の相関関係を求めるのに用いた底層の溶存酸素量については、次のようにして求めた。

漁場の測定定点の水深（湖底までの深さ）から1mを差し引き、得られた水深の小数点以下の数字を四捨五入した。溶存酸素量は水深1mごとに測定していることから、こうして求めた水深に該当する溶存酸素量をもって底層の溶存酸素量の値とした。データ数はいずれも55～60個であった。

水産試験場地先の横断観測については、1984年8月13日（NEの風）、15日および16日（Sの風）に、江川漁場地先については1984年8月8日（NEの風）、11日（SSEの風）および91年7月30日（ENEの風）に、それぞれ図3、図4に示した地点において、D.O.メーターで水温と溶存酸素量を水深1mごとに測定した。

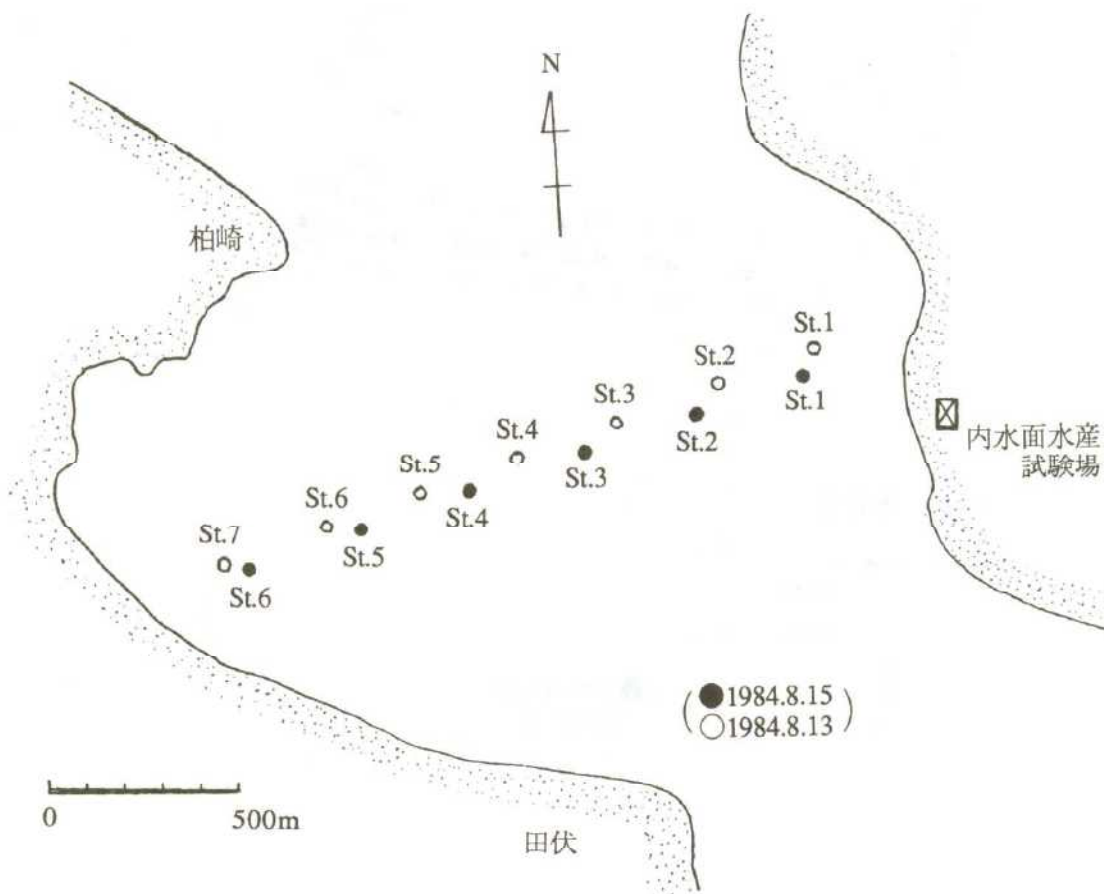


図3 水産試験場地先の風向と溶存酸素量の垂直分布調査地点

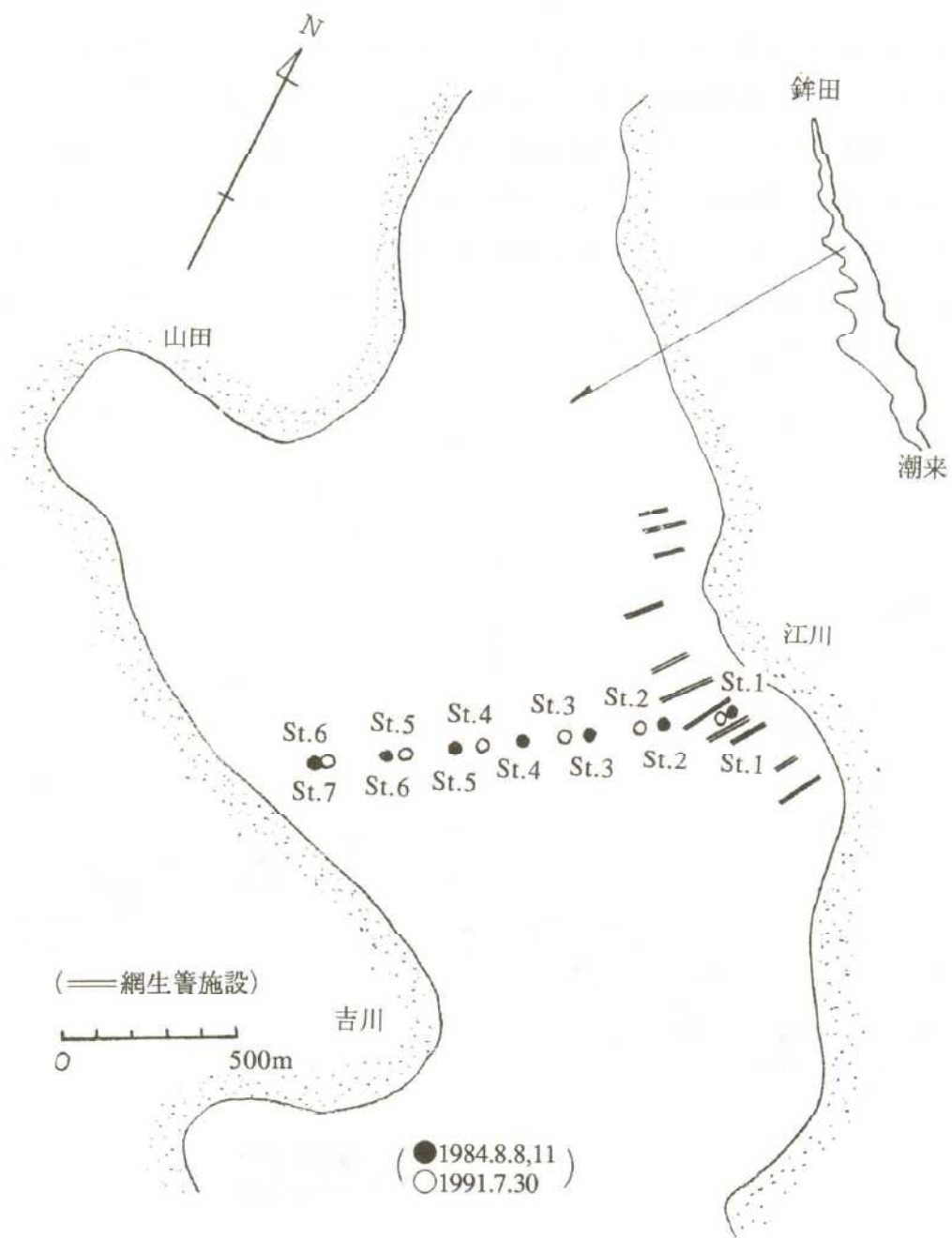


図4 江川漁場地先の風向と溶存酸素量の垂直分布調査地点

(2) 湖水の流況

水産試験場地先棧橋における流向流速は、電磁流速計（三洋測器・EMC108型）を用いて1984年9月から10月にst. 1の水深約2 m層について測定し、毎正時ごとの各値について25時間の移動平均値を求めた。

手賀漁場における流向は1983年6月30日（Sの風）、7月4日（Nの風）および11日（NEの風）に、回転翼式流速計（Sensordata・SD-2型）を用いて調べた。この場合の測定時間は5分間とした。

(3) 風向風速

風向風速は水産試験場屋上に設置した自記風向風速計で連続測定し、記録紙から毎正時ごとに16方位に区別して風向および平均風速値を読み出しこれを使用した。

ただし、1989年以前の風向については8方位で整理されていたので、ここではそのままその値を用いた。

なお、銚田における日および毎時の風向風速値については、水戸地方気象台の気象月報⁽⁷⁾並びに気象原簿⁽⁸⁾にあるものを用いた。

3. 結果および考察

(1) 風向と棧橋付近における水中の溶存酸素量との関係

水産試験場地先の棧橋で、溶存酸素量および風向風速を連続して測定し、それぞれを対比して示したのが図5である。

これによると風向と溶存酸素量との間には、非常に強い相関関係のあることが明かである。

即ち、南寄りの風の吹いている時には溶存酸素量は高くなり、北寄りの風の時には溶存酸素量は低くなっている。

そこでこのことについて更に詳しく検討を加えた。

図6は1983年9月に、水深約3 m付近の棧橋で1 mごとに観測した、水温および溶存酸素量の値を図示したものである。またその時の風向風速についても併せて図中に示した。

これによると13時15分の観測までの時間、それまで吹いていたEの風から変わったSの風が約6時間連吹していた。この時表層から底層まで、水温および溶存酸素量は共に高い値を示している。

この観測直後に風は約4 m/sのEの風に変ったが、Eの風が変わってから約1時間後の15時5分の観測結果をみると、水温は各層とも一様に約1℃低下している。同様に溶存酸素量も各層共に低下しているが、特に、水深1 m層以下では急激に減少し、底層では約7 ppmから一気に約1 ppmにまで大幅に低下している。

