

D-3 アジア大陸隣接海域の生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究

(2) 衛星画像による陸域負荷物質の海洋生態系への影響評価

③ 九州西方～南西諸島周辺海域におけるクロロフィル分布に関する研究

研究代表者 水産庁西海区水産研究所東シナ海海洋環境部生物環境研究室 横内克巳

水産庁西海区水産研究所

東シナ海海洋環境部 生物環境研究室 清本容子 岡村和麿 長田 宏
海洋動態研究室 中川倫寿

平成 8-10 年度合計予算額 10,123 千円

(平成 10 年度予算額 2,014 千円)

[要旨] 陸起源の負荷物質がクロロフィル-a の分布に及ぼす影響の解明に資する目的で、東シナ海において実施された海洋観測の資料を収集・整理し、クロロフィル、水温、塩分、透明度及び栄養塩類のデータベースを作成した。このデータベースは、東シナ海では過去 20 年間の 25 航海 (1973 ~ 1992 年)、九州西方海域では 1993 ~ 1995 年間の冬季と春季の 6 航海、南西諸島沿岸域では 1992 年の秋季航海のデータより構成されている。1997 年夏季 (7 ~ 8 月) 及び 1998 年秋季 (10 月) に東シナ海の大陸棚域及び沖縄舟状海盆においてクロロフィル濃度と関連する海洋観測を実施した。両年とも調査海域は長江起源のプルームと推定される塩分 30 以下の海域とその周辺の陸棚水に区分されたが、全域で亜表層クロロフィル 極大の形成が認められた。表面のクロロフィル濃度は、大半の観測点で低濃度であったのに対し、長江起源の低塩水ではやや高い値を示した。亜表層クロロフィル極大は、長江起源の低塩、低温水とその下層の黄海冷水との間に形成された密度躍層の上部で高かった。周辺の陸棚水でのクロロフィル濃度は、密度躍層内部に亜表層極大が認められ、表層では低かった。高濁度水は海底から密度躍層以深に留まり、海表面までは達していなかった。各測点におけるクロロフィル濃度の鉛直分布を関数に当てはめてパラメータを算出し亜表層極大深度の水平分布を作成することにより、亜表層極大深度が長江起源水から遠ざかるにつれて深くなる傾向を示した。夏季及び秋季の陸棚域においては、陸水起源の低塩水の挙動及び成層構造の地域差がクロロフィルの分布パターンに大きく影響していることが示された。また、観測結果及びデータベースの値を用いた解析によると、低塩水 (塩分 30 以下) の表層におけるクロロフィル濃度は長江河口沖合域に比べて全般に低いレベルであり、大陸起源の陸水から供給された栄養塩の大部分は 124° E 以西の海域で速やかに植物プランクトンに利用されているものと推定された。

[キーワード] 東シナ海、クロロフィル、水塊構造、データベース

1. 序

近年におけるアジア大陸の著しい経済成長による生産活動の活発化と生活様式の変化は、種々の生産活動の過程において生じた様々な物質を海洋へと流入させているものと考えられる。この

ような陸域からの負荷物質のうち、海域の富栄養化に関わる物質は、海域の生産構造を変化させ、ひいては生態系にも影響を及ぼすものと危惧される。クロロフィルの分布と海洋構造の関連性及び経年変動を把握し、陸域負荷物質が生物生産構造に及ぼす影響の実体を明らかにする必要がある。特に夏季は、中国大陸から東シナ海に流入する河川水の量が最大となる季節であり¹⁾、長江河口沖合域においては表層のクロロフィル濃度が最大となること²⁾、表層における基礎生産が極めて高いこと³⁾等が報告されている。負荷物質が大陸棚上のクロロフィルの分布及び現存量にどのような影響を与えているかを水塊構造との関連から検討する必要がある。

2. 研究目的

東シナ海を中心とした海域で実施されてきた調査航海によるクロロフィル分布とそれに関連する観測結果を収集・整理することにより、長期的な変動、海域による分布特性、人工衛星水色画像の検証などの基礎資料となるデータベースを作成する。また、東シナ海におけるクロロフィル、水温、塩分等の分布を観測し、クロロフィルの分布と海洋構造の関連性、陸域負荷物質の影響を把握する。さらに、現場観測の結果と過去の観測データもあわせて解析することにより、大陸からの負荷物質により生物生産が影響を受ける海域の範囲を明らかにする。

3. 研究方法

九州西方海域から東シナ海、南西諸島周辺海域において、これまでに西海区水産研究所が実施した調査航海をデータ収集範囲とした。ただし、南西諸島沿岸域での調査航海は、南西海区水産研究所が実施した航海が唯一と思われるのでこれを採用した。データが記録されていた用紙を収集・整理し、数値を吟味した後データ交換が容易なパソコン用市販表計算ソフトに入力し、所定のフォーマットでテキストファイルに変換後、磁気媒体に記録しデータベースを作成した。

東シナ海におけるクロロフィル分布と海洋環境との関係を明らかにするために、1997年7月28日から8月4日の期間及び1998年9月31日から10月14日の期間、西海区水産研究所所属の調査船「陽光丸」によって、東シナ海の沖縄舟状海盆から大陸棚中央部に至る海域(図1及び図2)で現場観測を実施した。各測点でオクトパス(Octo Parameter Underwater Sensor)に搭載したCTD(フォルマルサイエンティフィック社製、ICTD)及び現場水中蛍光光度計(シーテック社製、FL-3000)を用いて水温、塩分及び蛍光値を測定したほか、塩分及びクロロフィル測定用の表層・各層採水を適宜実施した。採水深度はバケツによる海表面の他、センサー降下時に得られる蛍光値の鉛直分布の特徴から、表層混合層中央、クロロフィル亜表層極大深度、中程度濁度深度及び海底近くの高濁度層中央に設定した。クロロフィルは90%アセトンで抽出後、ターナーデザイン蛍光光度計を用いて測定した。1997年には現場蛍光値と採水法で得られたクロロフィル濃度との間には良い相関が認められたため($y=2.05+1.17\log x$, $R=0.949$)、これをもとに蛍光値をクロロフィル量に換算した。1998年には水域によって異なる2本の回帰直線(図3)を用いて現場蛍光値を補正してクロロフィル量とした。

4. 研究結果と考察

(1) クロロフィル濃度のデータベース構築

入力した資料には、水温と塩分、透明度、クロロフィル、栄養塩類が含まれている。表1に資

料の内訳を示す。西海区水産研究所海洋部門による調査資料は、東シナ海全域と黄海における1973～1992年の間の25航海分のデータからなり、もっとも充実している(図4)。クロロフィルの観測は標準層を基本として実施されており、鉛直分布の把握が可能である。クロロフィル値は、採水試料から抽出した色素を蛍光光度計で測定する抽出蛍光法より得られたものが大部分であるが、現場型計測器で測定した海中の蛍光強度を抽出蛍光法で補正した値も一部含まれている。この資料のうち九州西岸から揚子江の河口域に至る $31^{\circ} 30'$ ラインでは、1977～1991年の15年間に18航海が実施されており、春季がもっとも多く9回、ついで夏季の観測が5回、冬季と秋季がそれぞれ3回と1回である。

