

茨城県海域における表面クロロフィル a 量の季節変化

武 十 和 良

Seasonal Changes in Chlorophyll-a Concentrations
in the Waters off Ibaraki Prefecture.

Kazuyoshi TAKESHI

キーワード：クロロフィル a、植物プランクトン、基礎生産、鹿島灘

1. 目 的

海洋食物連鎖の起点である一次生産者の植物プランクトン及びその指標となるクロロフィル a 量の分布に関する研究は数多く行われてきたが、茨城県海域のクロロフィル a 量の分布及び変動に関する知見は少ない。横内ほか (1999) は ADEOS OCTS クロロフィル画像を用いたクロロフィル a 量分布と海洋環境の解析、また、足立 (1999) は鹿島灘沿岸域のクロロフィル a 量の季節変動の解析を試みた。しかし、これらの研究は3ヶ月程度の短期間な調査結果であったり、茨城県海域の一部に限られた海域の解析結果であった。

そこで今回は、1996年8月から1998年7月までの沿岸・沖合定線海洋観測、1997年4月から1998年7月までの浅海定線海洋観測のデータを利用し、浅海域から沖合域までの広範囲の海域における表面クロロフィル a 量の季節変化を中期的に把握し、一次生産者である植物プランクトンの分布や現在量に関する研究の基礎資料とすることを目的とした。

2. 方 法

1996年8月から1998年7月までの沿岸・沖合定線海洋観測、1997年4月から1998年7月までの浅海定線海洋観測時に表面海水を採取しクロロフィル a 量を測定した。

また、水温・塩分の測定には、沿岸・沖合定線海洋観測ではCTD (ニールブラウン社マークⅢB、シーバード社SBE911plus)、浅海定線海洋観測ではSTD (アレック電子社AST-1000) を用いた。表面水温は採水した表面海水を棒状水温計により測定した値、又は調査船に備え付けられている表層水温を測定するデジタル水温計 (古野電気社TI-20、村山電機社DT-3110Z) の値を使用した。表面塩分は採水した表面海水をサリノメーター (TEO-KAL社MODEL601MK-Ⅲ) により測定した。1997年5月の浅海定線海洋観測の表面塩分については、STDにより測定した0 mの塩分値を代用した。

浅海定線海洋観測の定点の位置を図1、沿岸・沖合定線海洋観測の位置を図2に示した。また、観測年月日及

び調査船名を表1に示した。

クロロフィル a 量の測定方法については、横内ほか (1997) が作成したマニュアルに基本的には従った。バケツにより採水した表面海水200mlを手動式真空ポンプを用い、ワットマンGF/Fガラス繊維ろ紙に吸引・ろ過し、ろ紙を100%アセトンに浸して冷凍保存した。超音波破砕機により植物細胞を破砕し、90%アセトンで約1日間冷凍・抽出を行い、遠心分離機により分離された上

