

富山湾における河川水の流入とクロロフィル *a* 濃度の季節変動

長田 宏¹⁾・奈倉 昇²⁾

Seasonal Changes of River Discharge and Chlorophyll *a* Concentration in Toyama Bay, Southern Japan Sea

Hiroshi NAGATA¹⁾ and Noboru NAKURA²⁾

Abstract

In order to understand the characteristics of plankton productivity in Toyama Bay, nutrient concentration, chlorophyll *a* stocks, and zooplankton biomass were routinely measured by the Toyama and Ishikawa Prefectural Fisheries Experiment Stations from 1981 to 1983. In relation to the extent of the effects of river discharge, the seasonal changes in these parameters were examined. The Bay area was divided into three sub-areas based on the different effects of the river discharge, i.e. continuously, scarcely, and temporarily influenced sub-areas. In the sub-area of continuous effects, which was identified in the southern inner part of the Bay, the concentration of surface nutrients or chlorophyll *a* increased remarkably after spring. To the sub-areas in the northern and western parts of the Bay, the river plume hardly extended and the effects of the Tsushima Current from the outside were relatively strong. In the latter sub-areas, the seasonal maximum concentration of chlorophyll *a* was observed in spring, March-May. However, considering the marked decrease in nutrient concentration before April, it is most likely that the peak of spring bloom occurred one or two months before the samplings in March-May.

Key words plankton production, river discharge, seasonal change, spring bloom, Toyama Bay

緒 言

富山湾は、対馬暖流の影響が湾内に直接及ぶ開放的な湾である一方、湾奥域では神通川、黒

1992年12月8日受理, 日本海区水産研究所業績A第479号

1) 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所
(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951, Japan)

2) 〒936 富山県滑川市高塚364 富山県水産試験場
(Toyama Prefectural Fisheries Experiment Station, Takatsuka, Namerikawa 936, Japan)

部川を始めとする5本の一級河川等からの流入河川水によって、顕著な低塩分域が形成されている(富山県水産試験場1976)。河川水の影響域では、豊富な栄養塩の供給による富栄養化が進んでおり(富山県水産試験場1977)、春季から夏季にかけて湾奥部では珪藻赤潮が発生することが報告されている(今村・川崎1985)。このことは、河川水の影響が強い富山湾の奥部では、閉鎖的な内湾域に類似した海洋構造、あるいは生物生産過程が維持されていることを示している。永原(1984)は、富山湾における栄養塩(リン酸塩)とクロロフィル a 濃度の季節変動を調べ、栄養塩の供給経路としての河川水の重要性を指摘しているが、植物プランクトン現存量の季節変動に、河川水の流入がどう関わっているのか、詳しい論議は行っていない。

富山湾内における水温、塩分については、富山県水産試験場等によって、過去数十年間にわたるデータが蓄積されているが、栄養塩、動物プランクトン等の低次生産環境に関する資料は極めて少ない。その中で、1981年から85年にかけて科学技術庁振興調整費による「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」が行われ、富山県水産試験場、石川県水産試験場および日本海区水産研究所によって、1981~83年に富山湾における栄養塩、クロロフィル a 、動物プランクトン湿重量等の季節変動が調べられ、成果が公表されている(日本海区水産研究所1983, 1984; 科学技術庁1985, 1987)。ここでは、これらのデータに、富山県水産試験場が定期的実施している海洋観測の結果を加えて、秋季から春季、夏季にわたる湾内の植物プランクトン現存量の変動を、河川水の流入、栄養塩濃度の変動、さらに動物プランクトンによる摂食等と関連づけて検討するとともに、従来、富山湾では知見が乏しかった春季ブルーミングの出現時期についても考察した。

本文に先立ち、御校閲の労をとられた東北大学農学部谷口 旭教授にお礼申し上げる。また貴重な海洋観測データを御提供いただいた元日水研浅海開発部永原正信室長、本稿をまとめるにあたり有益な助言を賜った平井光行海洋動態研究室長、小川嘉彦海洋環境部長、図の作成を手伝っていただいた布施加代子嬢に深謝の意を表す。

方 法

富山県水産試験場が漁海況予報事業の一環として実施している富山湾内の定期海洋観測結果を用いて、1981~83年における11月から6月までの表層の塩分分布を示し、河川水の流入、拡散パターンを検討した。この中で低塩分水の分布の季節変動から、河川水の影響の程度をいくつかの段階に分け、各々の海域ごとに、栄養塩、クロロフィル a 濃度、動物プランクトン湿重量、塩分、密度、透明度について、これらの季節変動を比較した。

低次生産環境の解析に用いたデータは、日本海区水産研究所(1983)および永原(1984)に記載されていたものを使用した。これらは、1981年11月、1982年2, 4, 5, 6, 8月に富山湾内の定点において富山県・石川県水産試験場および日本海区水産研究所によって調査されたものである。これらの定点は、後述する海域区分とともにFig. 1に示した。なお、リン酸塩の分析はモリブデンブルー法、クロロフィル a は90%アセトン抽出による蛍光法によっている。また、動物プランクトン湿重量は、マクロプランクトンを主対象とした網目幅0.35mm(NIP #60)とマクロプランクトンおよびミクロプランクトンを対象とした網目幅0.10mm(NIP #200)の2種類の目合からなる双子型ノルバックネットによる150m鉛直曳きで採集したサンプルに基づいている。ただし、この中には動物プランクトンだけでなく、植物プランクトンや微細なゴミも含まれている(栗森1984)。1981~82年では、比較的データが揃っている湾内の12点の定点(Sta. 1, 2, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 15, 17, 19, 20)における結果を示した。1983年については、富山県・石川県水産試験場によって1月から8月まで毎月、湾内の西、南、北部の3点(Fig.