西海区水産研究所資源部門による調査資料は1993～1995年の3ヶ年に九州西方海域における6航海で得られた。調査は冬季と春季に実施されており、春季のブルーミングの把握にとって有用である。観測項目にはクロロフィルの他に栄養塩類が含まれているが、採水層はクロロフィル、栄養塩類とも100m深までの4層に限定されている。

南西海区水産研究所海洋部門による調査資料はトカラ列島と奄美大島、沖縄島の距岸20マイル程度の沿岸域で得られている。これらの海域における栄養塩類とクロロフィルの観測は、この資料以外にはほとんど実施されていないようである。栄養塩類とクロロフィルについては、標準層を基準にしたデータが得られている。

このように、今回データベース化した資料は、東シナ海とその周辺海域におけるクロロフィルの経年変動と分布特性の把握、人工衛星の水色画像の解析等にとって極めて有用な資料であると考えられる。

(2) クロロフィルの鉛直分布と海洋構造(1997年の観測結果から)

観測海域の全域で亜表層にクロロフィル濃度の極大が認められ、極大層におけるクロロフィル濃度は、 $0.5 \sim 5.6 \mu\text{g/l}$ と観測点により変動が大きく、西高東低、北高南低の傾向が認められた。極大層の深度は15～80mと海域による変動が大きく、観測海域の北部で浅く、南部で深くなっていた。一例として、測点A12、F12及びF9におけるクロロフィル濃度、水温、塩分及び密度の鉛直分布を図5に示した。クロロフィル極大層は、低塩水のブルームが見られた北西部の測点では躍層中に、これ以外の陸棚上の測点では躍層下に形成されており、陸棚域における鉛直分布パターンと成層構造との関連が示唆された。一方陸棚縁辺部から沖縄舟状海盆にかけての海域では、躍層は明瞭ではなかったものの、水深50～60m層にクロロフィルの濃度極大が認められた。夏季の東シナ海表層水中では、陸棚奥部を除いて栄養塩がほぼ枯渇すること、一方で底層には高濃度の栄養塩が存在することが報告されており⁴⁾、本観測海域においては、主に躍層下からの栄養塩の供給により植物プランクトンの鉛直分布が規定されていたものと推定される。

(3) クロロフィル亜表層極大と長江起源水(1998年の結果から)

1998年の観測海域には長江の影響を受けている水域があり、海表面において低温、低塩、低密度となっていた(図6)。その以外の陸棚水域では海洋環境の地理的変動が小さかった。海表面のクロロフィル濃度は長江起源水で高く、その以外の陸棚水域では低かった(図7)。この観測結果はSeaWiFSの水色画像で示されている長江河口域から伸びるクロロフィル高濃度水域に対応すると考えられる。

測線 11 における水温、塩分、密度、透過度及びクロロフィル濃度の鉛直構造を図 8 に示した。図の横軸は測点 P11 を起点とする距離で表わしている。低温、低塩、低密度の長江起源水は測点 a11 付近の表層から厚さ 30m 程度の構造を持っていた。そのすぐ下層には長江起源水に比べてさらに低温で、若干高塩分の黄海冷水と考えられる水塊があり、長江起源水と黄海冷水の間には水温、塩分及び密度の躍層が形成された。躍層は測点 T3 から a11 までの測点では水深 40-50m 付近にあり、南の測点での水深 60m まで次第に深くなる傾向があった。透過度は測点 T3 及び T4 では水柱全体で高いが長江起源水よりも南では密度躍層とその上層で高かった。このことから懸濁物が躍層より下層に留まり表層に達していなかったことがわかる。クロロフィル濃度は長江起源水と黄海冷水の間に形成された躍層において最も高く、その高濃度分布は表層に及んだ。クロロフィル垂表層極大深度は、測点 a11 で水深 20m 付近にあり密度躍層の上部に位置したが、測点 P11 では密度躍層の内部に位置する水深 60m にあり、南下するにつれて深くなった。

クロロフィル鉛直分布の特徴を見るために水深 1 m 間隔で観測された現場蛍光値を用いた。調査海域を長江起源水とそれ以外の陸棚水域に区分して補正式を求め、現場蛍光値をクロロフィル濃度に変換した。補正後のクロロフィル濃度は表層で過小評価、逆に海底付近の高濁度水では過大評価になっている測点があったが、概ね鉛直分布の特徴を表していた。クロロフィル濃度の鉛直分布から最適な鉛直分布関数⁵⁾を算出した。この鉛直分布関数は指数関数とガウス関数の合成関数であり、クロロフィルの鉛直分布が一つの極大を持つと仮定している。測点 T4 及び T3 における表層混合層での均一分布や他の測点における細かな変動はあるものの、観測海域全体の鉛直分布特性として一つの垂表層極大で特徴付けられることがわかった (図 9)。鉛直分布関数のパラメータから垂表層極大深度の水平分布をみると (図 10)、垂表層極大深度は長江起源水で 20m 程度にあり、南東方向に次第に深くなり、最も南の測点では 90m に達していた。このように鉛直分布のパラメータ化が東シナ海におけるクロロフィル分布の海域特性を把握する上で有用であることが示された。

(4) クロロフィル濃度と大陸起源水による負荷の影響

1997 年の観測結果から表層におけるクロロフィル濃度の水平分布をみると、大半の観測点で $0.1 \sim 0.4 \mu\text{g/l}$ と垂表層に比べて低濃度であったのに対し、表層において塩分 30 以下の低塩水の影響が見られた海域では $1.5 \mu\text{g/l}$ 以上と若干ながら高い値を示しており (図 1)、河川水由来の栄養塩の負荷の影響が、河口から 400km 以上離れた調査海域まで、弱いながらも及んでいることが示唆される。長田ら⁶⁾は、九州西部域においても表層のクロロフィル濃度と塩分との間に有意な負の相関関係が認められると報告していることから、大陸からの負荷物質により植物プランクトン現存量が影響を受ける海域の範囲を明らかにするため、表層におけるクロロフィル濃度と塩分との関係を図 11 に示した。長江沖合域のデータを補完するため、本研究で作成したデータベース及び過去の報告例^{3),7),8)}から夏季の河口沖合域 ($31 \sim 32^\circ \text{N}$, 126°E 以西) の観測値を引用して図中に併せて示した。Ning et al.⁸⁾によれば、夏季の長江河口域 (124°E 以西) におけるクロロフィルは表層に濃度極大を持つような鉛直分布パターンを示し、塩分 25 ~ 30 の海域でその濃度が最大の $6 \sim 7 \mu\text{g/l}$ となることが報告されている。これらを今回の観測結果と比較すると、塩分が 28 ~ 30 と低く陸水の影響があると推定される測点においても、クロロフィルは最大で $1.7 \mu\text{g/l}$ と低レベルであった。また、 $124 \sim 126^\circ \text{E}$ の範囲における過去の観測結果 (5