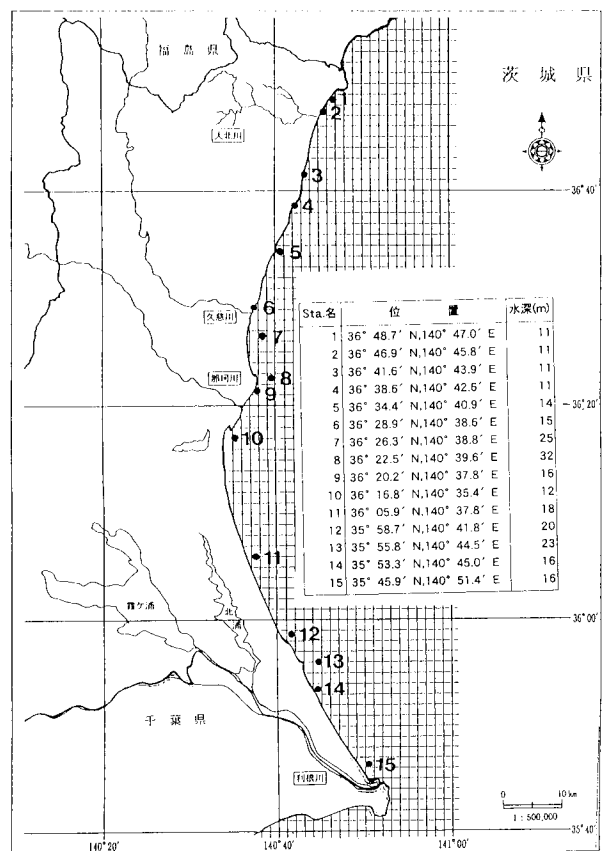


図1 浅海定線海洋観測の定点の位置

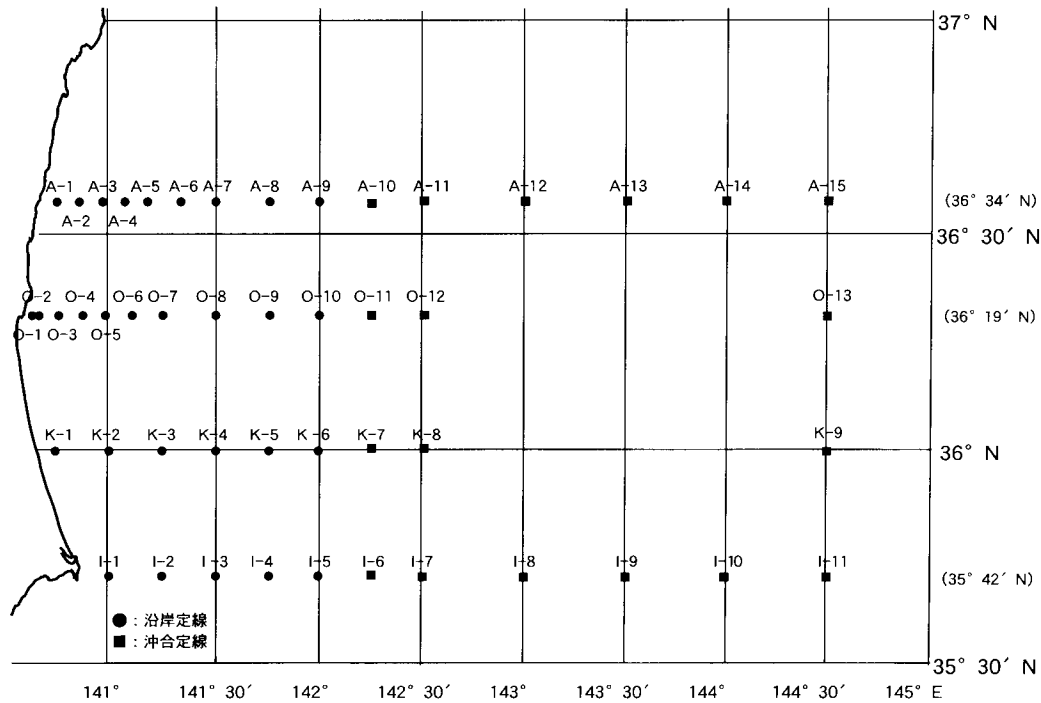


図2 沿岸・沖合定線海洋観測の定点の位置

表1 観測年月日及び調査船名の一覧

観測年・月	浅海定線海洋観測		沿岸・沖合定線海洋観測		
	観測日	調査船名	観測日	調査船名	備考
1997年8月	-	-	5~8日	ときわ	沿岸
9月	-	-	3~6日	ときわ	沿岸
10月	-	-	9/30~5日	ときわ	沿岸
11月	-	-	7~9日	水戸丸	沿岸
12月	-	-	2~3, 9~10日	水戸丸	沿岸
1月	-	-	9~11日	水戸丸	沿岸
2月	-	-	5~7日	水戸丸	沿岸
3月	-	-	3~6日	ときわ	沿岸
1997年4月	25~26日	ときわ	8~12日	水戸丸	沿岸・沖合
5月	27~28日	ときわ	6~7, 12~13日	ときわ	沿岸
6月	30~7/1日	ときわ	2~3, 5~6日	ときわ	沿岸
7月	16~17日	ときわ	6/30~4日	水戸丸	沿岸・沖合
8月	21~22日	あさなぎ	4~7日	ときわ	沿岸
9月	22~23日	ときわ	1~2, 8~9日	ときわ	沿岸
10月	20~21日	ときわ	9/30~3日	ときわ	沿岸
11月	19~20日	ときわ	4~7日	水戸丸	沿岸・沖合
12月	17~18日	ときわ	1~2, 4~5日	ときわ	沿岸
1998年1月	8日	ときわ	7~8, 13~14日	水戸丸	沿岸
2月	23~24日	ときわ	2~6日	水戸丸	沿岸・沖合
3月	26~27日	ときわ	2~5日	ときわ	沿岸
4月	16~17日	ときわ	6~10日	水戸丸	沿岸・沖合
5月	18~19日	ときわ	13~16日	ときわ	沿岸
6月	24~25日	ときわ	1~2, 4~5日	ときわ	沿岸
7月	29~30日	ときわ	6/29~3日	水戸丸	沿岸・沖合

澄み液を蛍光光度計（ターナーデザイン社10-AU）を用い、Holm-Hansen et al. (1965) の蛍光法で測定した。

3. 結果及び考察

(1) 浅海定線における表面クロロフィル a 量の季節変化

図3に1997年4月から1998年7月までの浅海定線における時間-距離（定点間）平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動、同じく図4に表面水温、図5に表面塩分の時間変動を示した。表面クロロフィル a 量は1997年の5~7月に10 $\mu\text{g}/\ell$ 以上の極大値を取り、その後減少し、再び10月に5 $\mu\text{g}/\ell$ 以上の極大値を取り、またその後減少し、1998年の5~7月に極大値を取っていた。5~7月と10月の年2回、極大値を取る季節変化であった。1997年の5~7月と10月の極大値を比べると5~7月の方が濃度は高かった。また、1997年と1998年の5~7月の極大値を比べると、その濃度には大きな差があり、その時の環境条件により大きく濃度が変化することが推察された。

1997年5月に局所的にみられた50 $\mu\text{g}/\ell$ 以上の高濃度は、藤富 (1999)、足立 (1999) により指摘されているように、この時期は広域的に渦鞭毛藻類の *Ceratium furca* による赤潮が発生しており、このため、異常な程の高濃度が測定されたと考えられた。

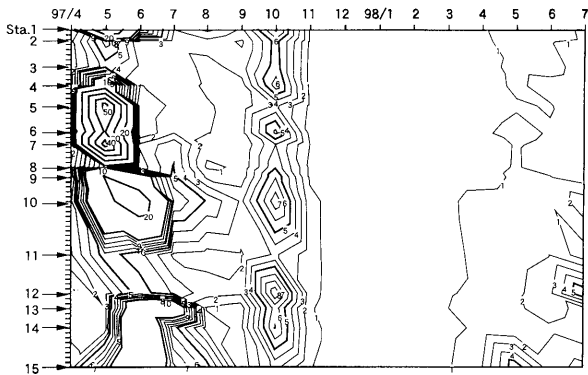


図3 浅海定線における時間-距離(定点間)平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動

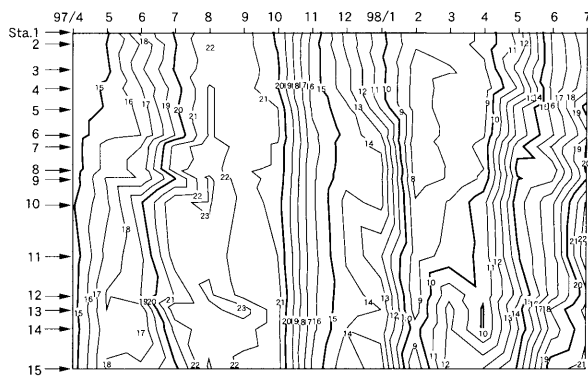


図4 浅海定線における時間-距離(定点間)平面上での表面水温の時間変動

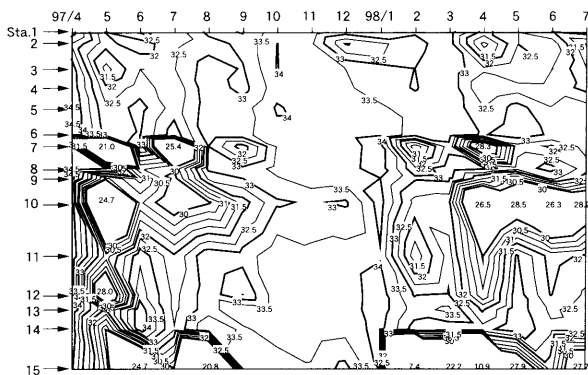


図5 浅海定線における時間-距離(定点間)平面上での表面塩分の時間変動

表面水温と表面クロロフィル a 量の時間変動の関係をみると、4月からの水温の急激な上昇に呼応して、クロロフィル a 量が増加する傾向があった。これは、冬期の鉛直混合により表層に運ばれた栄養塩を利用し、春からの水温の上昇と共に日射の強度や日照時間の増大により光合成活動が盛んになり、植物プランクトンの増殖が起こるといった一般的なメカニズムを示していた。また、10月から水温の急激な下降に対応してクロロフィル a 量が極大値を取っていた。

表面塩分と表面クロロフィル a 量の時間変動の関係をみると、低塩分水が存在する海域でクロロフィル a 量が高い傾向があった。また、低塩分水の存在する海域、Sta. 7では久慈川、Sta. 10では那珂川とその北側の近くに河川が存在し、Sta. 15では利根川とその南側の近くに河川が存在する。友定・久保(1980)、草野(1983)によると茨城県の沿岸域の潮の流れは南流が卓越すると報告されている。また、足立(1999)によると利根川の河川水は北北東に流出した後、犬吠埼を迂回して南に流れるパターンが多いと報告されている。これらのことから、低塩分水の存在する海域、Sta. 7, 10, 15は河川から流出した栄養豊富な河川水を利用し、植物プランクトンの増殖が行われたと考えられた。

(2) 東経141度、141度30分、142度線における表面クロロフィル a 量の季節変化

図6に1996年8月から1998年7月までの東経141度線(Sta. A-3, O-5, K-2, I-1)、図7に東経141度30分線(Sta. A-7, O-8, K-4, I-3)、図8に東経142度線(Sta. A-9, O-10, K-6, I-5)における時間-距離(定点間)平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動、同じく図9~11に表面水温、図12~14に表面塩分の時間変動を示した。表面クロロフィル a 量は各線とも1996年11月、1997年4~7月、11~12月、1998年4~6月に極大値を取っていた。浅海定線と同様に4~7月と11~12月の年2回、極大値を取る