このような水温および溶存酸素量の低下現象は、Sの風からEの風に変った約2時間後の15時55分にも継続してみられている。

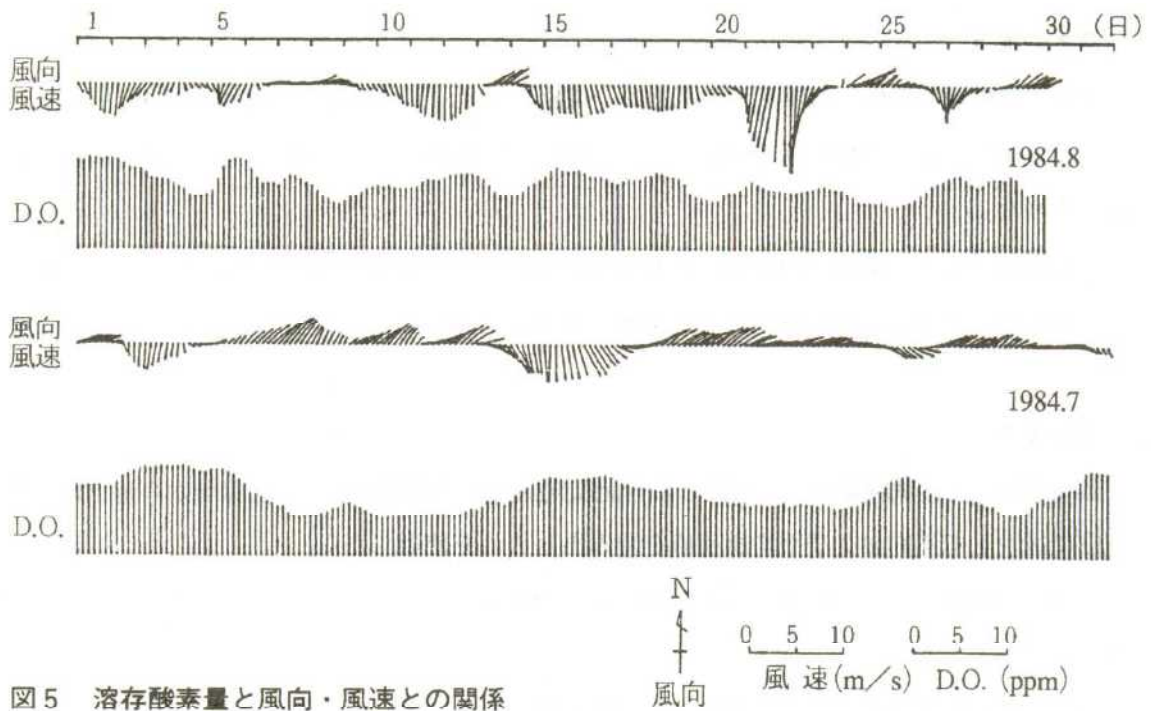


図5 溶存酸素量と風向・風速との関係

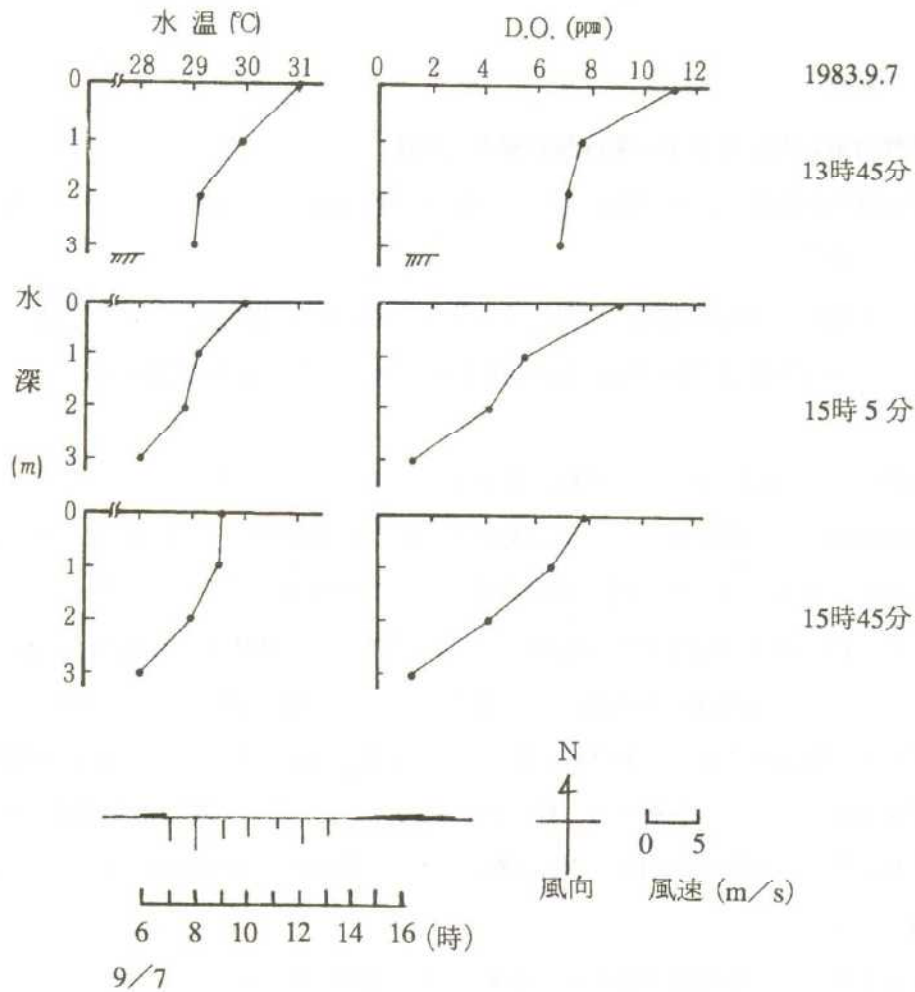


図6 風向・風速と水質との関係

この現象は風向が変わったことによって、水温の高い溶存酸素量の多い表層水が現場を去り、その代わりに水温の低い溶存酸素量の少ない、沖合の底層水が出現してきたことによるものと推測されるが、このような現象が風向きが変わった後、きわめて短時間のうちに生じていることは注目すべきことである。

なお沖合の底層水という論拠は図7の1984年7月～8月の栈橋沖合地点（図1（St.2））における、水温および溶存酸素量の垂直分布⁽⁶⁾の推移で示したように、この期間の底層の溶存酸素量は、表層に比較して常に低い値となっていることや、水温についても上下層に差がみられ、底層の水温は上層の水温に比べてかなり低くなっていることなどから、沖合には水温が低く、且つ溶存酸素量の低い底層水が常時存在していることが明らかであり、ここではこの現象を指して述べたものである。

図8は水産試験場地先栈橋の水深約2m層の湖水の流向および流速を測定し、この時の風向風速とを対比して示したものである。

この調査期間中NEとSWの風が卓越しているが、湖水の流向はNEの風の場合はNEに、SWの風の場合はSWへと風の方向とほぼ逆の方角へ流れていることがわかる。

即ち、NEの風の場合には風は岸から沖へと吹いているのに対し湖水は沖から岸へ流れ、SWの風の場合には風は沖合から岸へ吹いているのに対し、湖水は岸から沖へと流れていることになる。

このように水産試験場地先における湖水の流向は、風向と密接な関係にあることが推測される。

ところで、この結果は水深約3m地点での2m層での流向であり、水深ごとの流向が明かでないのではっきりしたことはいえないものの、北寄りの風の時には溶存酸素量の少ない底層水が流入してくるのに対し、南寄りの風の場合には溶存酸素量の多い表層水が、絶えず流入してくることを示唆している。

また、このことは先の結果でも述べたように、Eの風が変わったことによって沖合から底層水が流入し、表層に上昇してきたのではないかと推測したこととも良く一致している。

この現象を含め、現場を去った水温の高い溶存酸素量の多い湖水の動向を見極めるために、水産試験場地先の栈橋から幾分沖合でも、これと同様の現象が見られる筈であると考えて、以下のような調査を行った。

先の調査を行った栈橋から、更に沖合の水深4.8m地点（図2（st.3））で水深別に流向を測定した。その結果を図9に示したが、図には調査時刻前後の風向風速も併せて掲げた。

これによると調査実施前日からNEの風が連吹しており、調査中も約4～5m/sのNEの風が吹き続けている。

各層の流向についてみると、1m層ではほぼ風の吹く方向と同じく沖に向かって流れているが、2m層では流れが東寄りに変わり、3m以深の層では風の吹く方向と全く逆向きの流れとなっていて、先の栈橋での調査と同じ結果となっている。