か年、全 19 点) を見ても、塩分が 21.0 ~ 32.0 と広範囲に渡るのに対して、クロロフィルは 0.1 ~ 2.3 $\mu\text{g/l}$ と河口域の観測値に比べて低い値であり、大陸起源の陸水から供給された栄養塩の大部分は、夏季には 123 ~ 124° E 付近の河口域⁸⁾で速やかに植物プランクトンに利用されているものと推定される。一方 Hama et al.³⁾は、長江河口から約 100km 沖合地点の表層 (塩分 31.6) における 8 月のクロロフィルの観測値として、14 $\mu\text{g/l}$ という非常に高い値を報告しており、河川からの流出量の経年変動等の影響も今後検討していく必要があると考えられる。

5. 引用文献

- 1) Beardsley, R. C., R. Limeburner, H. Yu and G. A. Cannon (1985) Discharge of the Changjiang (Yangtse River) into the East China Sea. *Continental Shelf Res.*, 4, 57-76.
- 2) Chai Xinyu (1986) The distribution of the Chlorophyll-a and the estimation of the primary production. *J. Shangong College Oceanology*, 16(2), 1-26. (in Chinese)
- 3) Hama, T., K. H. Shin and N. Handa (1997) Spatial variability in the Primary productivity in the East China Sea and its adjacent Waters. *J. Oceanogr.*, 53, 41-51.
- 4) 横内克巳・友定彰・松尾豊・稲掛伝三(1996) 東北海域におけるクロロフィル a の鉛直分布の季節変化. *東北水研研報*, 58, 11-26.
- 5) 渡辺康憲 (1994) 3 断面から見た東シナ海の海洋構造と栄養塩. *月刊海洋*, 26(2), 125-130.
- 6) 長田宏・平井光行・山田東也・渡邊達郎・市橋正子・平川和正 (1997) 対馬暖流域におけるクロロフィル、植物プランクトン分布の変動に関する研究. *地球環境研究総合推進費平成 8 年度成果報告集(分冊 V)*, 64-68.
- 7) 小笹悦二 (1979) 東シナ海におけるクロロフィルの分布-I. *Variosens* で測定した 1978 年 7 月の鉛直分布特性. *日本プランクトン学会報*, 26(2), 87-95.
- 8) Ning, X., V. Daniel, Zh. Liu and Z. Liu (1988) Standing stock and production of phytoplankton in the estuary of the Changjiang (Yangtse River) and adjacent East China Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 49, 141-150.

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究発表の状況

(口頭発表)

- 長田 宏・清本容子・岡村和麿(1997) : 水色画像からみた対馬海峡におけるクロロフィル分布の特徴. 1997 年度水産海洋学会
- 長田 宏・清本容子・岡村和麿(1997) : 水色画像からみた九州西・北部海域の春季ブルーム. 1997 年度日本海洋学会秋季大会
- 長田 宏(1997) : 水色画像からみた対馬海峡におけるクロロフィルの分布と漁場との関係. 1997 年度海洋気象学会・日海洋学会西南支部合同シンポジウム
- Hiroshi Nagata (1998) : Database on chlorophyll distribution in the East China Sea. Meeting Towards a Cooperative Marine Environmental Monitoring in the Asian Marginal Sea

Hiroshi Nagata and Yoko Kiyomoto (1998): Distribution of Chlorophyll derived from ADEOS/OCTS and relation to the fishing grounds in the Tsushima Straits, Southwestern Japan Sea. Third ADEOS workshop

表 1 収集・整理した資料

調査機関	調査海域	資料収集期間	データの内容
西海区水産研究所 海洋部門	九州西方海域～ 東シナ海陸棚上	1973～1992年	水温、塩分、透明度 クロロフィル
西海区水産研究所 資源部門	九州西方海域	1993年3、4月 1994年3、4月 1995年2～3、4月	水温、塩分、透明度 クロロフィル 栄養塩類
南西海区水産研究所 海洋部門	南西諸島沿岸域	1992年11月	水温、塩分、透明度 クロロフィル 栄養塩類