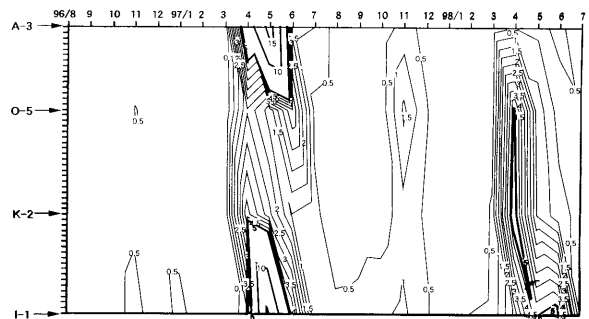


図6 東経141度線における時間-距離(定点間)平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動

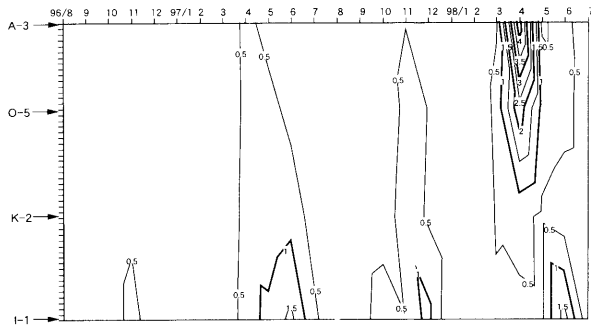


図7 東経141度30分線における時間—距離（定点間）平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動

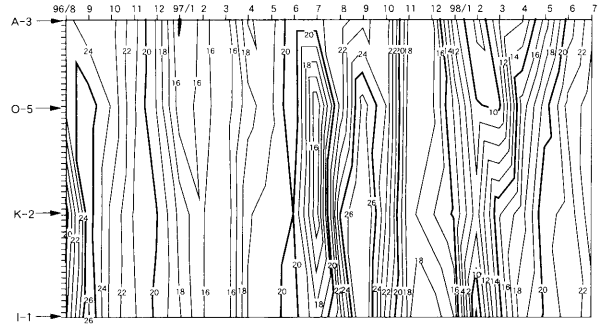


図10 東経141度30分線における時間—距離（定点間）平面上での表面水温の時間変動

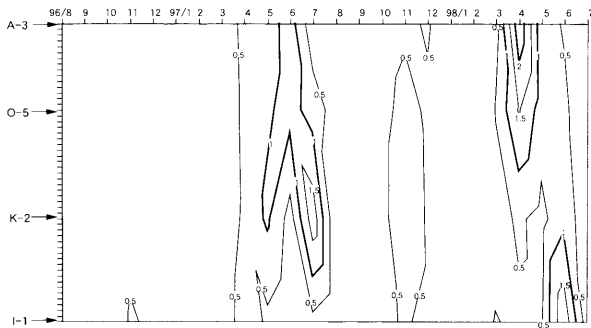


図8 東経142度線における時間—距離（定点間）平面上での表面クロロフィル a 量の時間変動

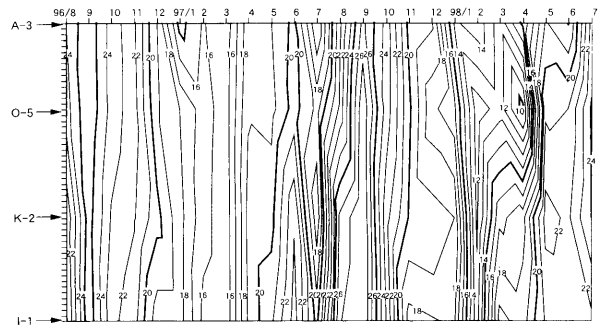


図11 東経142度線における時間—距離（定点間）平面上での表面水温の時間変動

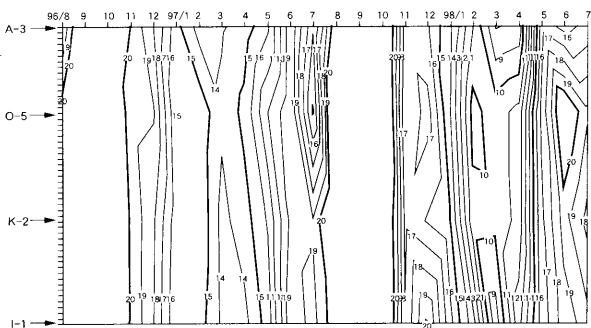


図9 東経141度線における時間—距離（定点間）平面上での表面水温の時間変動

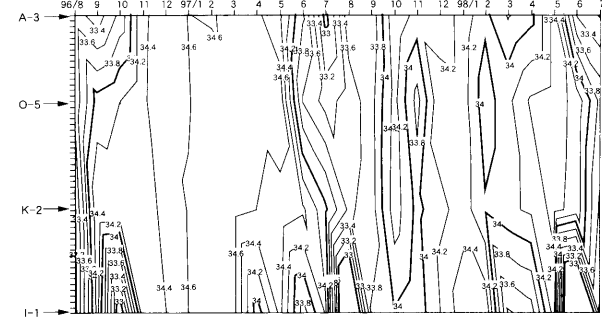


図12 東経141度線における時間—距離（定点間）平面上での表面塩分の時間変動

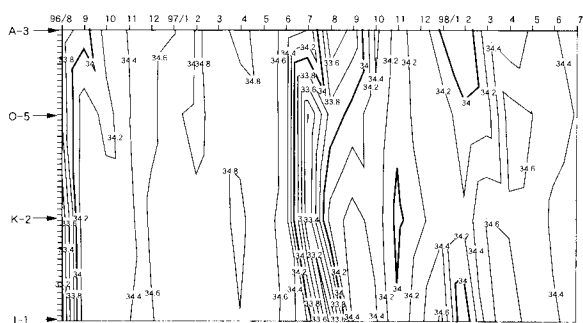


図13 東経141度30分線における時間—距離（定点間）平面上での表面塩分の時間変動

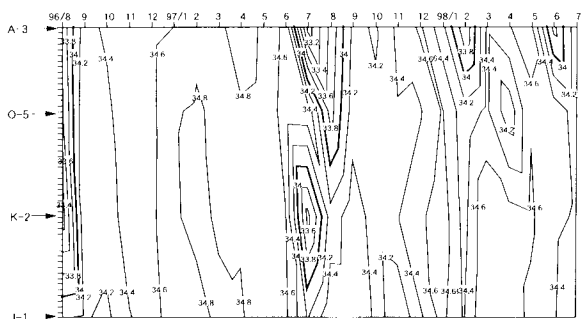


図14 東経142度線における時間—距離（定点間）平面上での表面塩分の時間変動

季節変化であった。また、沖合の線ほど極大値が小さくなる傾向があった。1997年の4～7月と11～12月の極大値を比べると4～7月の方が濃度は高かった。1997年と1998年の4～7月の極大値及び1996年と1997年の11～12月の極大値を比べると、その濃度には差があり、その時の環境条件により大きく濃度が変化することが推察された。また、その傾向は沿岸寄りの線ほど強いようにみえた。4～7月の高濃度の海域は北と南の海域で2極化していた。また、南の海域は北に比べ極大値を取る月が1～2ヶ月遅れていた。

1997年と1998年の4～7月の極大値を比べると、141度線では1997年の方が濃度が高く、141度30分線、142度線では逆に1998年の方が濃度が高かった。このことから、1997年4～7月の高濃度の原因であると推察される *Ceratium furca* による赤潮の影響は沖合141度までであった可能性が考えられた。

表面水温と表面クロロフィル a 量の時間変動の関係をみると、4月からの水温の急激な上昇に呼応して、クロロフィル a 量が増加する傾向があった。また、1ヶ月程度のずれを持つ場合もあるが、10月又は11月から水温の

急激な下降に対応してクロロフィル a 量が極大値を取っていた。この傾向は浅海定線と同様であった。

表面塩分と表面クロロフィル a 量の時間変動の関係をみると、すべてではないが、低塩分水が存在する海域にクロロフィル a 量の濃度が高い場合が多かった。また、141度線の Sta. I-1 については低塩分水の海域とクロロフィル a 量の高濃度の海域がよく合致していた。