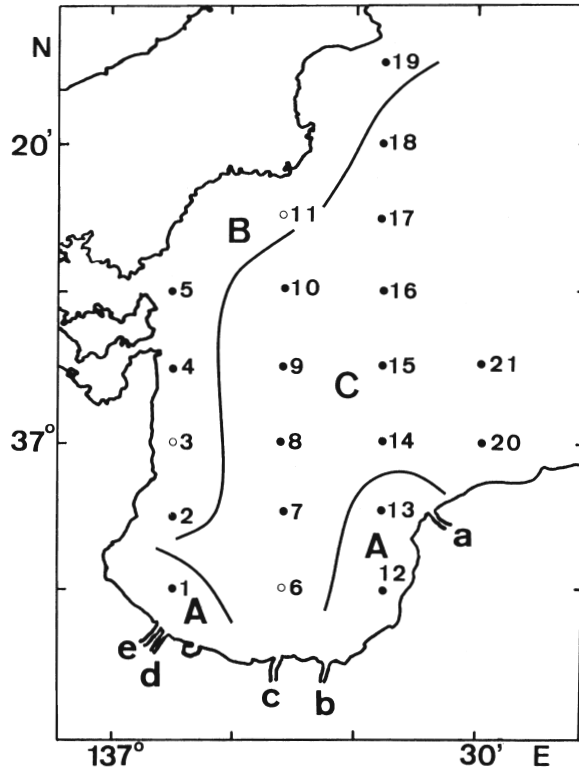


Fig. 1. Sampling stations in Toyama Bay in 1981-1982 (both of solid and open circles) and in 1982-1983 (open circles), and three sub-areas (A-C) demarcated by different effects of river discharge i.e. Sub-area A: under continuous effects, Sub-area B: scarcely affected, and Sub-area C: under temporal effects. a: Kurobe River, b: Joganji R., c: Zintsu R., d: Sho R., e: Oyabe R.

1のSta. 3, 6, 11)において海洋観測が実施されているが、このときは観測は表層, 30, 50mの3層で行われ、クロロフィル *a*, リン酸塩のほか、硝酸塩 (Cu-Cd還元法)も分析している。調査期間中の塩分、密度(σ_t)、透明度については、富山県水産試験場が行った海洋観測結果(未発表)を借用した。

結果および考察

1 表層における低塩分水の分布と流入河川水量

日本海に流入する対馬暖流水は、夏季から秋季にかけて“対馬暖流表層水”と呼ばれる低塩分の水系で表層が覆われることが知られている(小川1983)。北陸沿岸を流れる対馬暖流水も、この時期は年間で表面塩分が最も低下すると考えられるが、舞鶴沖から北西に大和堆付近まで達する定線(PM線)における、過去25年間の季節別平均表面塩分の最低は秋季の沿岸部にあらわれ、その値は33.042であった(舞鶴海洋気象台1990)。したがって1981~83年の調査期間中における富山湾表層の塩分分布中、ここでは表面塩分が33以下の水域を、河川水の影響が及んだ水域として、“低塩分域”と呼ぶことにする。低塩分域は湾奥部から東部沿岸にかけて分布する場合が多かった(82年3, 4, 5, 11月, 83年3, 5, 6月)が、82年6月, 83年3~4月のよう

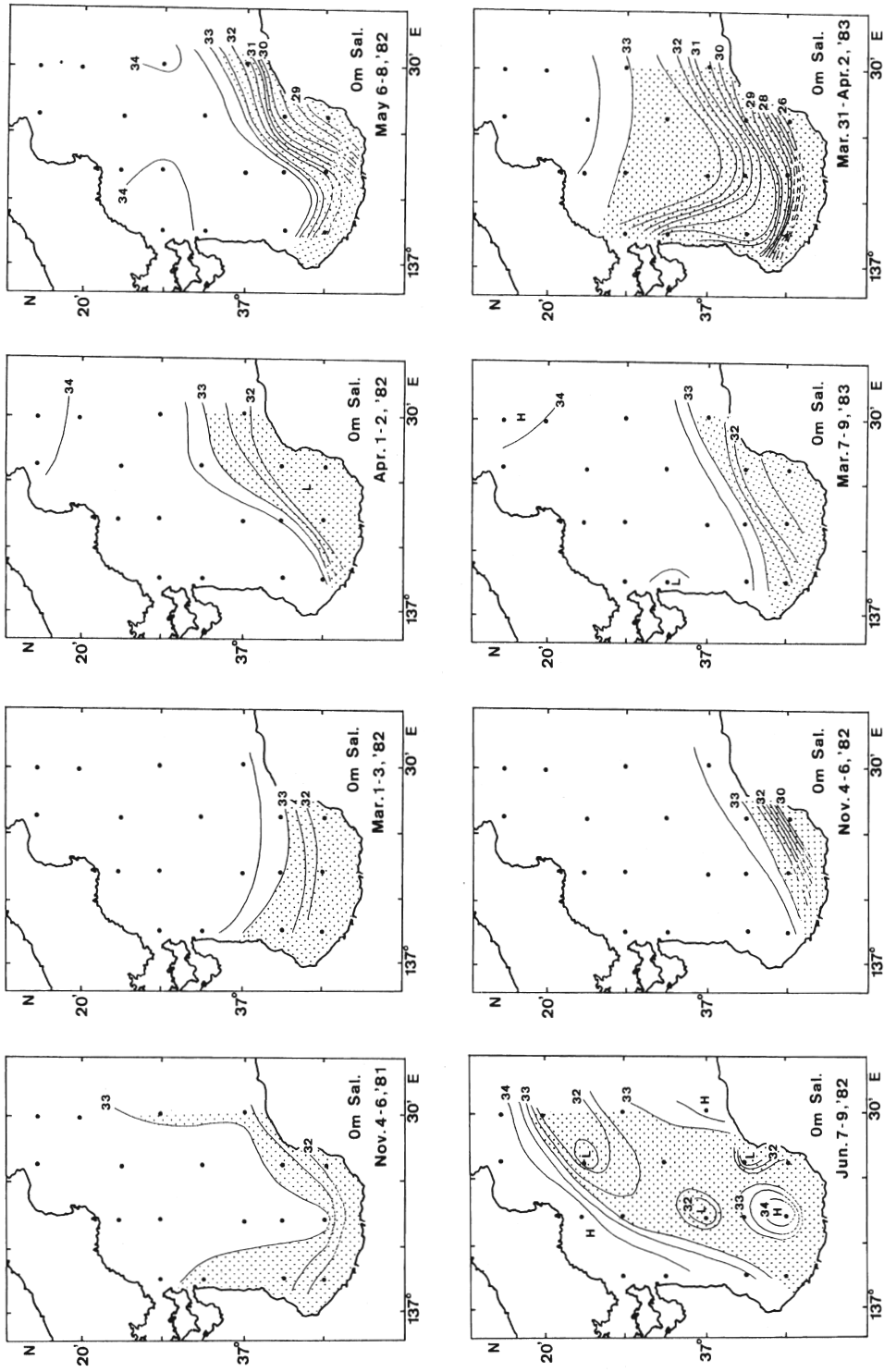


Fig. 2. Horizontal distribution of surface salinity from Autumn 1981 to early Summer 1983. Data provided by Toyama Prefectural Fisheries Experiment Station (unpublished data). Dotted area: surface salinity < 33.