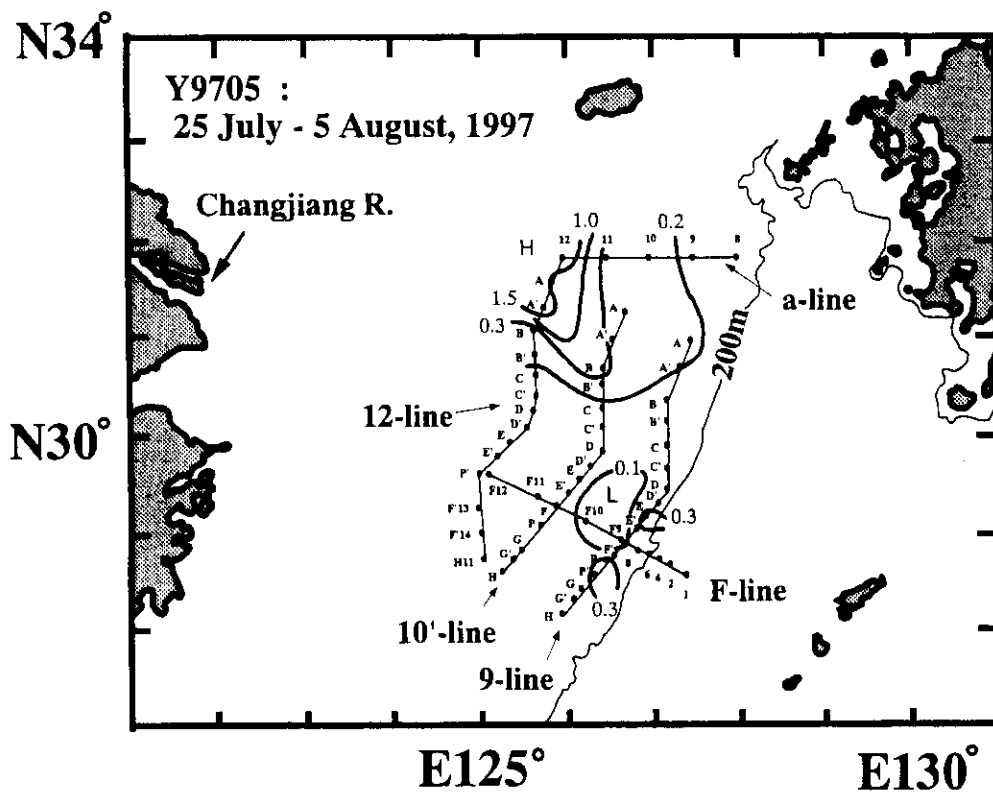


図1 1997年夏季の観測点位置。表面のクロロフィル濃度を併せて示す

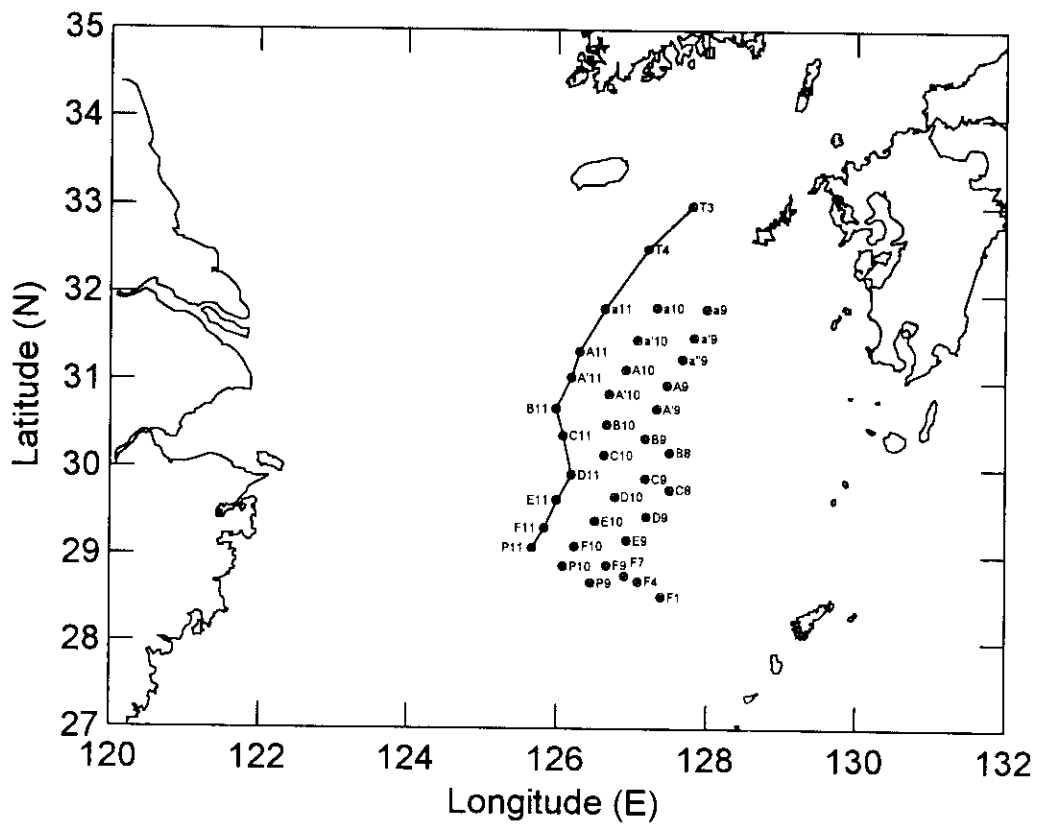


図2 1998年秋季の観測点位置。線で結んだ測線における鉛直断面分布図を作成した

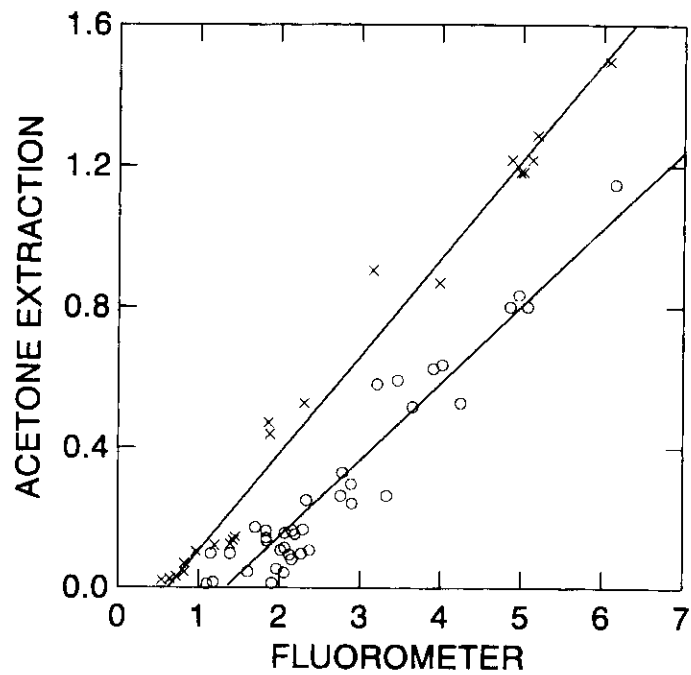


図3 現場蛍光値と蛍光法クロロフィル測定値との関係（1998年）。×は長江起源の低塩水、○はその他の陸棚水