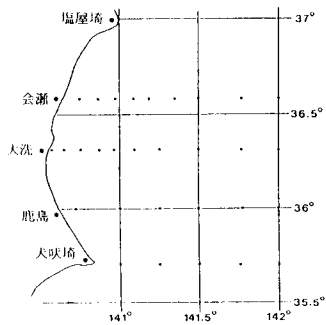
このことは、Sta. I-1 の近くに存在する利根川から流出する栄養豊富な河川水を利用し、植物プランクトンの増殖が行われていたことを示唆していた。

(3) 沿岸・沖合定線における表面クロロフィル a 量の水平分布

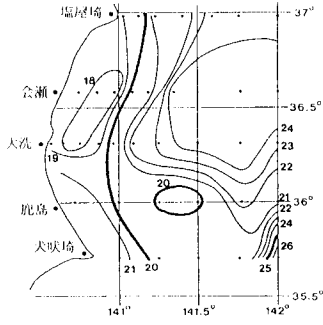
図15に1996年8月から1998年7月までの東経142度又は142度30分までの表面クロロフィル a 量、表面水温、表面塩分水平分布を示した。なお、表面クロロフィル a 量の水平分布図について、濃度が $0.5 (\mu\text{g}/\ell)$ 以下の場合（月）は等値線を表示しなかった。表面クロロフィル a 量は1996年8～10月までは $0.5 (\mu\text{g}/\ell)$ 以下の濃度であったが、1996年11月に $0.5 \sim 1.0 (\mu\text{g}/\ell)$ の濃度が南部の海域に出現した。しかし、その後、海域は縮小し、1997年2月までは沿岸域を中心に小規模な海域で出現していた。3月から沿岸域を中心に濃度は増加し、5月にピークを迎えた。海域によっては $15 (\mu\text{g}/\ell)$ 以上の高濃度が出現した。その後は減少傾向が続いたが、比較的沿岸域は高濃度であった。再び11月に増加したが、12月以降減少傾向が続き、1998年1～2月は $0.5 (\mu\text{g}/\ell)$ 以下の濃度であった。3月から沿岸域を中心に濃度は増加し、4月にピークを迎え、 $5 (\mu\text{g}/\ell)$ の高濃度の海域が出現した。しかし、6月以降、濃度は減少していった。水平分布の変化をみても、海域により若干の違いはあるが、基本的には沿岸域ほど表面クロロフィル a 量の濃度は高く、沖合域ほど低い傾向があった。また、沿岸域、沖合域と海域の隔たりのあるものの、概ね同じタイミングで変動しているようにみえた。

1997年6月の鹿島定線の東経141度45分、1998年5月の大洗定線の東経141度15分に円状にクロロフィル a 量の濃度が高い海域がスポット的にみられた。その海域の水温及び塩分も円状に分布しており、周りの海域に比べ、水温及び塩分とも低かった。図16に1997年6月、図17に1998年5月の海洋観測時に ADCP（古野電気社 CI-60G）により測定した10m深の流向・流速を示した。円状に分布するクロロフィル a 量の高濃度域をほぼ中心に流向・流速は反時計回りの流れであった。また、その東側には黒潮続流が北東又北方向に流れていた。図18～20に1997年6月海洋観測時の鹿島定線の水温、塩分及び密度の鉛直断面、同じく図21～23に1998年5月海洋観測時の大洗定線の鉛直断面を示した。1997年6月の鹿島定線の東経141度45分付近の鉛直断面をみると、塩分では明

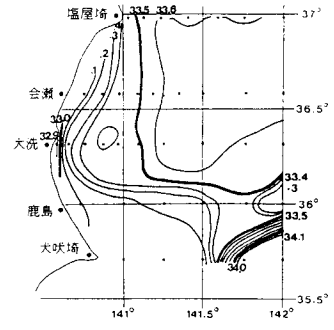
表面クロロフィルa量



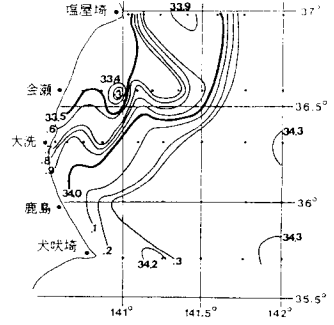
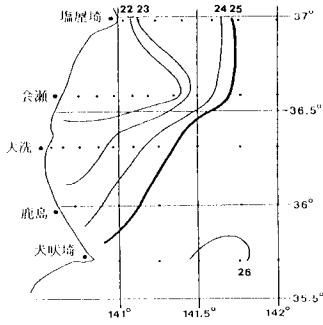
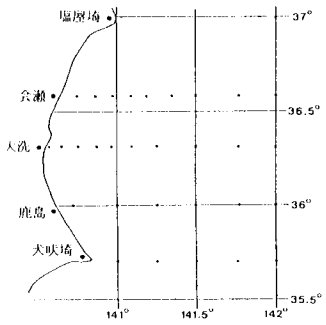
表面水温



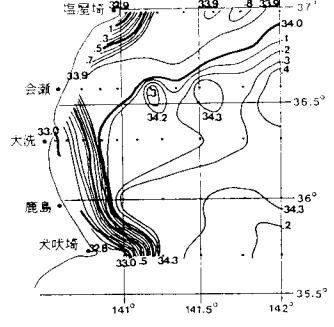
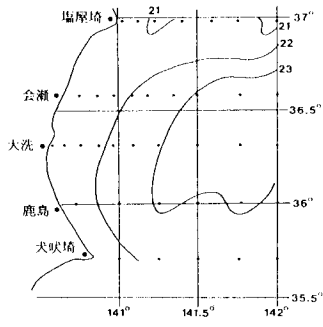
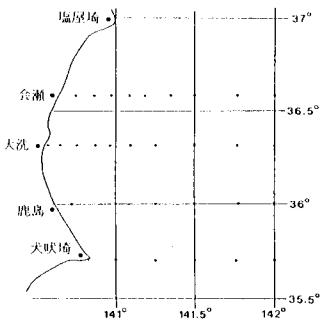
表面塩分



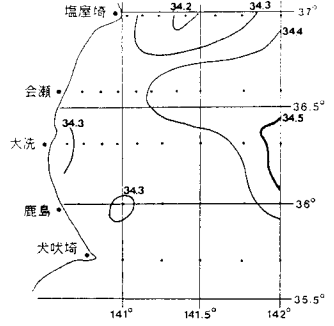
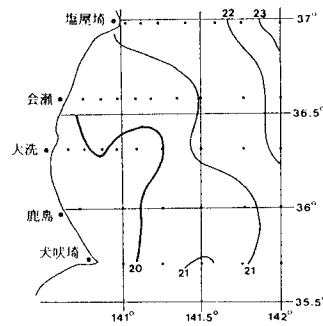
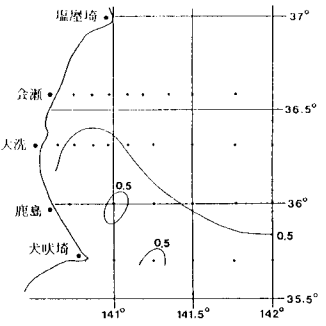
96年 8月 海洋観測