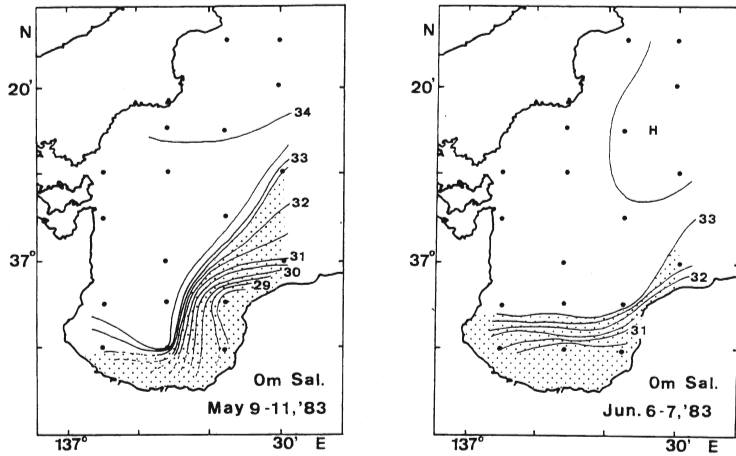


Fig. 2. (Continued)

に湾奥から湾中央部にかけて広範囲に分布することもあった。また、81年11月には低塩分域が湾西部の海岸線に沿って北上し、七尾湾入口付近まで達していた (Fig. 2)。湾口あるいは湾中央部にまで達する、低塩分域の著しい拡大は、1903~24年の平均塩分分布にも現れており、5月と8月には低塩分域が湾中央部にまで及んでいたことが示されている (奈倉・若林1984)。

富山湾に流入する5本の一級河川 (黒部川, 常願寺川, 神通川, 庄川, 小矢部川, Fig. 1) による、観測前1週間の平均流量の合計量と、湾内の低塩分域の面積との関係を Fig. 3 に示した。調査期間中は、81年11月, 82年4, 5, 6月等 (Fig. 2) のように、低塩分域が富山湾外にまで及んでいた場合も多かったが、ここでは137°30'N 以西に範囲を限定して面積を求めた。上述した、低塩分域が広範囲に拡大していた、82年6月, 83年3~4月には、いずれも5河川の総流

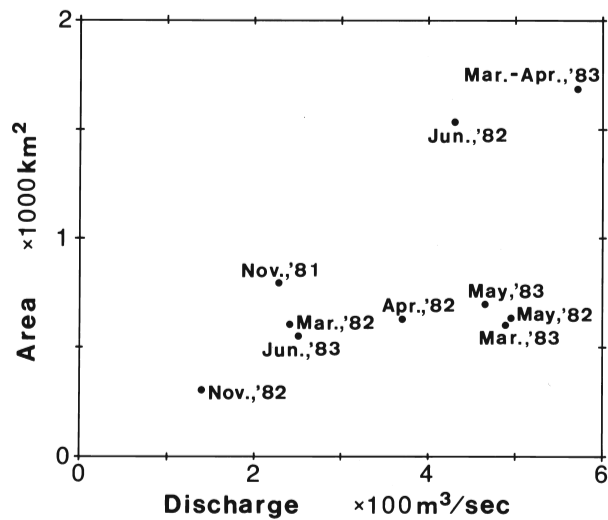


Fig. 3. Relationship between river discharge and surface area covered by its plume (surface salinity < 33). River discharge data provided by Ministry of Construction (1983, 1984, 1985).