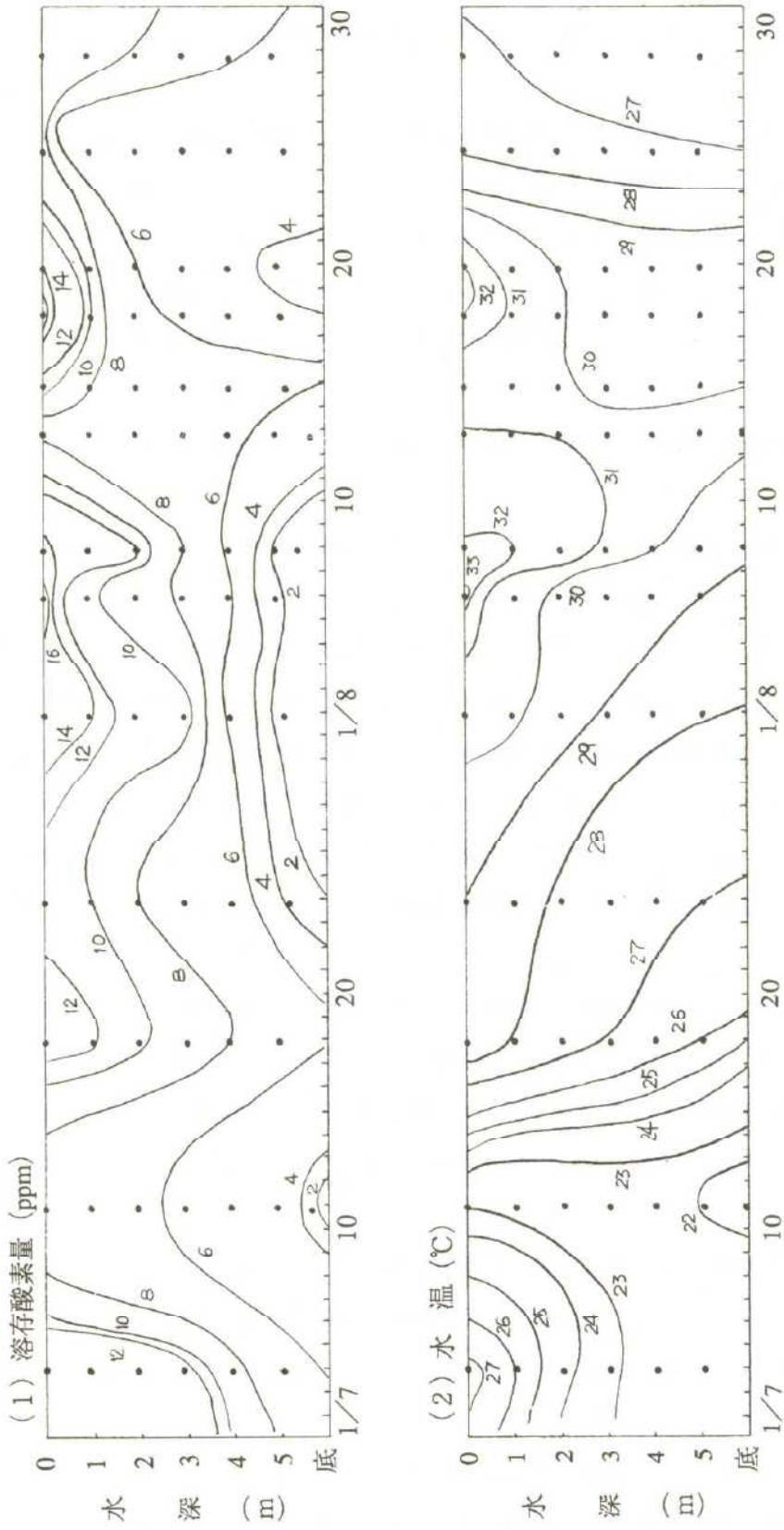


図7 棧橋沖合地点の溶存酸素量および水温の垂直分布 (1984.7~8)

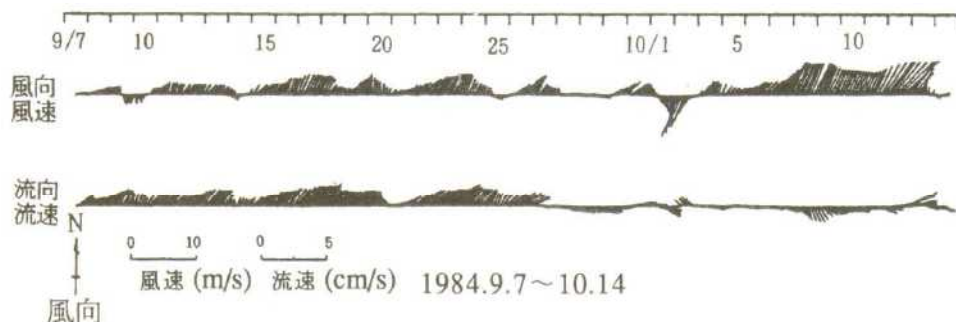


図8 棧橋における流向流速と風向風速との関係

以上のように水産試験場地先の霞ヶ浦では、北寄りの風の場合には表層水の流向は風下である沖に向かって流れ、一方、底層水の流向は風上である水産試験場地先の湖岸に向かって流れている。

北寄りの風が吹くと、風上側である水産試験場側の水域では溶存酸素量が低下するが、この原因が既に述べたように風下側からの底層水の流入によって起こっているものとする、風下側に当たる対岸付近の、底層水の溶存酸素量は高くなっている筈である。

そして南寄りの風の場合には、逆に風下側に当たる水産試験場側の水域では、溶存酸素量が高くなっているのに対し、対岸の水域では反対に低くなっている筈である。

このことの確認はNEおよびSの風が吹いている時に、水産試験場側の湖岸から対岸に向けて、ほぼ北東に横断する地点(図3)で溶存酸素量と水温の垂直分布を調査した結果をもとに述べることにする。

結果をそれぞれ図10に模式的に示したが、同時に各観測日ごとの風の吹送状況についても併せて示した。

これによると観測前から強いNEの風が吹いていた8月13日の場合、風上側に当たる水産試験場側の水域は、沖合の底層水と思われる水温の低い溶存酸素量の少ない水で覆われているのに対し、対岸は水温の高い溶存酸素量の多い水域となっている。

一方、8月15日のS風の場合には、逆に水産試験場側は水温が高く、しかも溶存酸素量の多い水域となっているのに対し、対岸に向かうにつれて水温は低下し、溶存酸素量の値も低くなっている。

しかし、Sの風がおおよそ2日間も吹き続けた8月16日の場合には、水温も溶存酸素量も水平的な分布は一様になっており、ある一定の風が長い間継続して吹けば、これらの水平的な片寄りは次第にみられなくなることを示しているものと思われる。

このことは先に述べた10月8日～9日に行った、水産試験場地先棧橋での風向風速と湖水の流向との調査において、強いNEの風が連吹した場合、湖水の流れの方向がNEから次第にSEへと変わっ