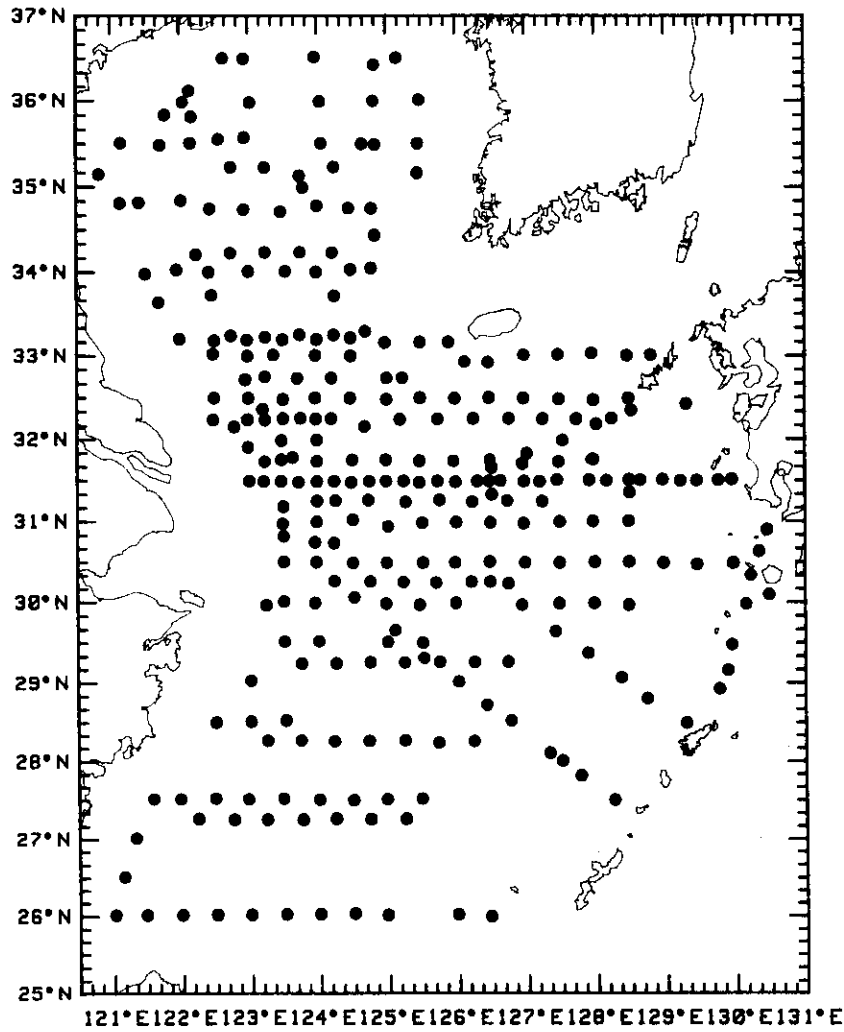


図4 データベースに取り込まれた西海区水産研究所海洋部門の調査位置

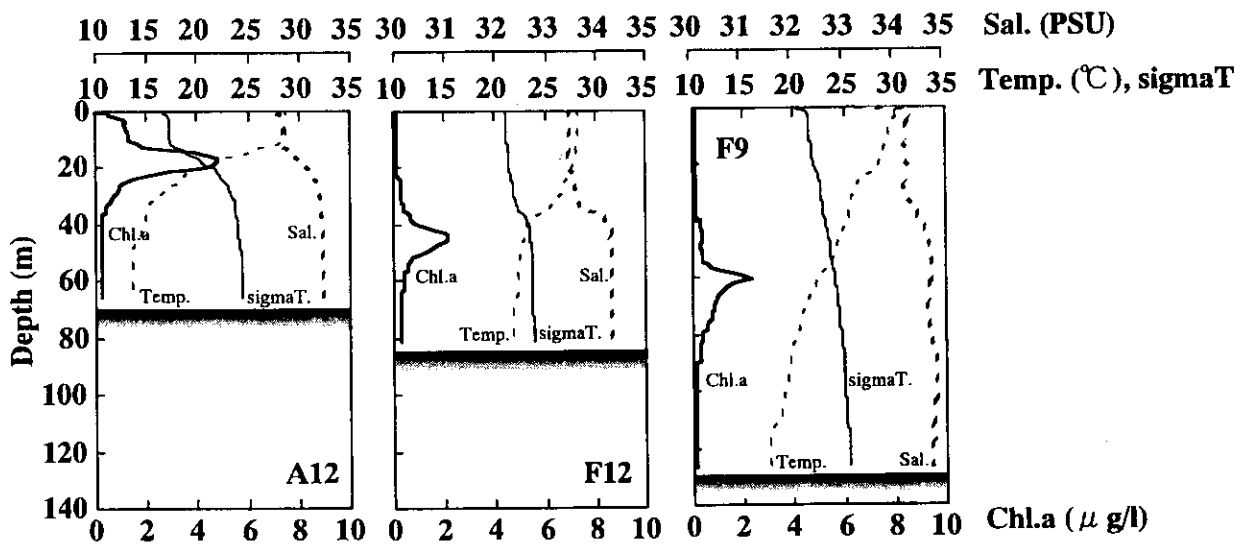


図5 測点A12、F12及びF9におけるクロロフィル濃度、水温、塩分及び密度の鉛直プロファイル (1997年)

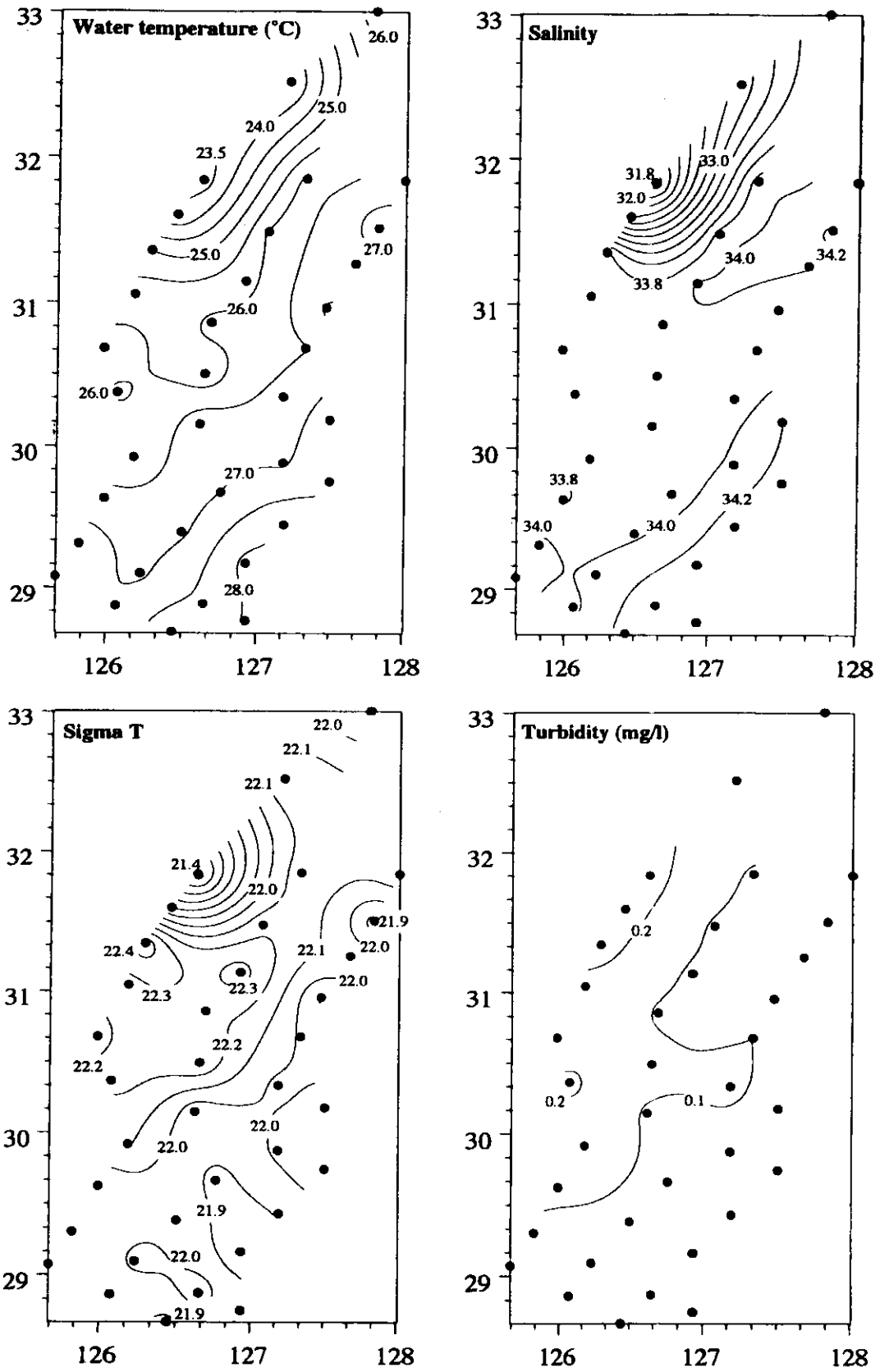


図6 表面における水温、塩分、密度及び濁度の水平分布 (1998年)