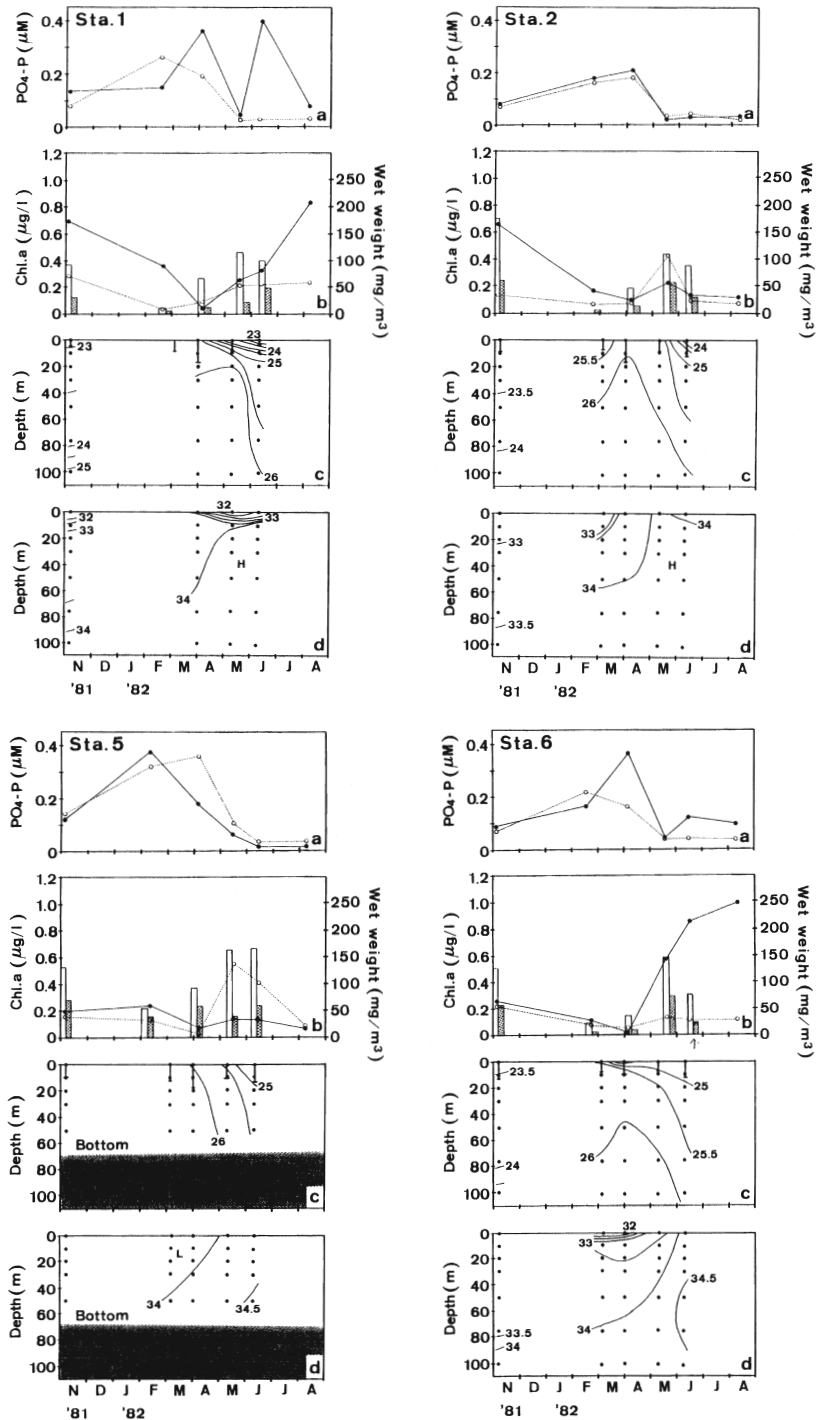


Fig. 4. Seasonal changes of a: nutrients and b: chlorophyll *a* at 0m (solid circles), 30m (open circles) and 50m (solid triangles) and zooplankton biomass in 0-150m water column (open rectangles: NIP #200, dotted rectangles: NIP #60) along with the changes of c: water density (σ_t), transparency (vertical bars) and d: salinity. For location of station, see Fig. 1.

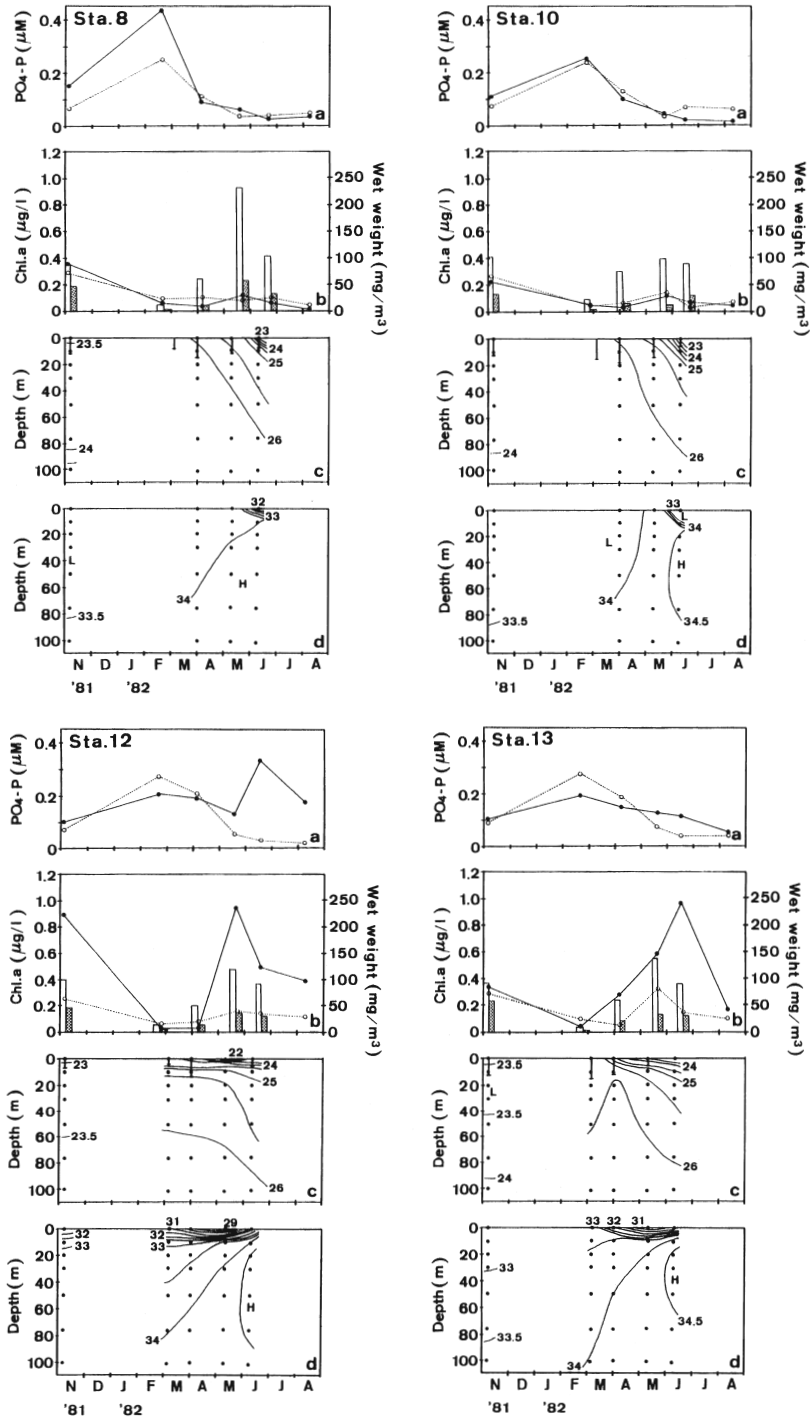


Fig. 4. (Continued)