96年 9月 海洋観測



96年 10月 海洋観測



96年 11月 海洋観測

図15a 表面クロロフィルa量、表面水温、表面塩分の水平分布

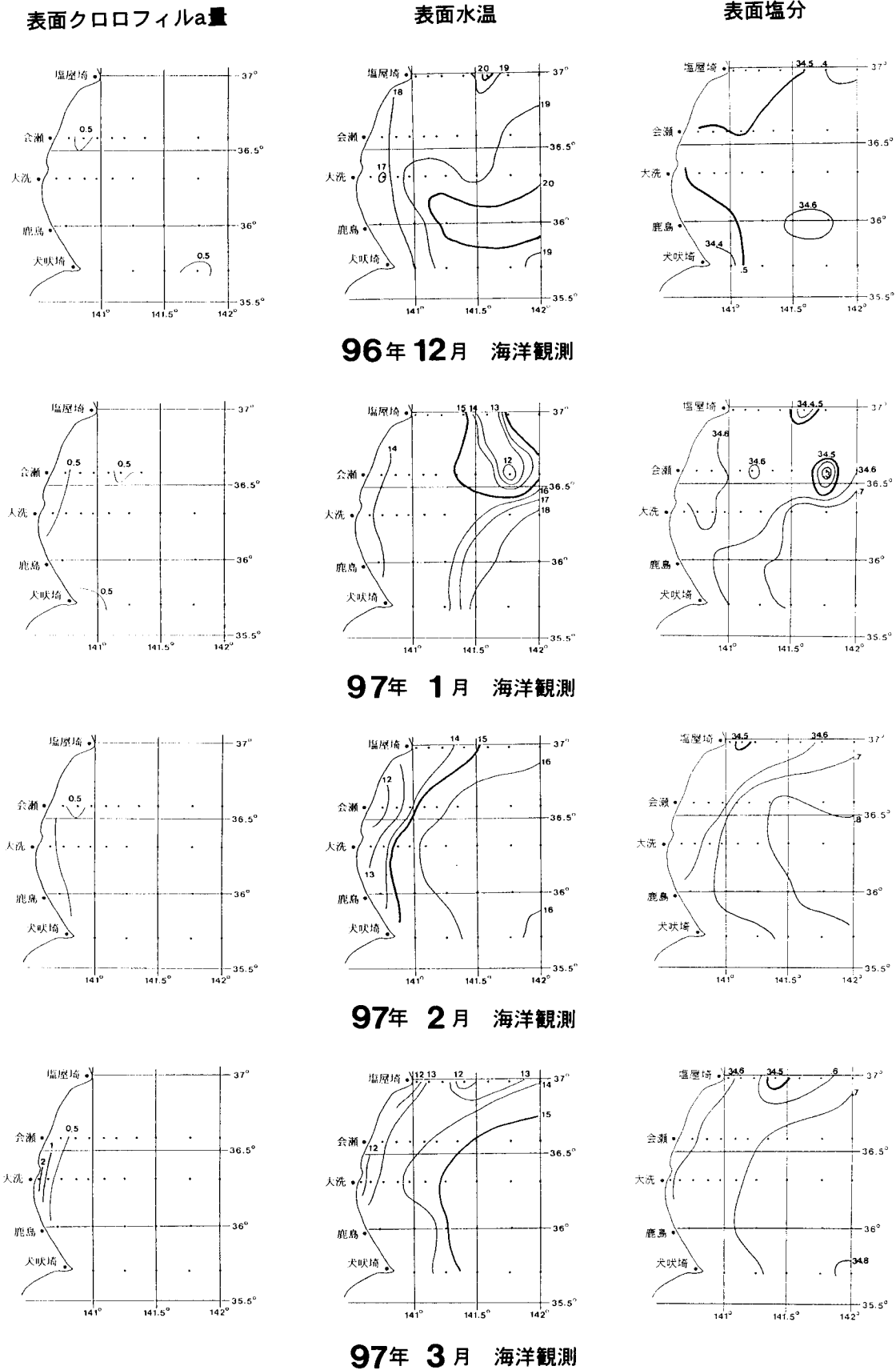


図15b 表面クロロフィル a 量、表面水温、表面塩分の水平分布

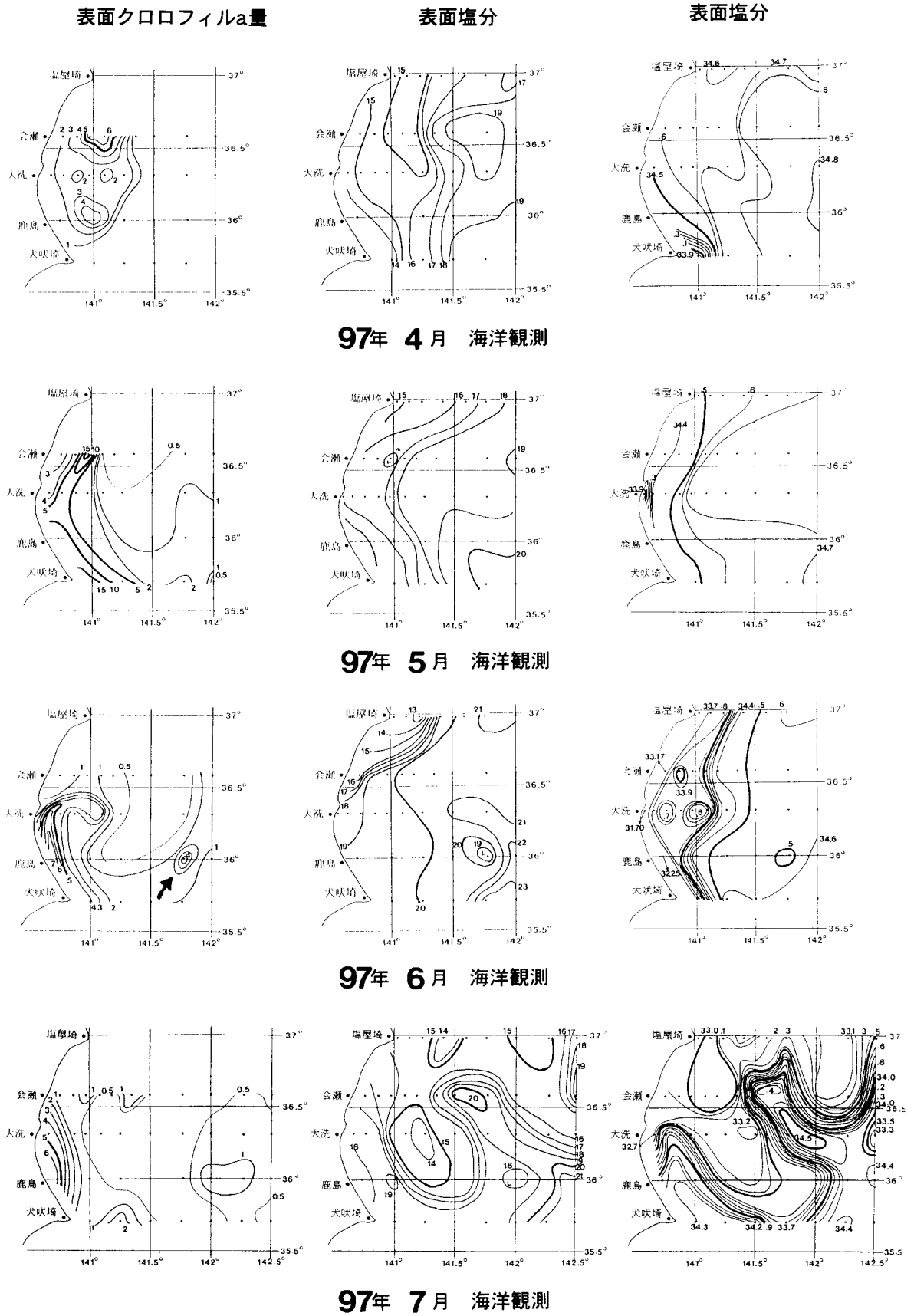


図15c 表面クロロフィルa量、表面水温、表面塩分の水平分布

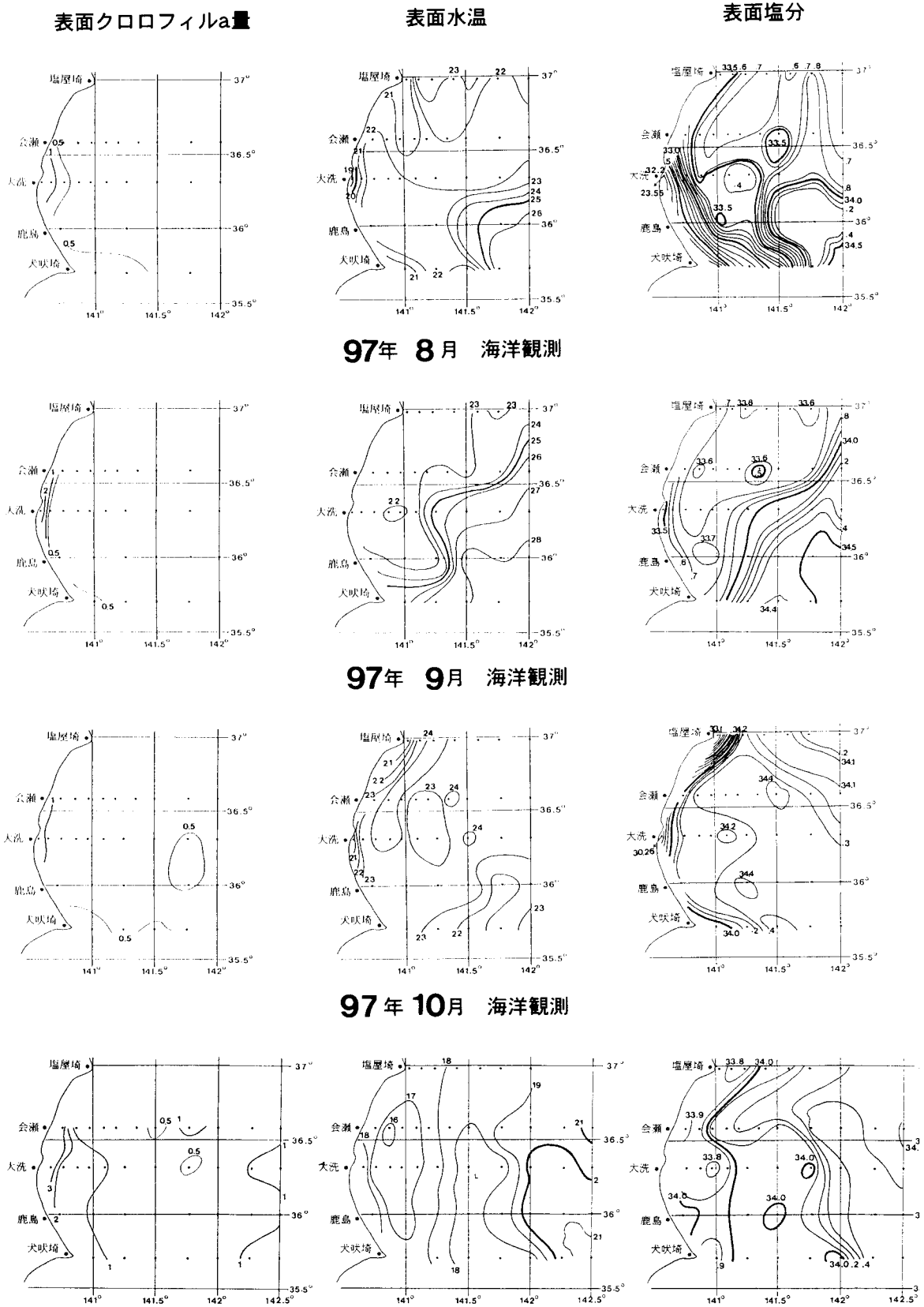
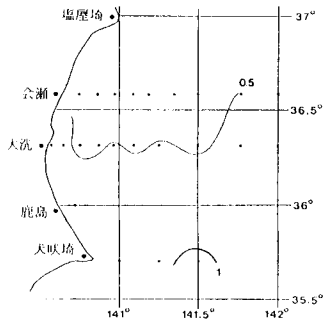
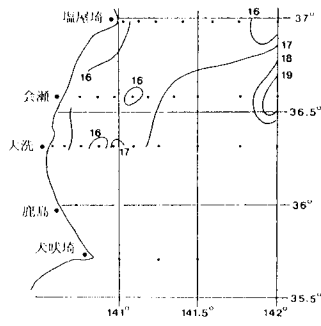