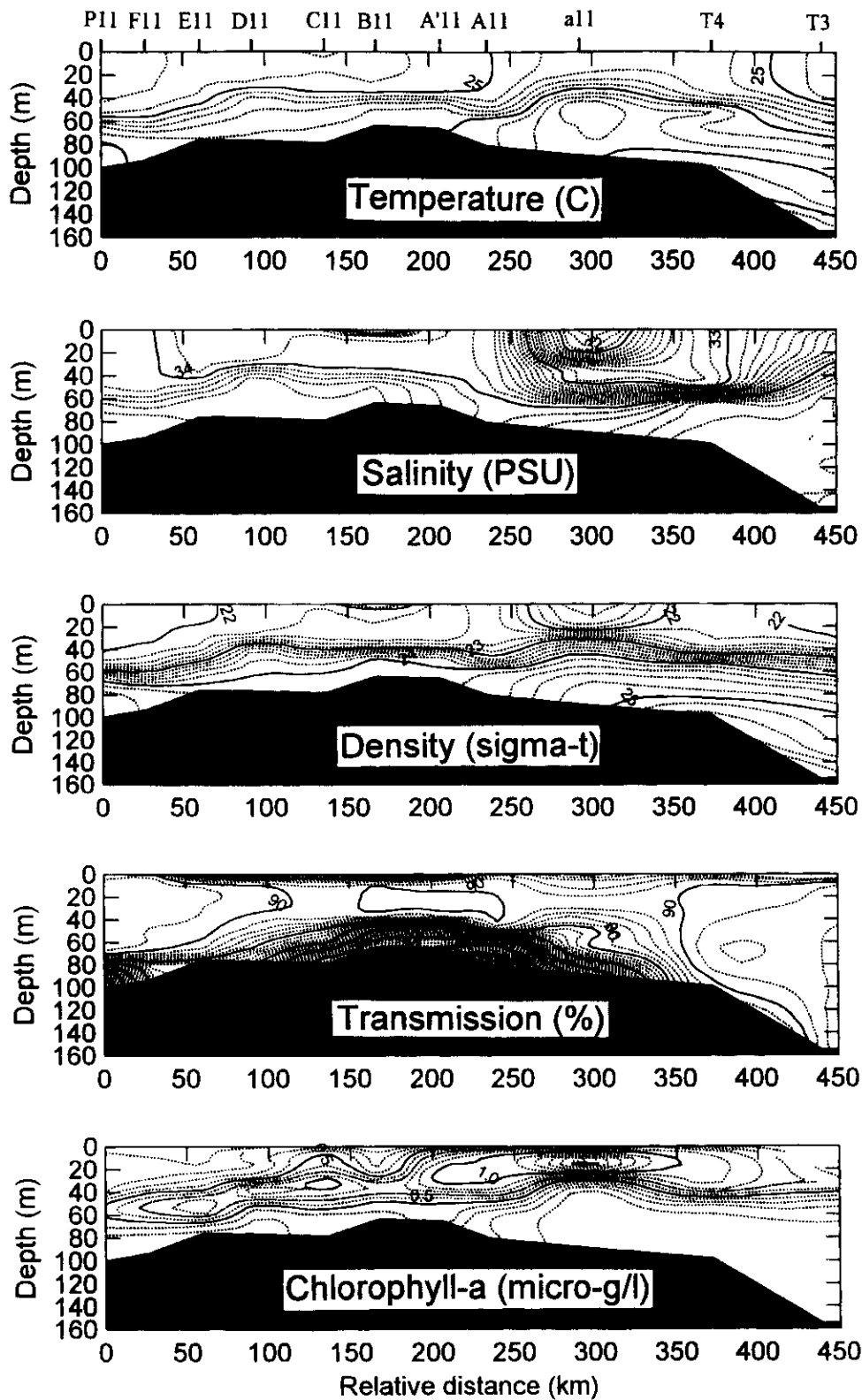


図8 側線11における水温、塩分、密度、透過度及びクロロフィル濃度の鉛直断面図（1998年）。横軸は測点P11を起点とした距離である。図の上端には測点の位置を示した