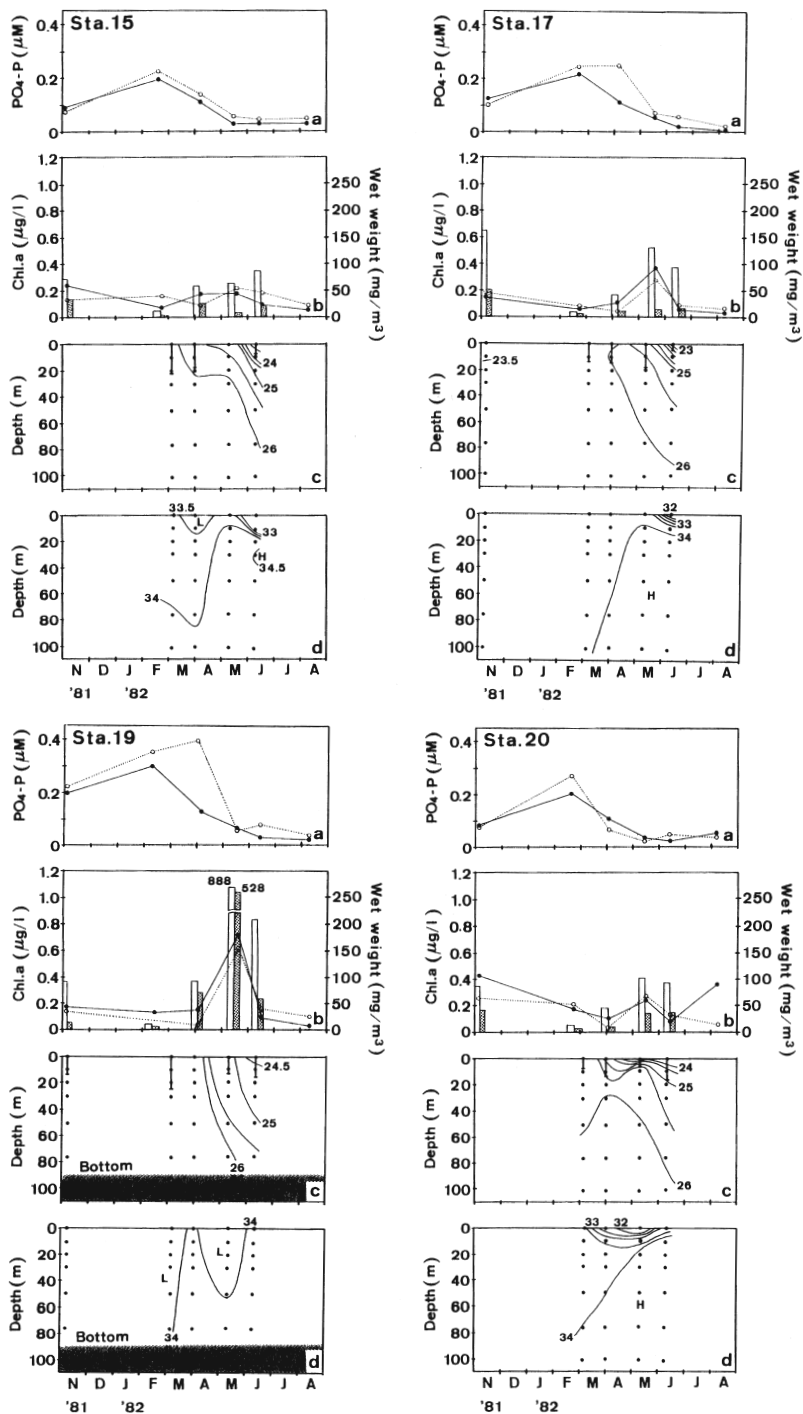


Fig. 4. (Continued)