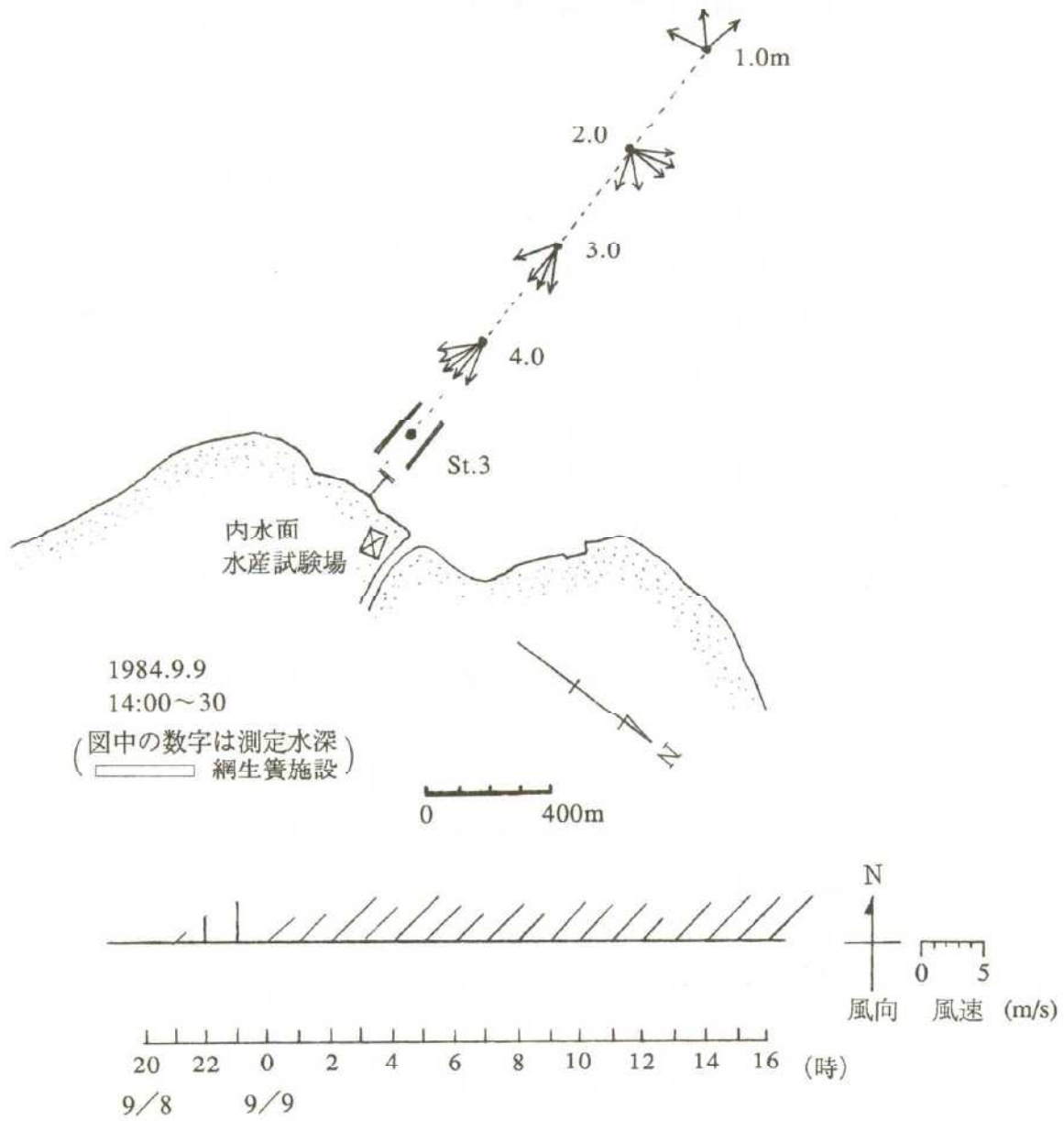


図9 棧橋沖合での水深別流向

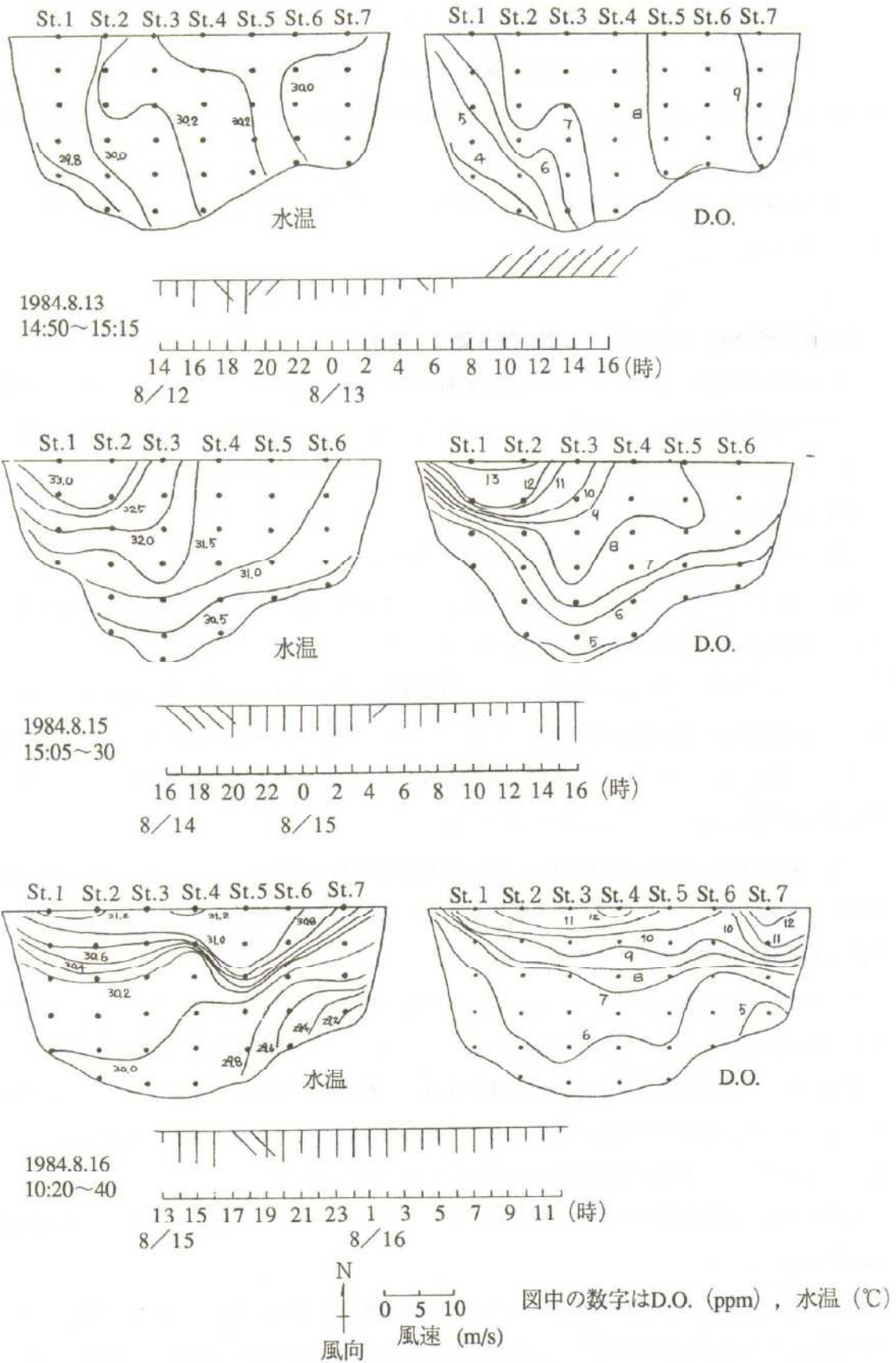


図10 水産試験場地先の風向とD.O.および水温の垂直分布

たことと同じ現象によるものと思われる。

このような現象については更に調査を進め検討する必要があるが、風の吹送時間や強さによって湖水の立体的構造が変化し続け、湖水の流れは最終的には混合という現象へ向かうことを示唆するものであろう。

以上の結果から漁場の溶存酸素量は風上側で高く、風下側で低くなるとした先の推測が正しかったことがわかる。

(2) 網生簀養殖漁場における風向と溶存酸素量との関係

図11は霞ヶ浦北浦における主な網生簀養殖漁場の位置を示したものであるが、これらの漁場においても水産試験場地先で見られたと同じような風向と流向との関係がみられ溶存酸素量に影響をおよぼしているのかどうかを調査した。

調査は霞ヶ浦の手賀漁場について行った。

なお、図12には参考として手賀漁場の水深分布を示した。

結果を図13-1, 2, 3にそれぞれ示したが、いずれの風の場合についても底層水は風の吹く方向とは、ほぼ反対方向に流れていることがわかる。

このことからNおよびSの風の場合には、溶存酸素量の多い表層水が風下側に流れ去っても、風上側から溶存酸素量の多い表層水が供給されること、また漁場に流入する底層水についても低酸素になりやすい湖心部からではなく、湖岸付近の水域からの流入と思われることなどから、漁場内の溶存酸素量の低下は起こりにくいものと考えられる。

一方、NEの風の場合には溶存酸素量の多い表層水は風下側に流れ去り、代わって湖心部底層の低酸素水が漁場に流入し、先に述べた水産試験場地先でのNEの風の場合と同じように、上下層ともこの湖心部底層の低酸素水に満たされるものと考えられる。

このように手賀漁場においても、風によって漁場内の溶存酸素量が影響されていることがわかったが、他の漁場においても同様の現象が起こっていることは容易に推測することができる。

図11に示した各養殖漁場は水産試験場地先水域や手賀漁場と同様に、湖面に対してほぼ北側に位置しているため、地形的な問題はあるもののこれらの水域における溶存酸素量の変化についても、風向との間で互いに密接な関係がみられるのではないかと考えた。

水産試験場では低酸素水の発生がみられる6月～9月に、これらの養殖漁場周辺で溶存酸素量の測定を実施している。

そこで霞ヶ浦北浦の主な養殖漁場における溶存酸素量の変化が、風向との関係で漁場ごとに類似の状況を示すのではないかと考えて、比較的測定回数の多い1989年、90年および92年の底層の溶存酸素量の値⁽⁶⁾を利用して、各水域同士の相関関係を調べた。

結果を表1に示した。

今、この表から仮に相関係数が0.5以上の水域同士を抽出してみると表2のようになる。

これによると霞ヶ浦は霞ヶ浦、北浦は北浦と二つの湖ではっきりと水域同士の関係が分かれており、霞ヶ浦と北浦の水域についての相互の関係は低くなっている。また、相関の高い水域は霞ヶ浦でも、また北浦においてもそれぞれ隣接水域同士にあるものが目立っている。

このように同じ霞ヶ浦でも遠く離れた水域同士で相関が低かったり、また互いに比較的近くに位置している霞ヶ浦北浦で溶存酸素量の動向が異なっているのは、その水域が位置している地形的な問題や地域による風の吹き方の違いによるものかもしれない。

図14は、一例として1990年と91年の玉造（水産試験場）と江川漁場に近い銚田⁽⁸⁾の、7月～9月の日別最多風向から作成した風配図を示したものである。

これによると玉造と銚田では、風向の頻度分布が幾分異なっていることがわかる。これまで用いてきた風向のデータは全て玉造のものであり、北浦の漁場でも玉造と同じ風が吹いているものとみなして論じてきた。