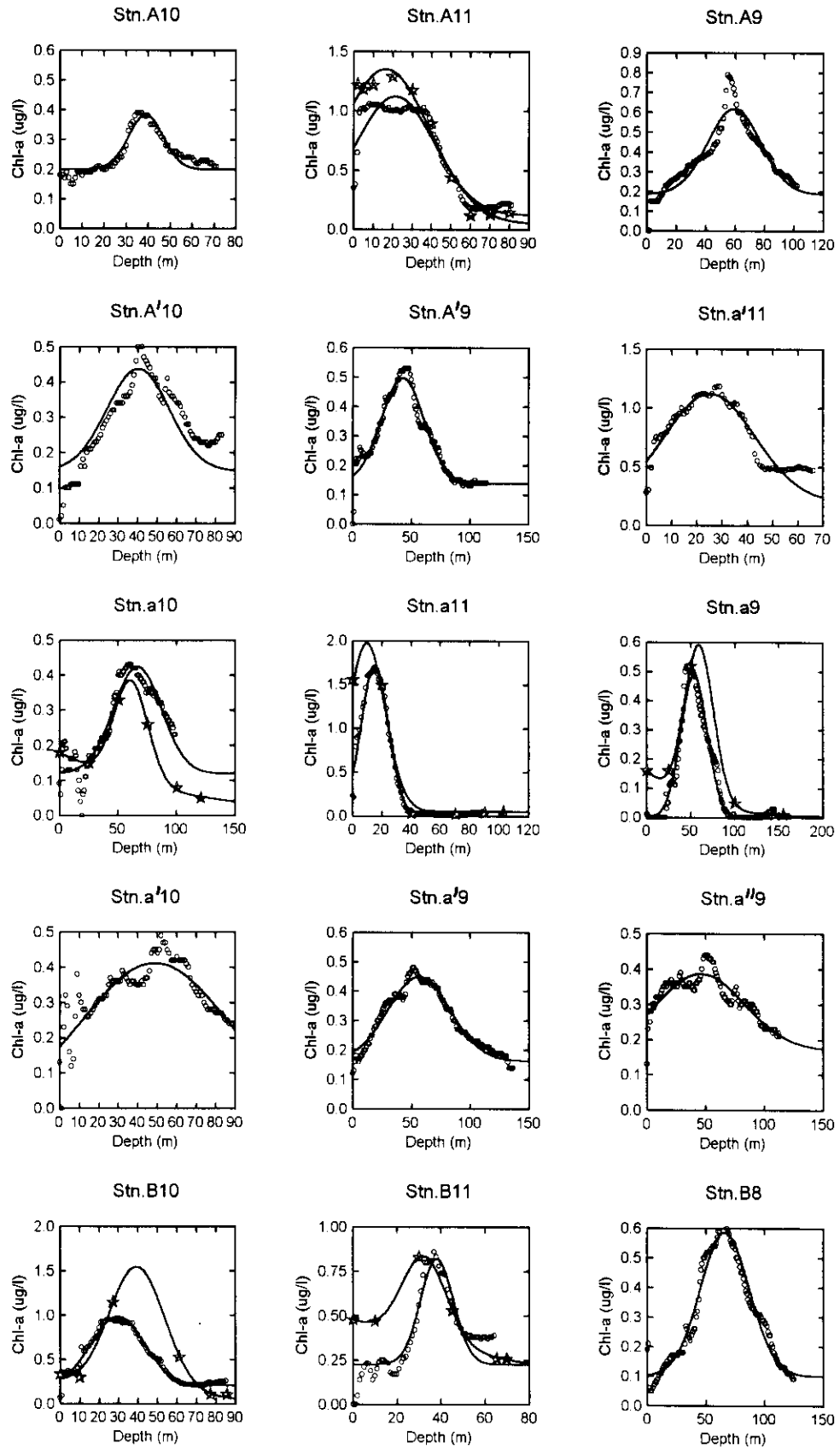


図9 各観測点におけるクロロフィルの鉛直分布と最適曲線（1988年）。○は蛍光法測定値で現場蛍光値を補正して求めたクロロフィル濃度、☆は蛍光法測定値

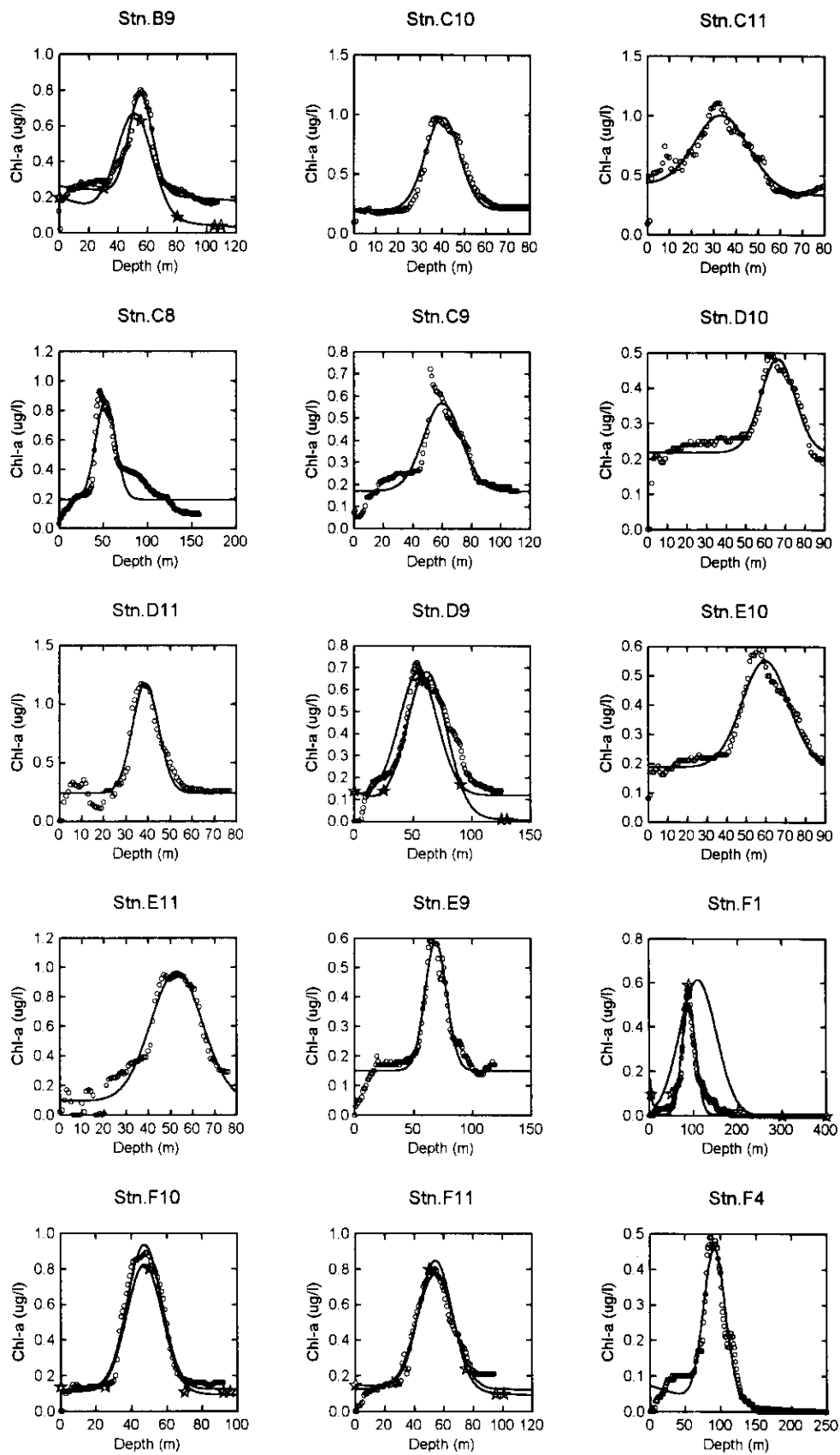


図9 (続き)

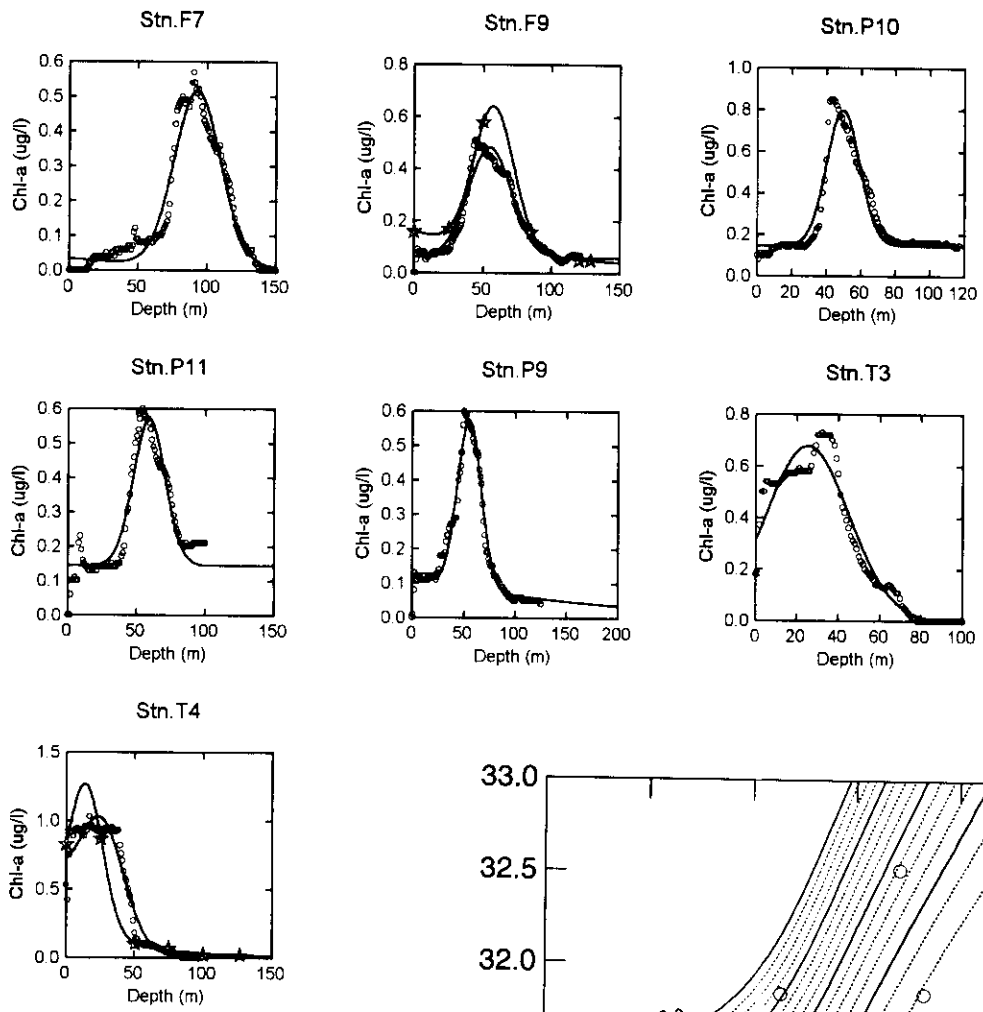


図 9 (続き)