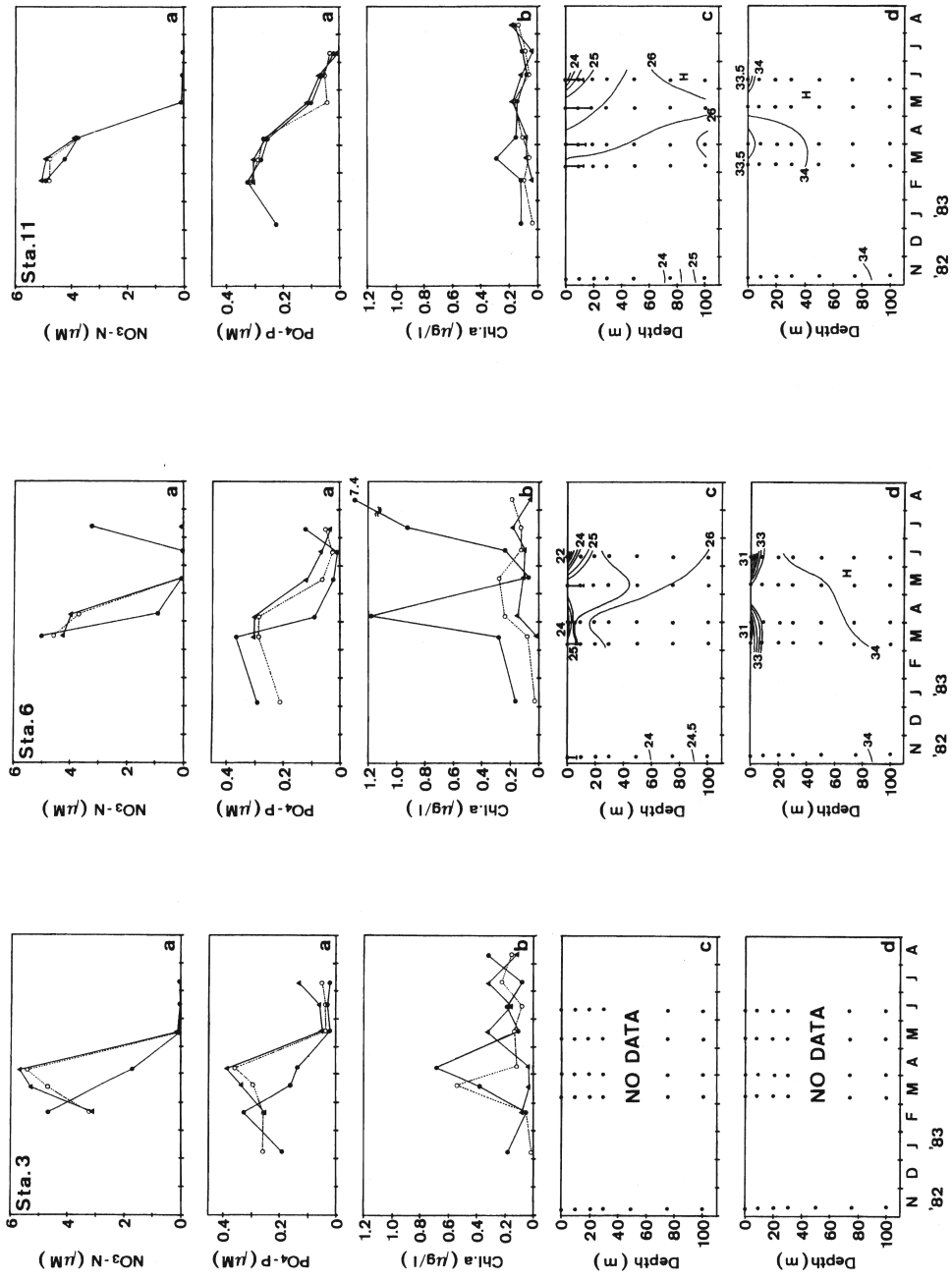


Fig. 4. (Continued)

量が430~580m³/secに増大していた。調査結果全体を通してみると、河川流量と低塩分域の面積との間には、やや正の相関($r=0.588$)がみられ、低塩分域の面積の拡大・縮小には河川流量の多少が関係していることが示唆された。しかし、82年5月、83年3月、5月にも、82年6月等と同程度に増水していたが、低塩分水の面積は半分以下であった。富山湾奥部と同様に、信濃川、阿賀野川からの河川水の影響が顕著な新潟沿岸域においては、低塩分水の面積の変動には、両河川の流量だけでなく、風、気温などの気象条件、昇温による沿岸の鉛直安定度の増大等が関係していることが報告されている(川合・長田1993)。したがって、富山湾における低塩分域の広がりにも同様の要因が作用していることが考えられた。

低塩分域の季節変動(Fig. 2)から、富山湾は河川水の影響が春季以降、常時及んでいる海域、ほとんど及んでいない海域、さらに一時的に河川水の影響が及んだ海域、の3海域に概略的に分類することができた(各々Fig. 1のA, B, C海域)。

2 河川水の影響の程度からみた富山湾における低次生産環境の季節変動 (Fig. 4)

河川水の影響の程度で区分した上述の3海域において、栄養塩、クロロフィル *a*、動物プランクトン湿重量、塩分、密度、透明度の季節変動を比較し、富山湾における低次生産環境の特徴を検討した。

(1) 春季以降、河川水の影響が継続して強かった海域 (1982年の Sta. 1, 12, 13) —A 海域

4月以降、表層のリン酸塩濃度が30mのそれを大きく上回るか、表層のクロロフィル *a* 濃度が著しく増大するのが特徴である。この海域には湾奥部で、かつ河口域に近い定点が該当している。

表層の植物プランクトンが春季以降、増加したことは、その間、表層に継続的な栄養塩の補給あるいは高濃度のクロロフィル *a* を含んだ水系の流入があったことを示している。30mのリン酸塩は5月以降、表層よりも低濃度で推移し、変動は小さかったこと、また3~4月以降は、表面塩分の低下が著しく、10m以浅に密度躍層が発達していたことから、Sta. 1, 12における6月の表層のリン酸塩の増加は下層からではなく、河川水からの補給によるものと考えられる。表層の植物プランクトンの増加時期は、密度躍層の発達時期とおおむね一致しており、河川水の流入は単に栄養塩を供給するだけでなく、密度躍層を形成することによって河川水の鉛直拡散を妨げ、供給した栄養塩を高濃度に維持する効果もある(風呂田1980)ことを示唆している。Sta. 13の表層にはリン酸塩の顕著なピークはみられなかったが、表層のクロロフィル *a* 濃度が5月、6月に著しく増加していること、4月以降、31.5以下の低塩分水で表層が覆われていたことから、Sta. 13にも河川水による栄養塩補給があり、それが植物プランクトンによって消費されたと考えられた。30mにおけるクロロフィル *a* 濃度は、3定点ともに5月以降、表層より低かったのは、河川水による栄養塩供給は30m層にまで及んでいなかったこと、および湾奥部での5~6月の透明度が3~8m(富山県水産試験場資料)であったことから、30mは有光層より下層に位置し、光量不足によって植物プランクトンの生産が行なわれなかったこと等が考えられる。

Sta. 12, 13では表層のクロロフィル *a* が5月または6月にピークを示した後、8月には減少している。この理由について、6月に比べ、8月には表層のリン酸塩が減少していることから、河川からの栄養塩供給量が低下したこと、あるいは植物プランクトンは増殖したが、動物プランクトンによる摂食圧が増大したことによって、クロロフィル *a* 濃度が低下したことなどが考えられるが、8月の塩分、動物プランクトンのデータが欠けているため、明かでない。一般に動物プランクトンの摂食圧は、植物プランクトンの現存量を支配する大きな要因の一つである

(例えば CUSHING 1959 ; HEINRICH 1962 ; MARTIN 1965 ; ADMIRAAL and VENEKAMP 1986) が, Sta. 1 については, 動物プランクトンの増加にもかかわらず, 表層の植物プランクトンの減少はみられていない. このことは, 動物プランクトンによる摂食以上に, 植物プランクトンの増殖が続いていたことを示している.

一方, Sta. 1, 12 では, 11月の表層のクロロフィル *a* は極めて高濃度であった. また, Sta. 13 でも11月の値は4月の濃度に匹敵していた. 同様の特徴を示した Sta. 2 も含め, これら湾奥部の定点では, いずれも11月に表層の塩分が33以下に低下していた. 富山湾奥部と同様, 河川水の流入によって, 周年にわたり表層の塩分が低い七尾湾で行なった調査によると, 植物プランクトンの現存量は11月にピークを示し, 秋季ブルーミングの存在が報告されている(下村1953) ことから, これら湾奥部の定点では, 秋季においても河川からの栄養塩供給による植物プランクトンの増加があったと考えられる.