図15d 表面クロロフィルa量、表面水温、表面塩分の水平分布

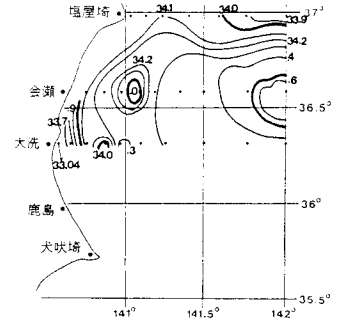
表面クロロフィルa量



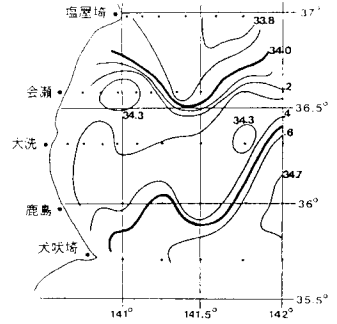
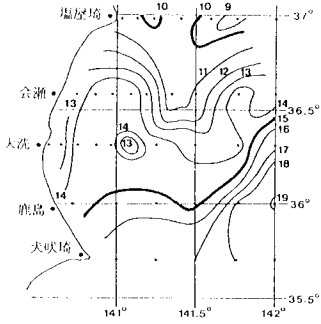
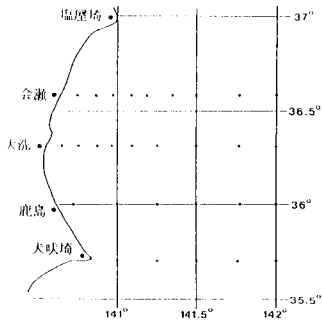
表面水温



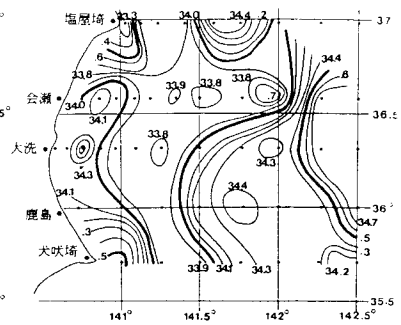
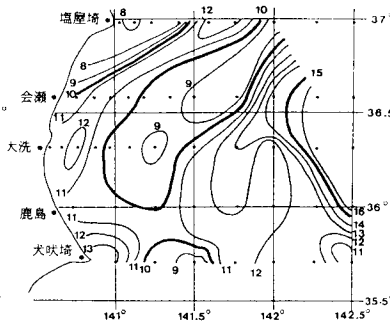
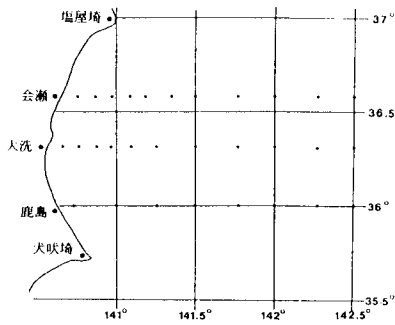
表面塩分