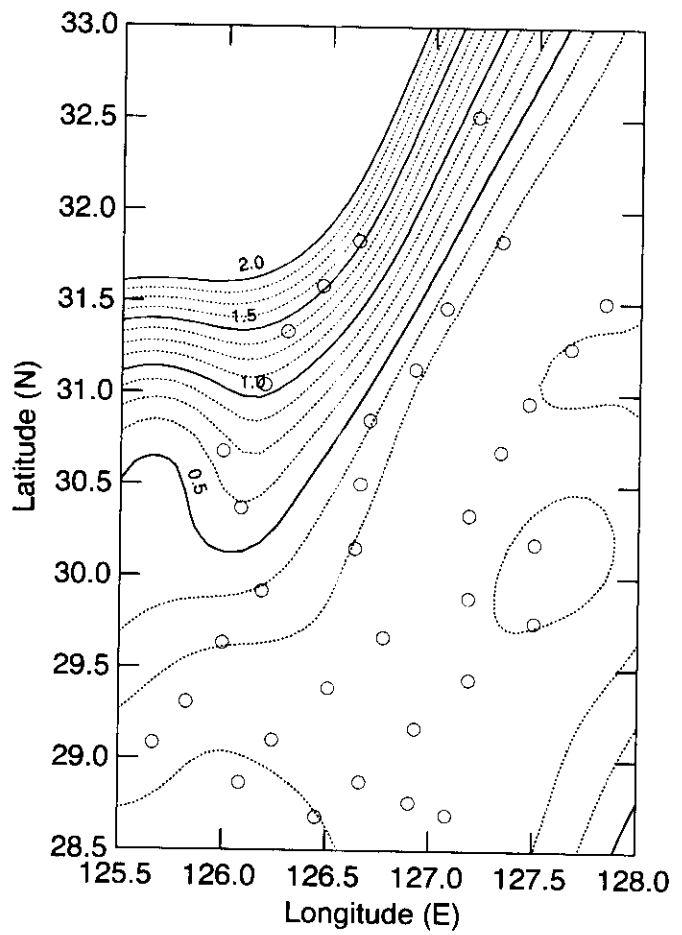


図 7 表面におけるクロロフィルの分布 (1998 年)

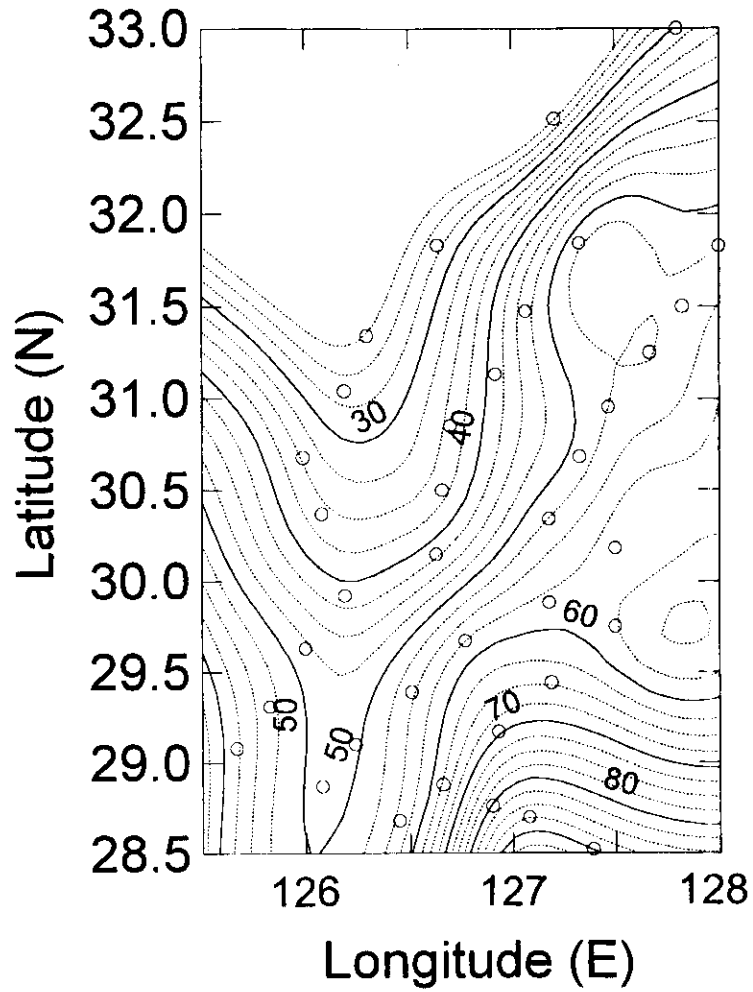


図 10 クロロフィル亜表層極大深度の水平分布 (1988 年)

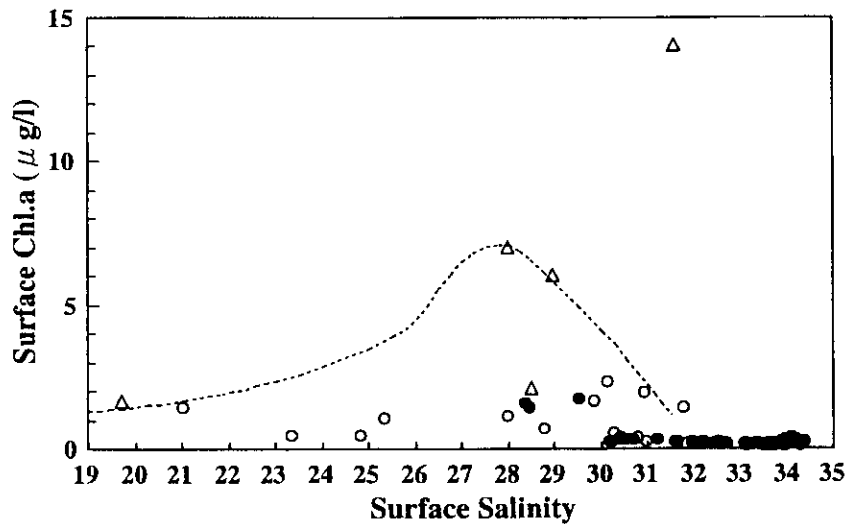


図 11 表面のクロロフィル濃度と塩分との関係。●は 125° E 以東の観測結果、○は 124° ~ 126° E における過去の観測結果、△は 124° E 以西の過去の観測結果、点線は長江河口域で観測された各塩分濃度の海域におけるクロロフィル濃度の最大値^{*)}