(2) 春季以降, 河川水の影響がほとんど及ばなかった海域 (1982年の Sta. 2?, 5, 19, 1983年の Sta. 3?, 11) —B 海域

栄養塩濃度が表層, 30m, 50m(1983年のみ)ともに11月から翌年2月あるいは4月にかけて増加した点は, A 海域と同様であるが, 5月までに著しく減少した後は7月あるいは8月まで低濃度のまま推移したのが特徴である. 特に硝酸塩濃度は検出限界以下にまで減少した. 春季以降, 表層の塩分低下がほとんどみられなかったことは, 河川水による栄養塩供給が行われなかったことを示している. この海域には, 富山湾の北・西部沿岸が該当している.

1982年の Sta. 2, 5, 19の5月, 1983年の Sta. 3の3, 4月にみられたクロロフィル *a* の増加は栄養塩の減少を伴っていた. 栄養塩濃度は秋季~冬季間にしだいに増加していたこと, この間, 水深による濃度差は小さかったことから, これらは冬季の鉛直混合によって供給された栄養塩であり, 3~5月のクロロフィル *a* の増加は, いわゆる春季ブルーミングの一部と考えられた. しかし, 一般に春季ブルーミングの持続期間は極めて短く, ピークは1週間程度であることが噴火湾(角皆・乗木1983), 大槌湾(古谷1990), 新潟沿岸域(NAGATA, in press) 等で報告されている. したがって, 1~2ヶ月に1回程度の, クロロフィル *a* の観測だけからは, 春季ブルーミングを見逃す可能性もある. そこで, ここでは栄養塩の減少時期からブルーミングの発生時期を逆に推定することとした. 1982年の Sta. 5の表層, 83年の Sta. 11ではクロロフィル *a* の顕著な増加は観測されていないが, 3~4月に全層で栄養塩濃度が大幅に低下していた. しかも, この間の表面塩分の変動は0.5以下であり, 少なくとも塩分, あるいは密度で区別できる別の水系と交替した形跡はみられない. したがって3~4月の栄養塩の減少は植物プランクトンの消費によるものであり, このときに春季ブルーミングが出現していたことが推測された. さらに Sta. 2の表層および30mは4月, Sta. 19の表層では2~3月, 30mでは4月にリン酸塩の急激な減少がみられている. 1983年の Sta. 3では, 硝酸塩, リン酸塩ともに表層で2~4月, 30, 50mで4~5月に濃度が著しく減少している. これらの栄養塩の減少も1982年の Sta. 5等と同様, 植物プランクトンによる消費と考えられる. つまり, 観測ではクロロフィル *a* の現存量の最大は1982年には5月, 1983年には3~4月にみられたが, 春季ブルーミングの実際のピークは, 4月かそれ以前であったと考えられた.

一方, ミクロプランクトンの増加は5月に著しく, その時クロロフィル *a* 濃度も増大していた. 特に最も湾北部で対馬暖流の影響が強いと考えられる Sta. 19では, 5月に $360\text{mg}/\text{m}^3$ に達する増加がみられた. ミクロプランクトンの種組成の季節変化については調べられていないが, 2月から4月にかけて, #60のネットサンプルには珪藻を主体とする大型の植物プランクトンや, ヤコウチュウ等の原生動物の割合が増大したことが報告されており(粟森1984), 特に湾

Table 1. Percentage of wet weight of protozoans (ex. *Noctiluca* sp.) and diatoms compared to total NIP # 60 net sample (>0.35mm). Data calculated by Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst. (1983).

Sta.	1981		1982	
	Nov.	Feb.	Apr.	Jun.
1	0	0	0	3.5
2	0	0	25.2	7.9
5	10.6	72.5	22.1	11.8
6	0	0	0	0
8	0	0	0	0
10	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	7.1	3.3
15	0	0	23.1	7.6
17	0	0	33.0	6.4
19	2.4	76.2	27.0	29.6
20	0	0	0	7.8

北部の Sta. 5, 19 にその傾向が著しかった (Table 1)。#60 よりも目合いの小さい #200 には、さらに多くの植物プランクトンが混入していたと考えられることから、ミクロプランクトン湿重量とクロロフィル *a* 濃度の増大時期の一致は、必ずしも植物プランクトンと、それを摂食するミクロ動物プランクトンの出現ピークが同時であったことを表してはおらず、前述の春季ブルーミングの発生時期を考えると、両者の間に 1 ヶ月以上の時間的なズレ (mismatching, 長田 1992) があった可能性が示唆された。しかし 6 月においては、#60 ネット中の植物プランクトン、原生動物の割合も 30% 以下に減少し、動物プランクトンの割合が増加していた (Table 1) ことから、6 月以降、植物プランクトン量が減少し、低位で推移しているのは、水温の上昇による密度躍層の形成によって、下層からの栄養塩供給が制限されたことに加え、動物プランクトンによる強い摂食圧があったことが考えられる。

(3) 一時的に河川水の影響が強く及んでいた海域 (1982年の Sta. 6, 8, 10, 15, 17, 20, 1983年の Sta. 6) — C 海域

この海域には湾口から湾中央部の広い海域が該当している。1982年の Sta. 8, 10, 15, 17, 1983年の Sta. 6 では 6 月、1982年の Sta. 20 では 5 月を中心に河川水の流入があったことが表面塩分の季節変動から示唆されたが、いずれも表層のリン酸塩濃度は、河川水流入前と変わらず低濃度で推移し、クロロフィル *a* も 1982年の Sta. 20, 1983年の Sta. 6 で増加したほかは、低濃度のままで、変動は小さかった。