しかし、図14で明らかなように場所によって風の吹き方に差異がみられることから、両湖の水域

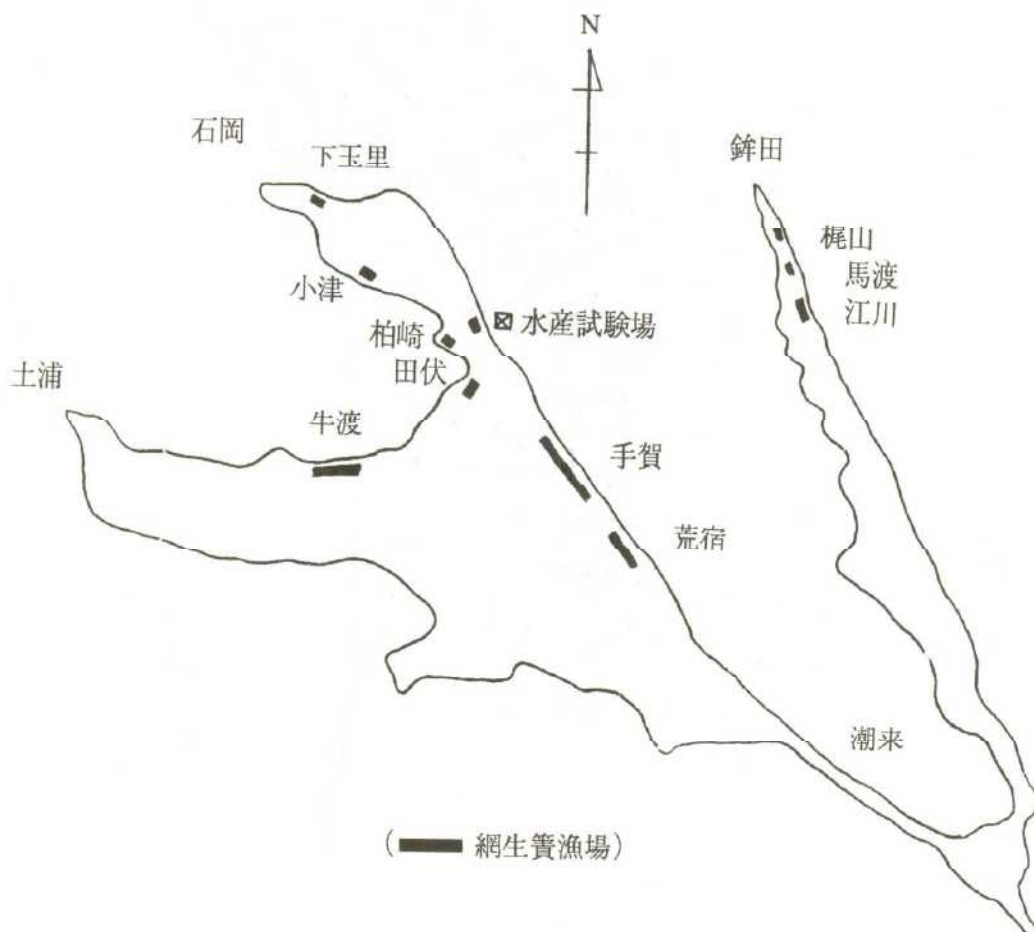


図11 霞ヶ浦・北浦における主な網生簀漁場の位置

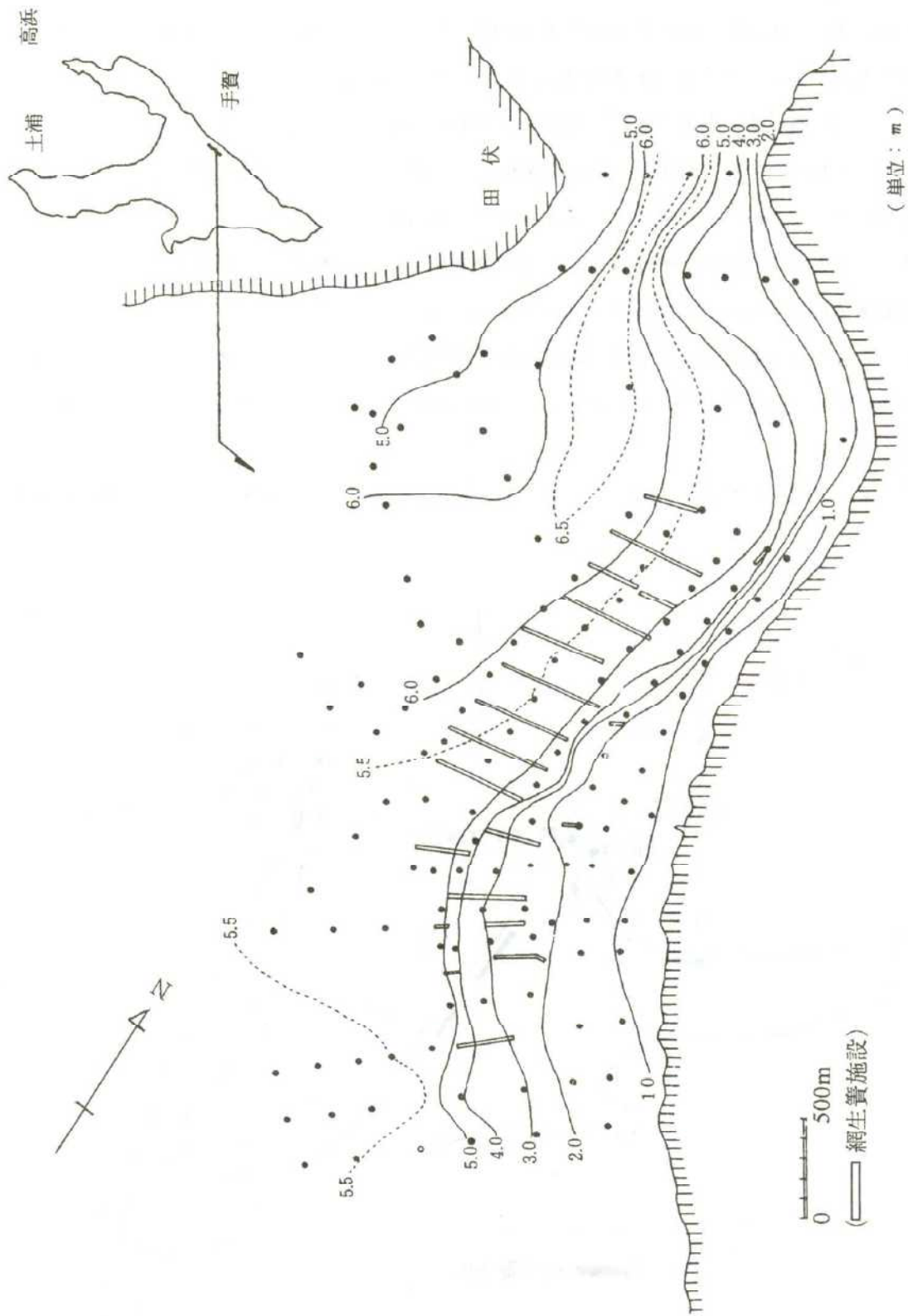


図12 手賀網生簀漁場水深分布 (1983.5)