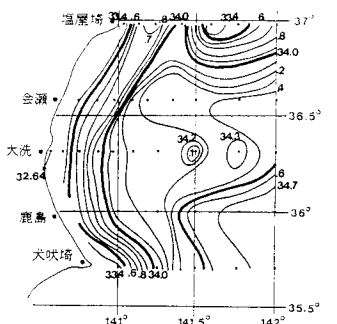
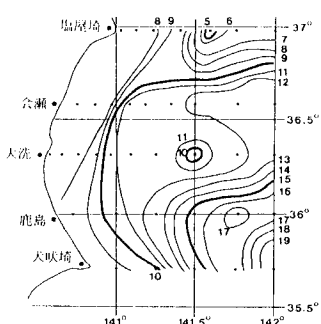
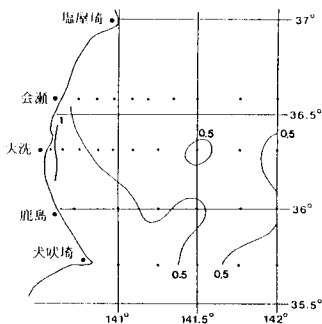
97年 12月 海洋観測



98年 1月 海洋観測



98年 2月 海洋観測



98年 3月 海洋観測

図15e 表面クロロフィルa量、表面水温、表面塩分の水平分布

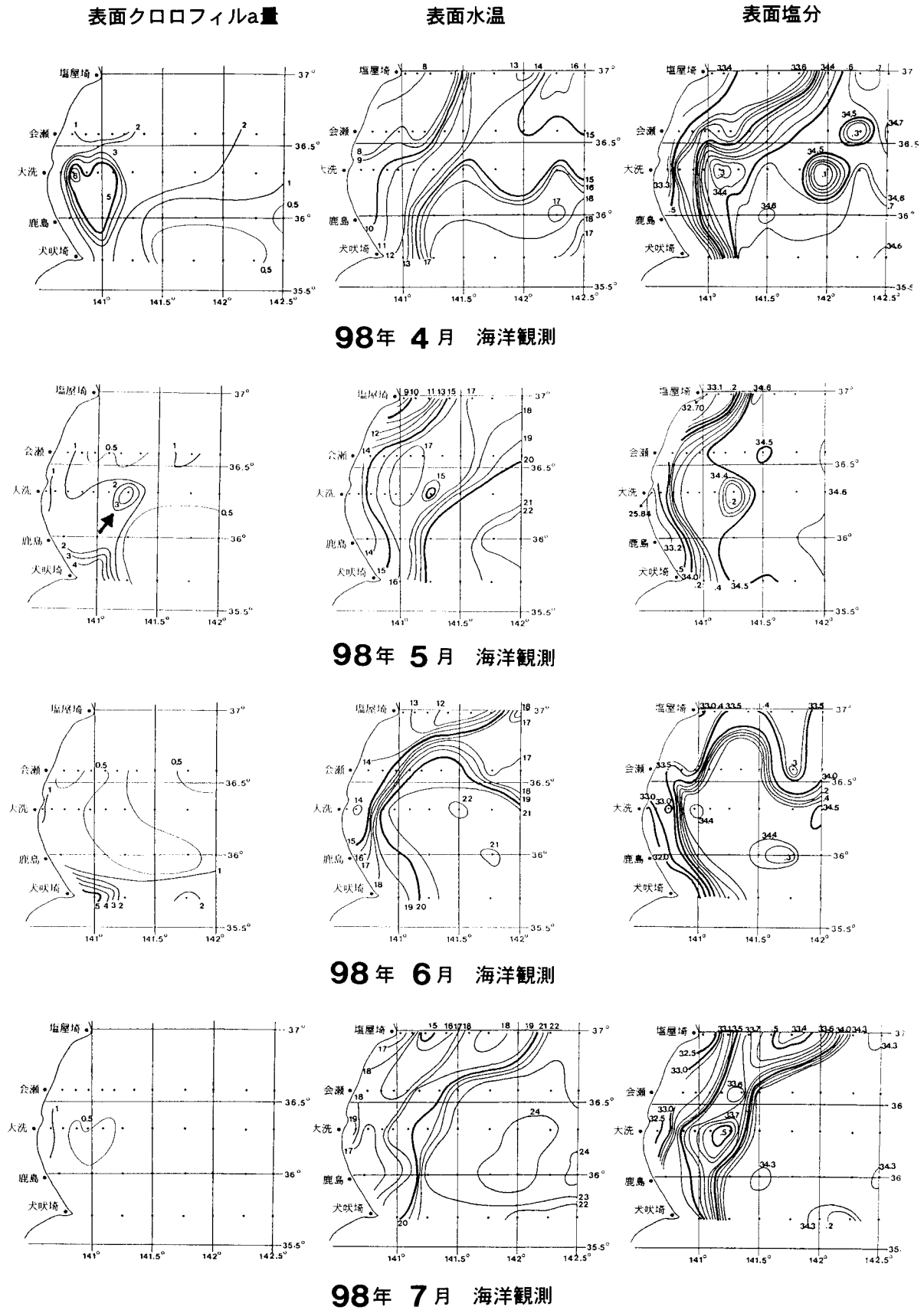


図15 f 表面クロロフィル a 量、表面水温、表面塩分の水平分布

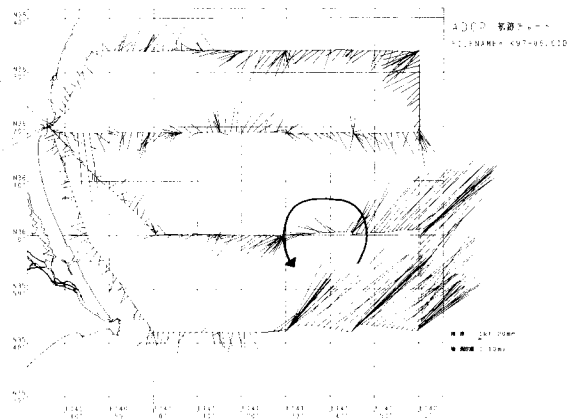


図16 1997年6月10m深流向・流速

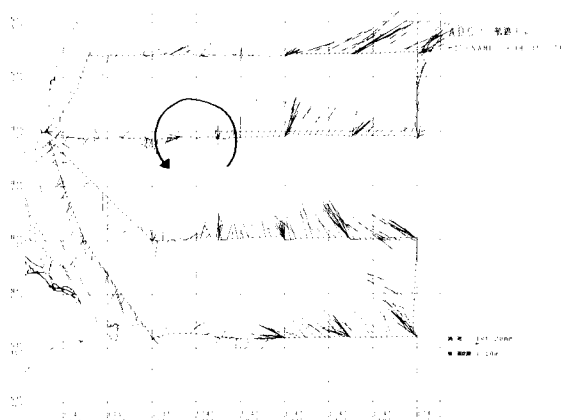


図17 1998年5月10m深流向・流速

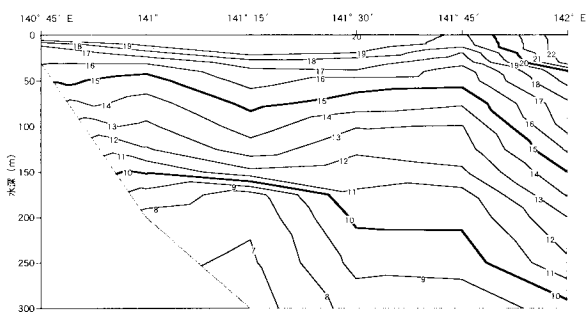


図18 1997年6月鹿島定線水温鉛直断面

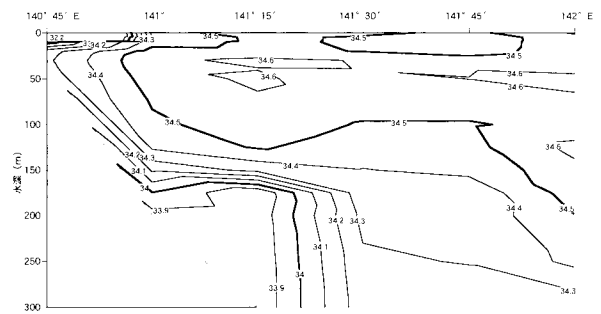


図19 1997年6月鹿島定線塩分鉛直断面

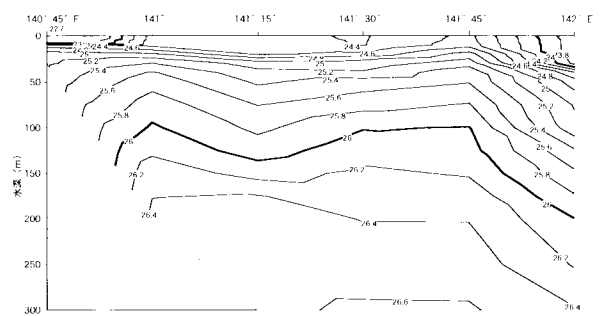


図20 1997年6月鹿島定線密度鉛直断面

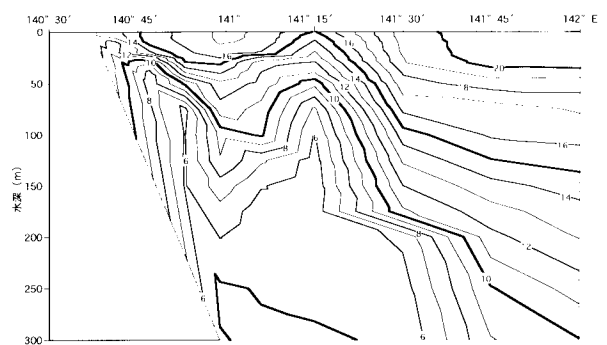


図21 1998年5月大洗定線水温鉛直断面

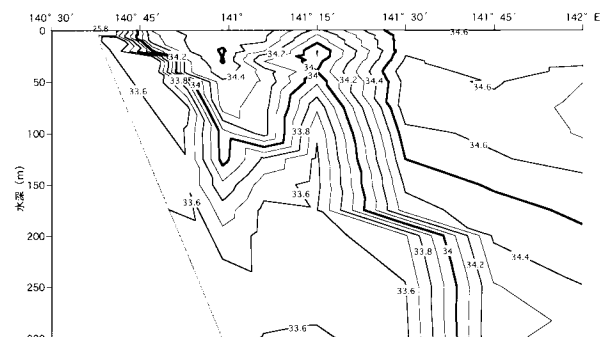


図22 1998年5月大洗定線塩分鉛直断面

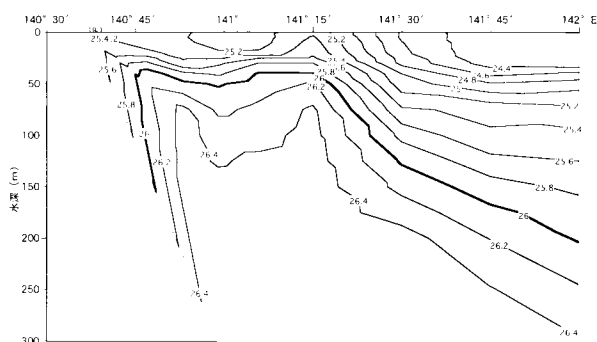


図23 1998年5月大洗定線密度鉛直断面

確ではないが、水温及び密度では東経141度45分を中心に凸型の構造であった。また、1998年5月の大洗定線の東経141度15分では、水温、塩分及び密度とも明確に凸型の構造がみられた。このことから、反時計回りの流れを伴う湧昇が起きていたことが推測され、下層の栄養塩が湧昇により表層に運ばれ、植物プランクトンがスポット的に増殖したと考えられた。また、同じような現象は横内ほか(1999)によっても報告されている。なお、この現象が黒潮統流の縁辺部にみられたことはYamamoto et al. (1988) が黒潮統流の移流による沿岸域の植物プランクトンの輸送と低気圧性渦(反時計回りの流れ)に関連して発生する湧昇による栄養塩の供給であると指摘している。

4. おわりに

今回の報告で茨城県海域の表面クロロフィル a 量の季節変化を把握することができたが、クロロフィル a 量の極大は季節によって鉛直的に変化することが知られている。今後はクロロフィル a 量の鉛直的なデータを収集し、茨城県海域におけるクロロフィル a 量の鉛直的な分布やその季節変化を把握するために研究を進めていきたい。

5. 要約

- (1) 表面クロロフィル a 量は浅海域から沖合域まで概ね同じタイミングで変動していた。
- (2) 表面クロロフィル a 量は4～7月(春～初夏)と10～12月(秋～初冬)の年2回、極大値を取る季節変化であった。
- (3) 表面クロロフィル a 量は4～7月と10～12月では4～7月の方が高濃度であった。