富山湾中央部 (Sta. 8, 10, 15, 17) では 6 月に表面塩分の低下がみられたが、その他の月は、河川水の流入を示唆するパターンはみられず、Sta. 5, 19 等と同様、河川水の影響は少なかったと考えられた。これらの定点では、リン酸塩の減少時期から B 海域と同じく、2 ~ 4 月に春季ブルーミングのピークがあったことが推定できた。HIRAKAWA *et al.* (1992) は 1990年 2 月から 1991年 1 月まで、Sta. 8 付近でノルバックネットによるプランクトン採集を続けた結果、2 ~ 3 月に春季ブルーミングがみられたことを報告しており、今回の推定とほぼ一致している。また

ミクロプランクトンの増加は5月にみられることが多く、春季ブルーミングのピーク時期より1ヶ月以上遅れていたこともB海域と同様であった。

要 約

1981～85年に実施された「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」の中で得られた、富山湾内の各種低次生産パラメーターのうち、1981年11月から83年8月までの季節変動をまとめ、当時の定期海洋観測結果と合わせて改めて検討した結果、以下の知見を得た。

1. 湾内の低塩分域は、時期によっては湾中央部から湾口部付近にまで拡大することがあり、その面積は、富山湾に流入する河川の流量と関係があることが考えられた。しかし気象条件等、他の要因も係わっていることが示唆された。また、冬季の鉛直混合は、湾内全域にわたって共通した栄養塩の供給経路と考えられた。
2. 河川水による栄養塩供給が十分な湾奥域では、4月以降、表層のクロロフィル *a* 濃度が増大しはじめ、5月以降に最大となった。この時期は、密度躍層の発達時期とおおむね一致しており、密度躍層によって河川水の鉛直拡散が妨げられ、供給された栄養塩が高濃度に維持された効果があったことが示唆された。また30mのクロロフィル *a* は常に表層より少なく、変動も小さかったのは、栄養塩濃度が低かったことに加えて、有光層より下層であったため、光量が不足していたことが考えられた。
3. 河川水の影響がほとんど及ばない湾の北・西部沿岸では、冬季の鉛直混合によって供給された栄養塩を利用して、1982年は5月、1983年は3～4月にクロロフィル *a* の増加がみられた。しかし、栄養塩の減少時期から考えると、春季ブルーミングのピークは、それより1～2ヶ月早く、4月もしくはそれ以前に出現したと推測された。また、ミクロプランクトンの出現ピークは、春季ブルーミングより1ヶ月以上遅れていた可能性が示された。
4. 富山湾中央部では、5月または6月に一時的に河川水の影響が及ぶ時期があったが、いずれも表層のリン酸塩濃度は、河川水流入前と変わらず低濃度で推移し、クロロフィル *a* も一部の海域で増加した他は、変動は小さかった。春季ブルーミングの発生時期、ミクロプランクトンの出現ピークの遅れについては、湾の北・西部沿岸と同様であった。

文 献

- ADMIRAAL, W. and VENEKAMP, L. A. H. (1986) Significance of tintinnid grazing during blooms of *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in Dutch coastal waters. *Neth. J. Sea Res.*, **20** (1), 61-66.
- 栗森勢樹 (1984) 富山湾における動物プランクトンの分布。海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究、北陸沿岸地域調査成果報告、日水研、205-216.
- CUSHING, D. H. (1959) The seasonal variation in oceanic production as a problem in population dynamics. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **24**, 455-464.
- 風呂田利夫 (1980) 温帯内湾域における植物プランクトン現存量の季節変動。日本プランクトン学会報, **27** (2), 63-73.
- 古谷 研 (1990) 1989年春季大槌湾における一次生産。大槌臨海研究センター報告, **16**, 77.
- HEINRICH, A. K. (1962) The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the oceans. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **27**, 15-24.
- HIRAKAWA, K., IMAMURA, A. and IKEDA, T. (1992) Seasonal variability in abundance and composition of zooplankton in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, (42) 1-15.
- 今村 明・川崎賢一 (1985) 富山湾, IV生物。日本全国沿岸海洋誌。日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 東京, 1009-1016.
- 科学技術庁 (1985) 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究 (第I期) 成果報告書。科学技術庁研究調整局, 368pp.

- 科学技術庁（1987）海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究（第Ⅱ期）成果報告書。科学技術庁研究調整局，389pp.
- 川合英夫・長田 宏（1993）信濃川等の河川排水と海水の混合過程。日水研報告，（43），9-54.
- 川原田裕（1975）植物プランクトンの生態。海洋科学基礎講座6，海洋プランクトン，東海大学出版会，東京，1-47.
- 建設省（1983）流量年表。建設省河川局編，日本河川協会，東京。
- 建設省（1984）流量年表。建設省河川局編，日本河川協会，東京。
- 建設省（1985）流量年表。建設省河川局編，日本河川協会，東京。
- 舞鶴海洋気象台（1990）日本海海洋観測25年報。51 pp.
- MARTIN, J. H. (1965) Phytoplankton-zooplankton relationships in Narragansett Bay. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 185-191.
- 永原正信（1984）富山湾の栄養塩類とクロロフィル *a* の季節変動。海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究，北陸沿岸地域調査成果報告，日水研，183-204.
- 長田 宏（1992）日本海における植物プランクトンの分布と基礎生産の特徴。漁業資源研究会議報，**28**，29-44.
- 奈倉 昇・若林 洋（1984）富山湾の概況。海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究，北陸沿岸地域調査成果報告，日水研，169-182.
- 日本海区水産研究所（1983）海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究，北陸沿岸地域調査資料集。日水研，127pp.
- 日本海区水産研究所（1984）海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究，北陸沿岸地域調査成果報告。日水研，433pp.
- 小川嘉彦（1983）対馬海峡から日本海へ流入する海水の水温・塩分の季節変化。水産海洋研究会報，**43**，1-8.
- 下村敏正（1953）ミクロプランクトンの生産・分布及び海況との関係に関する研究。日水研報告，（3），1-136.
- 富山県水産試験場（1976）昭和49年度富山湾水質環境調査報告書。163 pp.
- 富山県水産試験場（1977）富山市日方江・浜黒崎地先中小河川水拡散調査報告書。153 pp.
- 角皆静男・乗木新一郎（1983）海洋化学，化学で海を解く。産業図書，東京，286 pp.