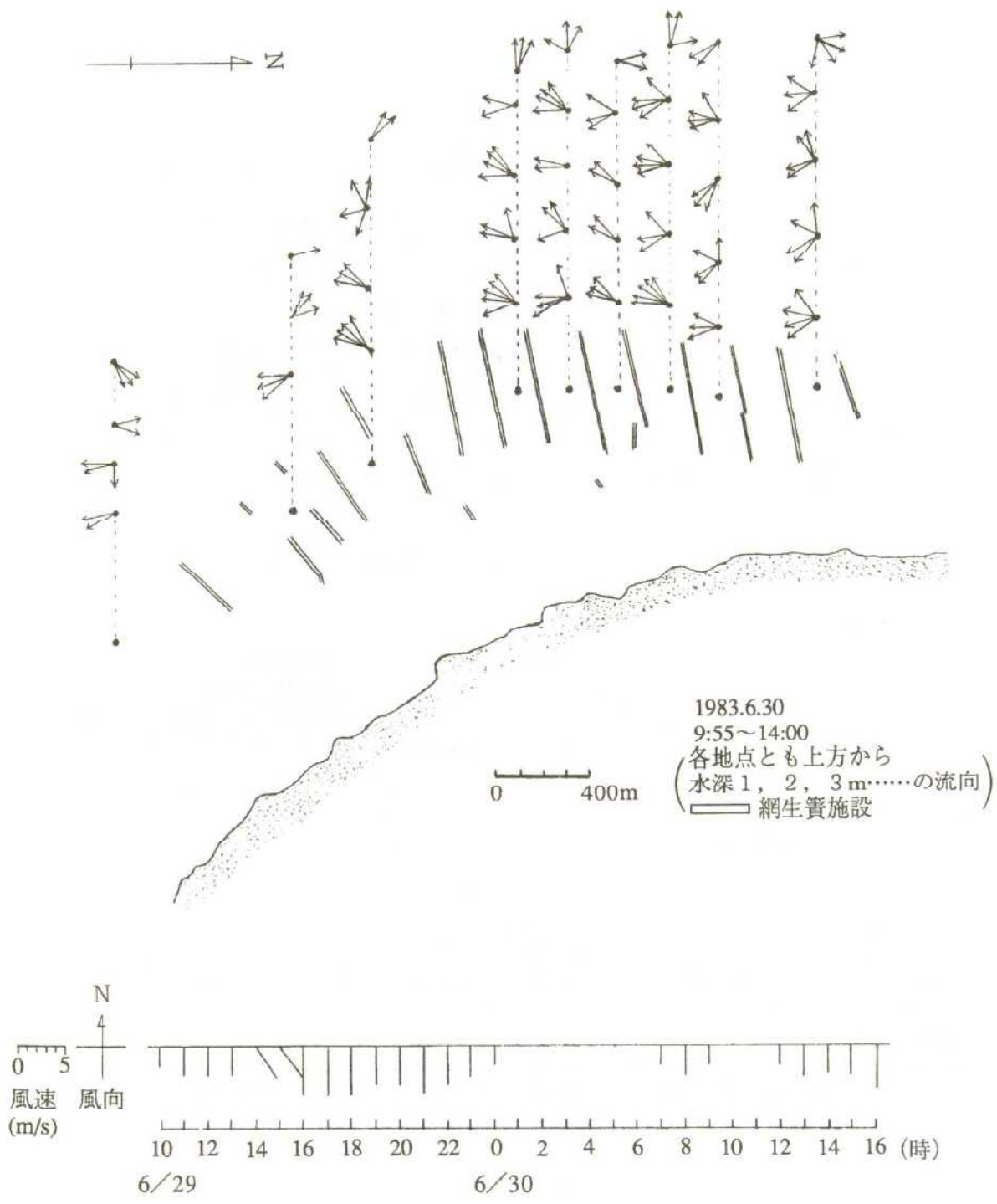


図13-1 手賀漁場における風向と流向について

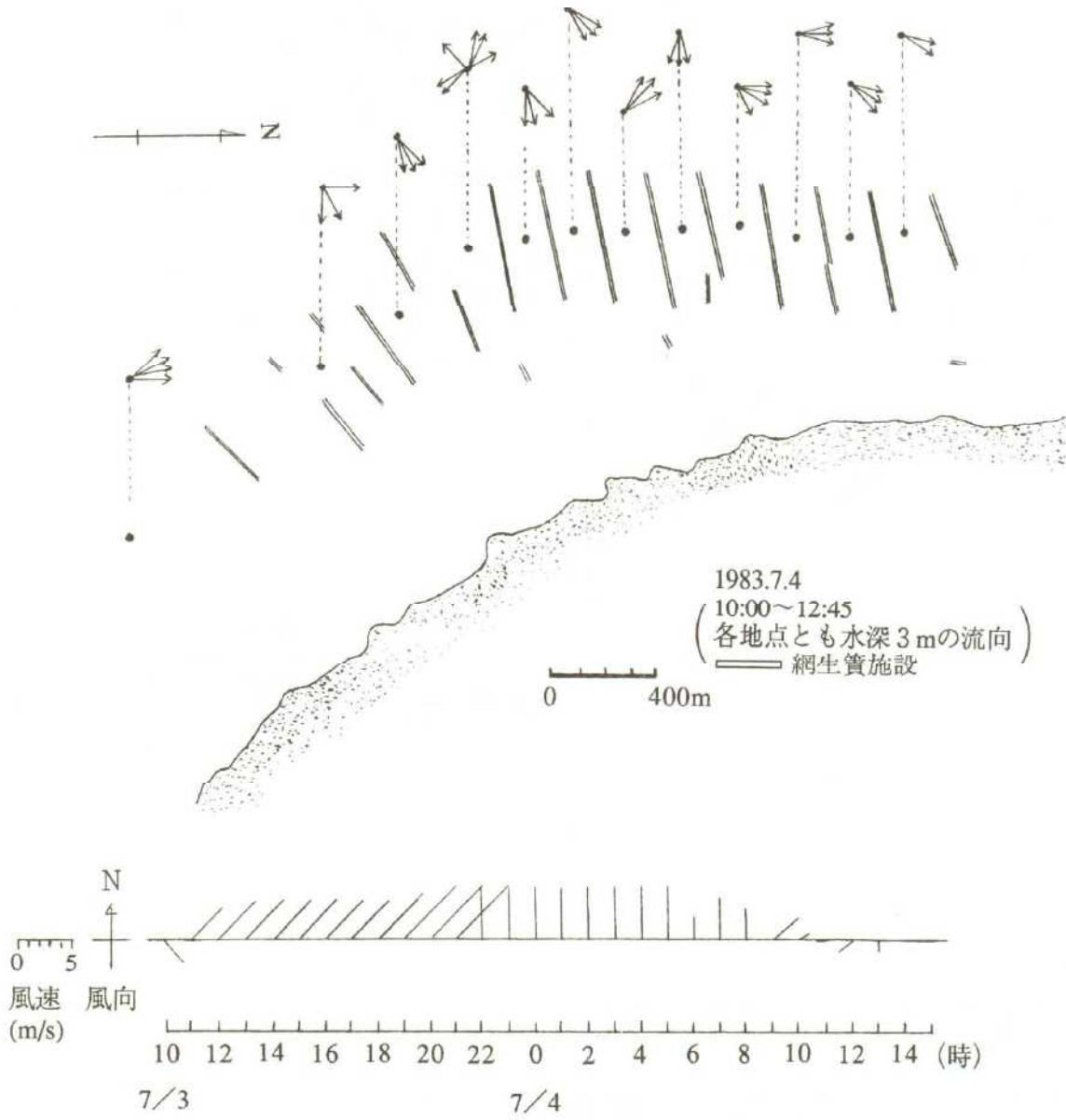


図13-2

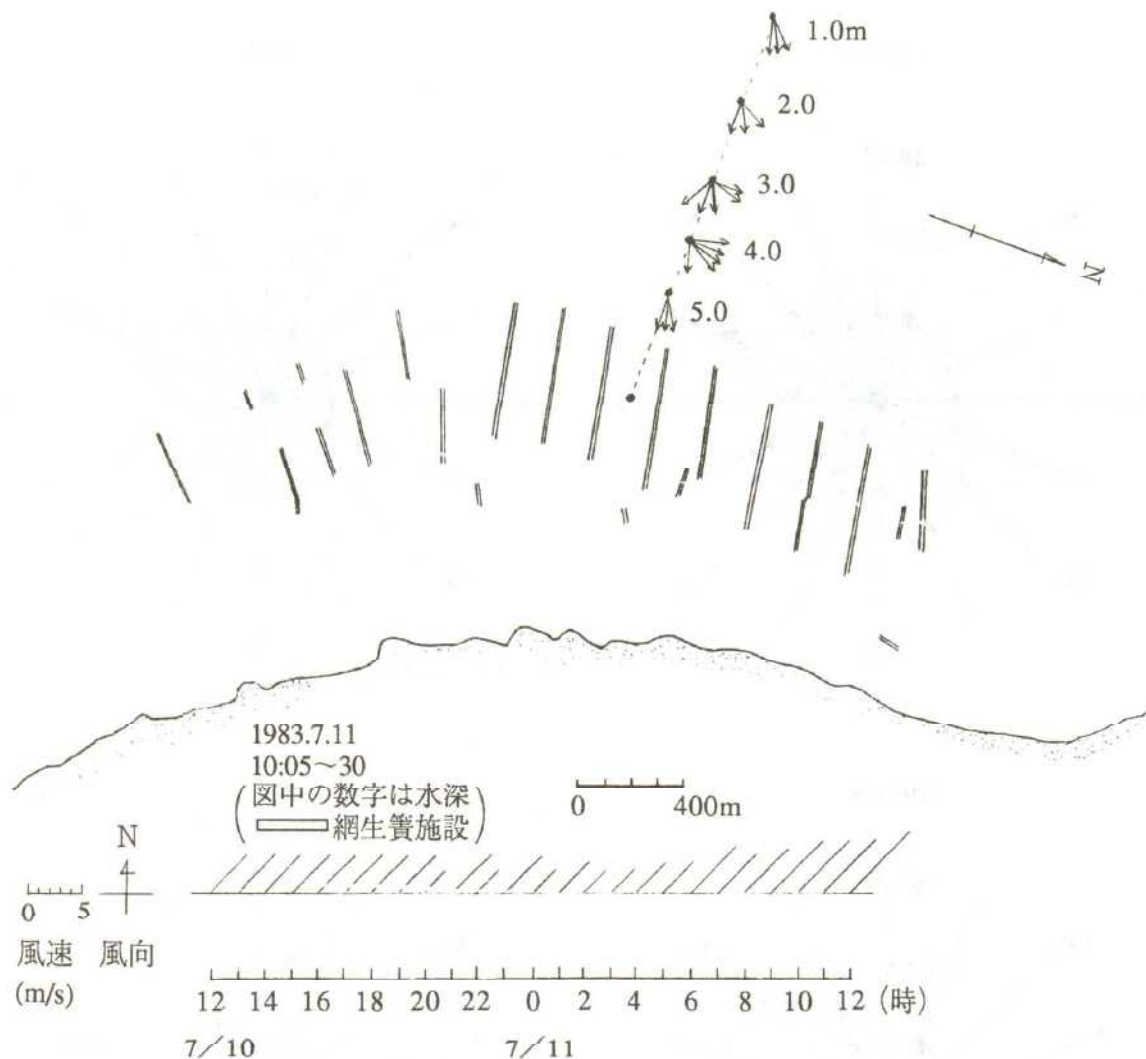


図13-3

における溶存酸素量の動向に相関関係がみられない大きな原因は、このことにあるのではないかと
思われる。

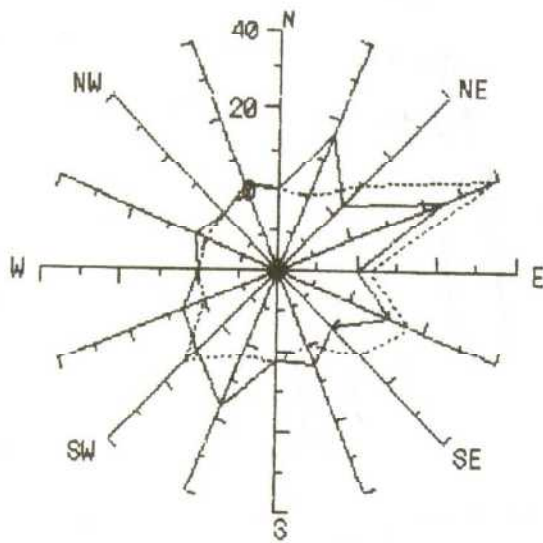
そこでこれを確認するために北浦の江川漁場沖（図4）で、風向と溶存酸素量および水温との関
係について調査を行った。

図15は江川漁場地先の沖をほぼ北東に横断して、溶存酸素量および水温の垂直分布を調査した結
果を模式的に示したものである。また、図には調査時前後の風の状況も同時に示したが、この風の
データは、江川漁場に近い銚田⁽⁷⁾のものである。

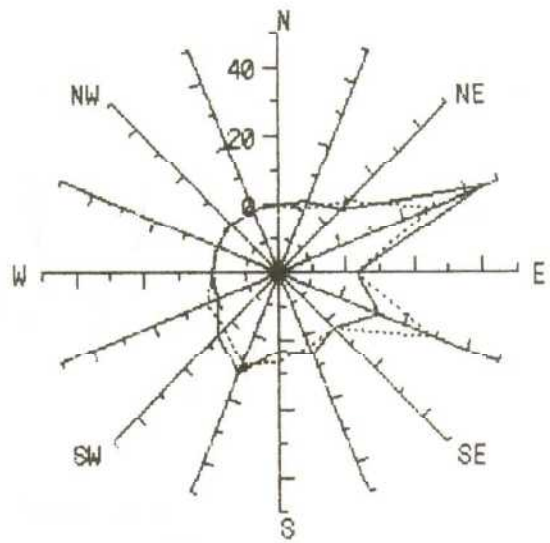
この調査によると8月8日の場合は、観測の前約6時間ほど弱いNEの風が吹き続けている。

この時、風上側に当たる江川漁場では溶存酸素量が極端に少なく、水温の低い水が漁場を覆って

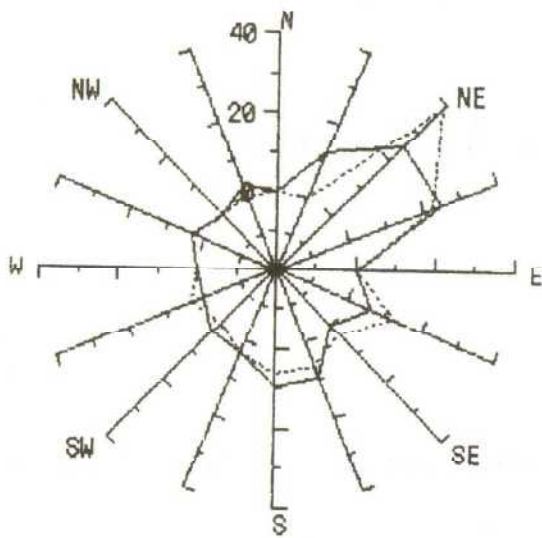
1991.7



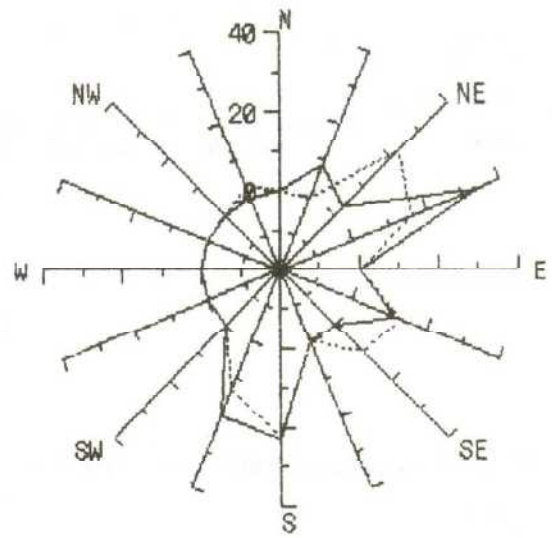
1992.7



1991.8



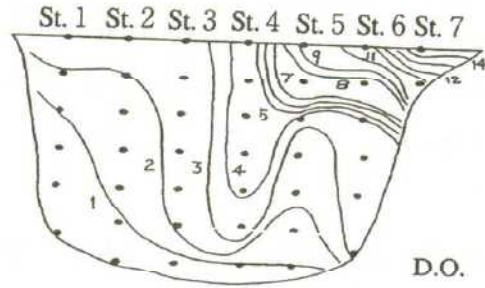
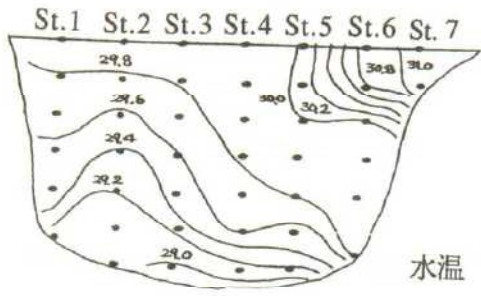
1992.8