- (4) 表面クロロフィル a 量は浅海域ほど高く、沖合域ほど低い傾向があった。
- (5) 年2回の極大値はその時の環境条件により大きく変化することが推察された。また、その傾向は浅海域ほ

ど強かった。

- (6) 1997年4～7月の浅海域を中心とした表面クロロフィル a 量の高濃度は *Ceratium furca* による赤潮の影響と考えられた。
- (7) 低塩分な河川水の存在する海域と表面クロロフィル a 量の高濃度の海域は合致し、植物プランクトンの増殖に河川水の存在は重要な要素であることが考えられた。
- (8) クロロフィル a 量がスポット的に高濃度な海域がみられた。これは反時計回りの流れを伴う湧昇により栄養塩が表層に供給され、植物プランクトンが増殖したと考えられた。

6. 謝辞

データの取得に関してご協力を頂いた横須賀功船長をはじめとする水戸丸の乗組員の皆様方、豊島征司船長をはじめとするときわの乗組員の皆様方、大川克弘船長をはじめとするあさなぎの乗組員の皆様方、元水戸丸船長の二田耕一氏に深く感謝いたします。

データの整理にご協力に頂いた草階、川西、軍司、川上、大山各臨時職員の皆様方に深くお礼申し上げます。

最後に本研究をまとめる段階で貴重なご助言、資料及び文献を頂いた西海区水産研究所生物環境研究室横内克巳室長に深く感謝いたします。

文 献

- 足立久美子(1999) 鹿島灘沿岸域におけるクロロフィル変動、平成10年度水産庁、宇宙開発事業団共同研究成果報告書「衛星観測システムの海洋生態系研究及び水産業への利用のための基盤技術に関する研究」(印刷中)。
- 藤富正毅(1999) 1997年に発生した *Ceratium furca* による赤潮、茨城水試研報、37、(印刷中)。
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C. J., Holmes, R. W. and Strickland, J. D. H. (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, **30**, 3-15
- 草野和之(1983) 沿岸と沖合、現象の時間スケールをみなおす、水産科学、**26** (2)、21-35
- 友定彰・久保治良(1980) 鹿島灘の海況-IV、-GEK測流一、東海水研研報、**103**、1-15
- Yamamoto, T., Nishizawa, S., and Taniguchi, A. (1988) Formation and retention mechanisms of phytoplankton peak abundance in the Kuroshio front. *J. plankton Res.*, **10**, 1113-1130
- 横内克巳・松尾豊・杉崎宏哉・佐藤真帆・藤原健・和泉祐司(1997) 栄養塩とクロロフィルの調査測定方法、東北沿岸域の生態系とイカナゴ・ヒラメ資源(三陸

～常磐沿岸海域 漁場生産力モデル開発基礎調査
中間報告), 20-24

横内克巳・藤原豪・川村宏・武士和良・松本育夫・高杉
知・佐藤晋一・上田賢一・奥田邦明 (1999) 東北沿
岸域における人工衛星ADEOS/OCTSのクロロ
フィル濃度の検証と海洋環境. 東北水研研報, 61,
(印刷中).