— 玉造 銚田

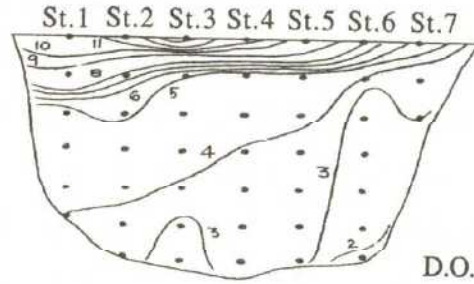
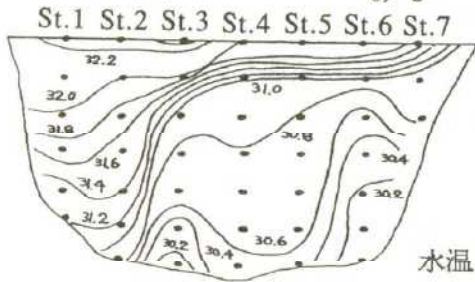
— 玉造 銚田

図14 玉造と銚田における7～8月の風配図 (数字は%)



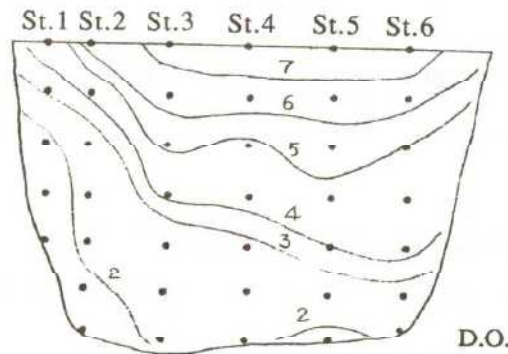
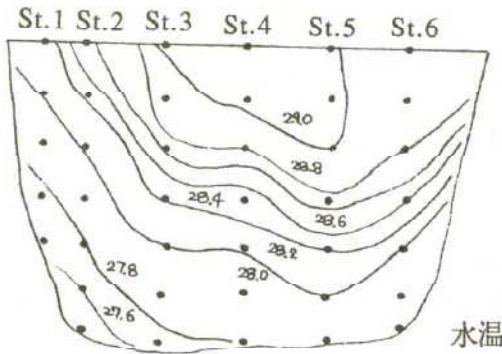
1984.8.8
9:40~10:15

14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 12 14 16 (時)
8/7 8/8



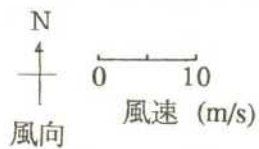
1984.8.11
9:35~10:15

14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 12 14 16 (時)
8/10 8/11



1991.7.30
9:50~10:20

14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 12 14 16 (時)
7/29 7/30



図中の数字はD.O.(ppm), 水温 (°C)

図15 江川漁場地先の風向とD.O.および水温の垂直分布

いるのに対し、対岸の風下側は非常に溶存酸素量の豊富な、且つ水温の高い水域となっている。

一方、観測時にSSEの風が吹いていた8月11日では、江川漁場側の水域は水温の高い、溶存酸素量の多い水で覆われているものの、対岸に向かうほど水温は低く、溶存酸素量の値も小さくなっている。

なお、ENEの風が長時間連吹していた7月30日の場合、風上側で水温並びに溶存酸素量の値が低く、風下側では水温が高く溶存酸素量も多い傾向はみられているもののあまり明確ではない。

これは先の水産試験場沖での、Sの風が長時間吹き続けていた8月6日の場合や、10月8日～9日のNEの風が、同じように長時間連吹していた場合と同様の現象によると思われる。

以上のように先に述べた水産試験場前の横断観測調査結果と同じように、Sの風のときは風下の江川漁場側の溶存酸素量が高くなっているが、風上の対岸側に行くほど低くなっている。

一方、NEの風の場合には、逆に風上の江川漁場側の溶存酸素量は低くなっているのに対し、風下の対岸に向かうにつれて高くなっている。

このように北浦の江川漁場においても、霞ヶ浦とまったく同じ現象がみられ、風向きによって漁場の溶存酸素量が強く左右されていることがわかる。

ところで漁場における低酸素水の発生を、風のみによって全て説明しようとするのは無理があることはいうまでもないが、霞ヶ浦北浦各水域同士の溶存酸素量の相関関係が低いのは、水域ごとに吹く風が微妙に異なっており、このことが各漁場が位置する地形的な条件と相俟って、このような状況になっているものと思われる。

図16は玉造で観測された7月～8月の毎正時における、1989年～92年の4年間の平均値から作成した風配図であるが、これによるとNE～ENEの風が各月とも大部分を占めていることが明らかである。

先に触れたように地域によって風の状況が異なることから一概にはいえないものの、夏期に多く吹くNE付近の風の時には、ほとんどの養殖漁場が風上側に位置することになるので、養殖漁場における溶存酸素量の低下に注意する必要がある。

(3) 風速と溶存酸素量との関係

前項においては主に風向と溶存酸素量との関係について記述してきたが、この項では風向とは別に養殖漁場に発生する低酸素水について言及しておきたい。

この低酸素水は無風状態の継続によって、度々養殖漁場内に出現するものである。そこでこの無風状態に着目し、風力の指標である風速と底層水の溶存酸素量（先の表1の場合と全く同様の考え方によって求めた）との関係について調べた。

図17は手賀漁場底層水の溶存酸素飽和度と、前日の午前11時から当日の午前10時までの毎正時の積算風速との関係をみたものである。

7月 (1989-92)

8月 (1989-92)

9月 (1989-92)

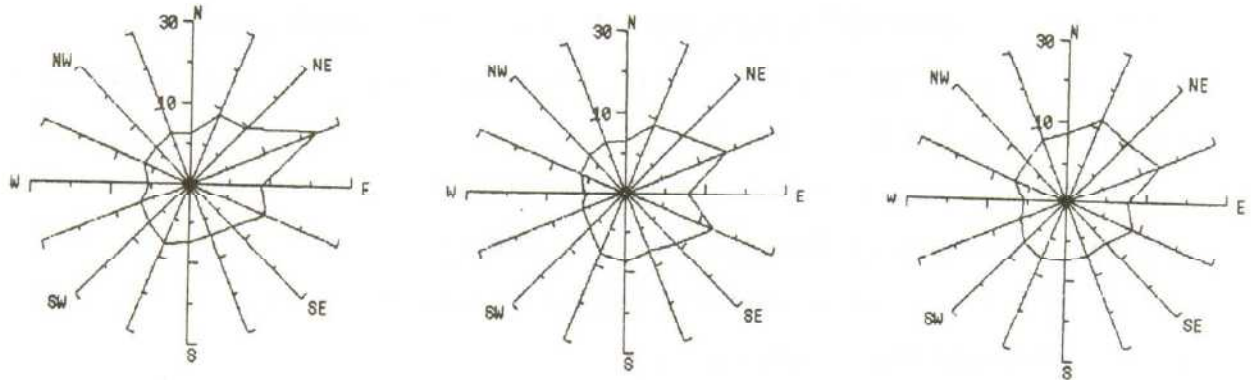


図16 玉造における7～8月の風配図 (1989～1992の平均)
(数字は%)

表1 底層における溶存酸素量の各水域ごとの相関係数

	下玉里漁場	小津漁場沖	内水試沖	田伏漁場	手賀漁場	湖心	牛渡漁場	荒宿漁場	江川漁場沖	江川漁場	馬渡漁場	梶山漁場
下玉里漁場		0.62	0.11	0.01	0.12	0.03	0.37	0.14	0.11	0.05	0.01	0.11
小津漁場沖			0.26	0.29	0.42	0.41	0.35	0.25	0.04	0.24	0.06	0.13
内水試沖				0.38	0.46	0.40	0.13	0.31	0.14	0.17	0.06	0.20
田伏漁場					0.58	0.66	0.47	0.41	0.47	0.26	0.19	0.06
手賀漁場						0.50	0.20	0.63	0.34	0.27	0.17	0.13
湖心							0.48	0.39	0.27	0.22	0.00	0.22
牛渡漁場								0.19	0.26	0.07	0.04	0.13
荒宿漁場									0.17	0.14	0.05	0.03
江川漁場沖										0.45	0.73	0.36
江川漁場											0.51	0.37
馬渡漁場												0.61
梶山漁場												

表2 底層の溶存酸素量において比較的相関の高い水域

霞ヶ浦		北浦	
水域	比較的相関の高い水域	水域	比較的相関の高い水域
下玉里漁場	小津漁場沖	江川漁場	馬渡漁場
小津漁場沖	下玉里漁場	江川漁場沖	馬渡漁場
内水試沖	—	馬渡漁場	江川漁場沖・江川漁場・梶山漁場
田伏漁場	手賀漁場・湖心	梶山漁場	馬渡漁場
手賀漁場	荒宿漁場・田伏漁場・湖心		
湖心	田伏漁場・手賀漁場		
牛渡漁場	—		
荒宿漁場	手賀漁場		

なお、積算風速を前日の午前11時から当日の午前10時までとしたのは、溶存酸素量の測定が毎回ほぼ午前9時～10時の間に行われているためである。

これによるとこの時間の積算風速が約70m/s以上の時には、漁場の溶存酸素飽和度は約70%以上となっていてそれ以下の値がみられないのに対し、約70m/s以下の時には漁場の溶存酸素飽和度が極端に低下する場合のあることがわかる。

なお、積算風速が約70m/s以下でも溶存酸素飽和度にばらつきがみられているのは、一時的に強い風が吹くなど風の吹き方や風向の違いによるものと推測される。

ところで、午前11時から翌日午前10時までの積算風速が70m/sとは、いうまでもなくこの時間にいろいろな風速の風が吹いての値である。

しかし、一応の目安としてこの時間における平均値の風速約3 m/s以下の風が、長時間吹き続けている場合には、漁場の溶存酸素量が低下する条件の一つである、と考えた方が妥当であると思われる。

図18は玉造における7月～8月の、毎正時における風速が3 m/s以下の風の割合を示したものである。

なお、データは近年の例として1991,92年のものを使用した。

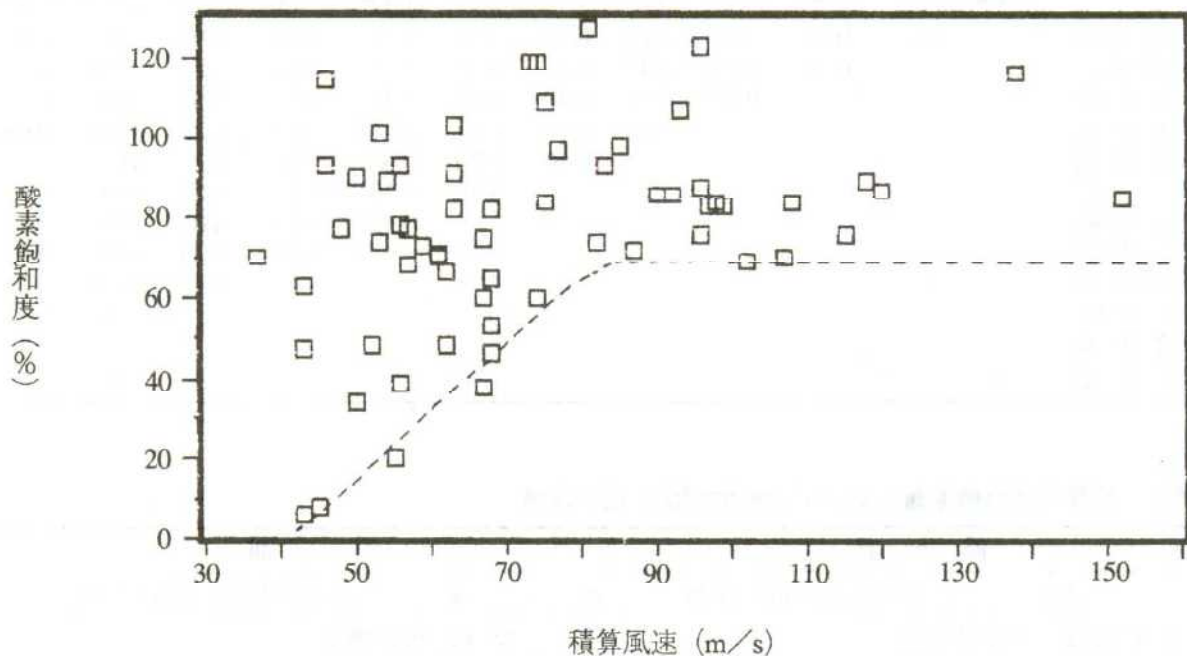


図17 手賀漁場における積算風速と酸素飽和度との関係
(但し、午前11時～翌日午前10時までの積算風速)

この図によるとこの時期、風速が3 m/s以下となる時間は、午後6時から翌朝の6時までの夜間に多く、養殖漁場における溶存酸素量の低下については、特に夜間に注意する必要がある。

以上は手賀漁場について得られた結果であるので、これを直ちに他の網生養殖漁場に適用することはできないが、酸欠対策の日安としては利用できるのではないかとと思われる。

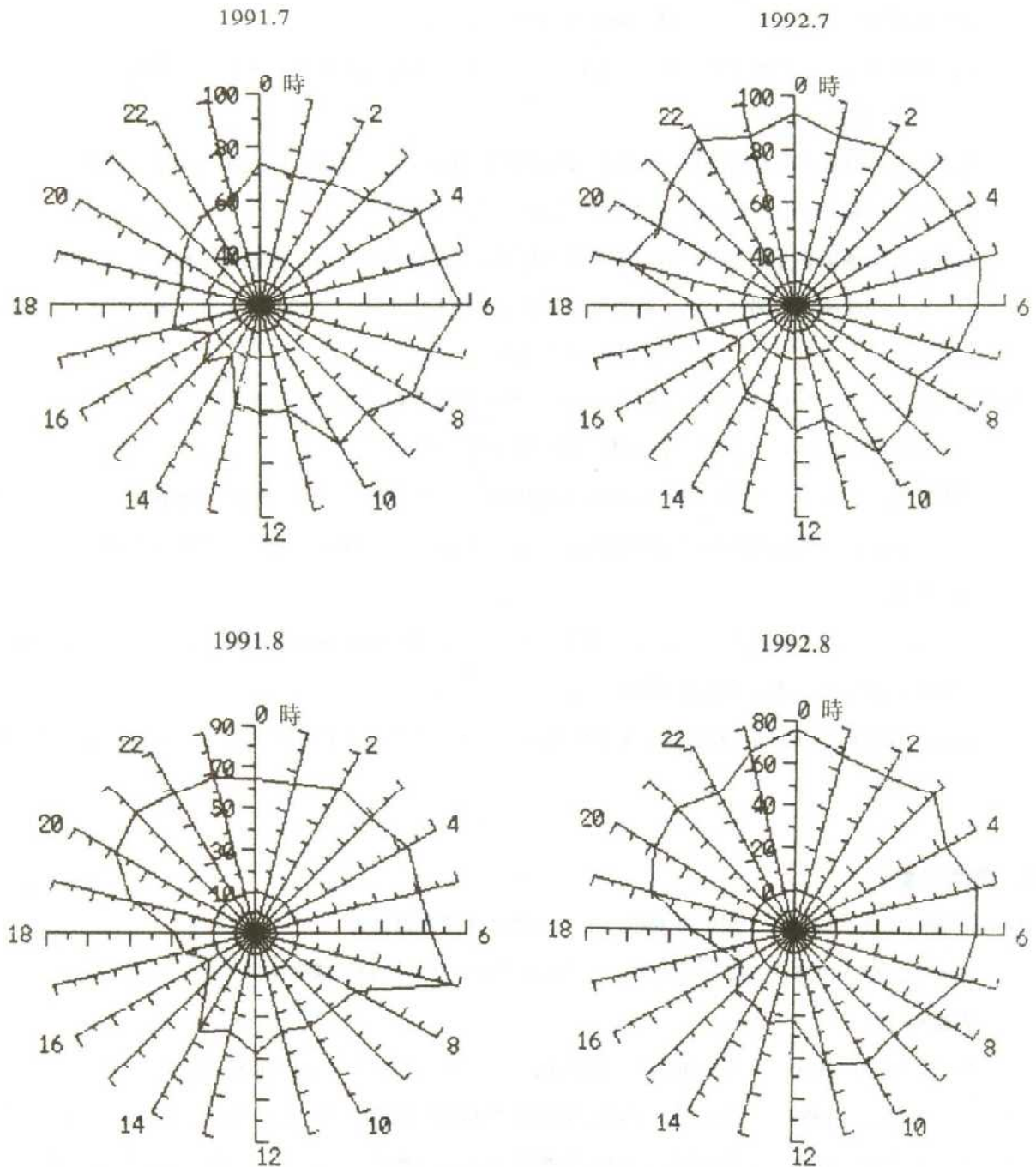


図18 玉造における毎正時の風速が3 m/s以下の風の割合(数字は%)

4. 要 約

霞ヶ浦北浦における風向風速、湖水の流況、水温分布および溶存酸素量の分布等を検討し、網生簀養殖漁場における低酸素水の発生におよぼす風の影響について調べた。

結果の要約は次の通りである。

- (1) 網生簀養殖漁場における低酸素水の発生と風向との間には密接な関係がみられ、風上側の水域で溶存酸素量は低くなり、逆に風下側の水域では高くなる。
- (2) 風上側の水域で溶存酸素量が低下するのは、沖合の溶存酸素量の低い底層水が漁場内に流入してくるためである。
- (3) 風向による漁場の溶存酸素量への影響は比較的短時間に生じるが、同一風向の風が継続して長く吹き続けた場合には、その影響は次第にみられなくなる。
- (4) 網生簀養殖漁場相互における溶存酸素量の動向は、隣接漁場では比較的高い相関がみられるものの、多くの漁場との関係では、各漁場の位置する地形的条件や、地域によって風の吹き方が微妙に異なることなどにより高い相関がみられない。
- (5) 夏期に多く吹くNE付近の風の場合、ほとんどの養殖漁場が風上側に位置することになるので、この風が吹いた時には漁場の溶存酸素量が低下する恐れがある。
- (6) 手賀漁場において、午前11時から翌日午前10時までの毎正時の積算風速が70m/s以下の時で、風速約3m/s以下の風が継続して長時間吹いている場合には、漁場における溶存酸素量は低下する場合がある。
- (7) ただし、これは手賀漁場についての場合であるので、他の網生簀養殖漁場に適用する際は、酸欠対策の目安として考える必要がある。
- (8) なお、夏期に風速が3m/s以下となる時間は、午後6時から翌朝の6時までの夜間に多い傾向がみられる。

5. 参考文献

- (1) 茨城内水試(1974)：網生簀養殖コイへい死原因調査報告書
- (2) 佐々木道也(1975)：霞ヶ浦北浦における酸素欠乏状態の発生機構に関する一考察 茨城内水試研報No.12
- (3) 佐々木道也(1980)：鯉の酸欠死予測に関する試み 茨城内水試研報No.17
- (4) 佐々木道也(1989)：霞ヶ浦における低酸素水塊発生機構について 赤潮予察調査報告書
- (5) 佐々木道也(1990)：霞ヶ浦における低酸素水塊発生機構について 赤潮予察調査報告書
- (6) 茨城内水試(1984・89・90)：酸欠観測データ
- (7) 水戸地方气象台：気象原簿
- (8) 水戸地方气象台(1991・1992)：気象月報