HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北太平洋亜寒帯域の生産力に対する考察：特に低塩分水の挙動について
Author(s)	福岡, 二郎; FUKUOKA, Jiro; 木戸, 和男 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 25(3), 230-237
Issue Date	1974-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23529
Type	departmental bulletin paper
File Information	25(3)_P230-237.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
25(3), 230-237. 1974.

北太平洋亜寒帯域の生産力に対する考察*
—特に低塩分水の挙動について—

福岡二郎**・木戸和男***

A Consideration about Productivity in the Subarctic Zone of the North Pacific Ocean

Jiro FUKUOKA** and Kazuo KIDO***

Abstract

The Subarctic Zone of the North Pacific Ocean is generally called one of the highest productivity regions in the ocean. According to Sverdrup, as the thickness of the mixed layer near the surface is related to the productivity of plankton, the growth of the mixed layer in the Pacific and Atlantic Oceans has been studied. Since in winter the mixed layer in the Subarctic region of the Atlantic Ocean is thicker than the one in the same area in the Pacific, it may be estimated that the productivity in the Subarctic region of the Atlantic is less than that of the Pacific. By our study we find that the difference in the growth of the mixed layer thickness is due to the difference in salinity distributions in both oceans. So the low salinity surface water in the Subarctic zone of the North Pacific may have some relation with the high productivity of this zone.

序

北太平洋北部，オホーツック海及びベーリング海は，生産力の高い海域としてつとに有名である。例えば元田・箕田[1]の報告によると，春から夏にかけての上記海域のプランクトン大増殖は，表層近くに発達する躍層に関連があると述べている。又 Zenkevitch[2] は，北太平洋北部のプランクトン，魚類，底棲動物，海哺乳動物などは他の海域よりも多く，要するに海の生産力が高いことを強調している。いうまでもなく高い生産力はこの海域の漁業に大いに関連があるはずである。この論文では生産力の問題を論ずるのに，北太平洋の塩分々布の影響を考えてみるのであるが，その特徴を明らかにするため，北大西洋北部の海況と比較しながら論ずることにする。

北太平洋亜寒帯域と北大西洋亜寒帯域におけるプランクトン分布

一般に，こうした両洋のプランクトン分布の比較が簡単に行えるほど，資料が豊富ではない。しか

* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績第70号 (*Contribution No. 70 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
** 北海道大学水産学部北洋水産研究施設海洋部門 (*Division of Oceanography, Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)
*** 北海道大学水産学部海洋学気象学講座 (*Laboratory of Oceanography and Meteorology, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

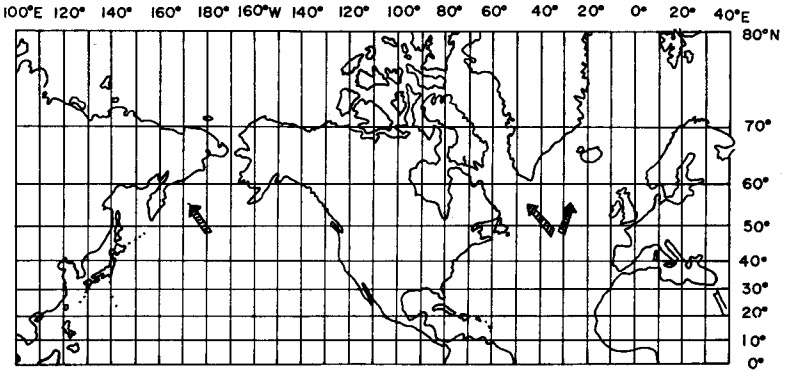

Fig. 1. Geographical location of the subarctic zone of the Pacific and Atlantic Oceans (Arrows show the locations of using data).

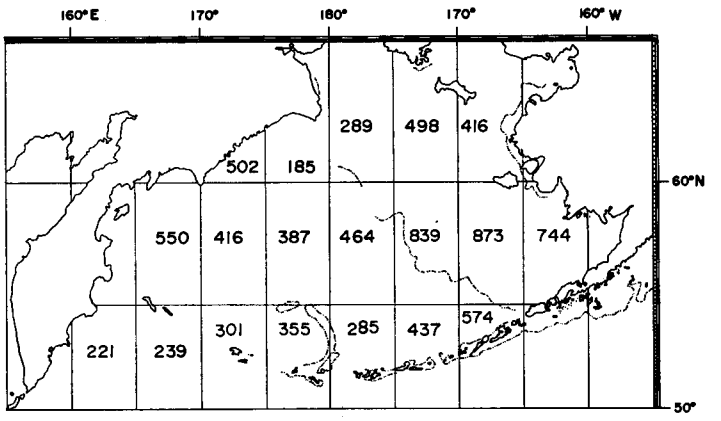

Fig. 2. Wet weight (mg/m³) distributions of zooplankton in the Bering Sea (average of 1956–1970 observations) (after Motoda and Minoda).

し北太平洋北部の特徴を知るために，北太平洋，北大西洋両洋のプランクトン分布について概略でも知っておく必要がある。なお両洋の北部という地域を示す図を図1とする。さて北太平洋北部のプランクトンについての代表的資料として，元田・箕田[1]による動物プランクトンの湿重量の値を図2に掲げておいた。これによるとベーリング海の動物プランクトンの量は，東部海域で800 mg/m³以上で，中部及び西部海域でも400 mg/m³から500 mg/m³以上の高い値を示す。又ベーリング海南側の50°N附近でも200 mg/m³以上の値がみられる。一方北大西洋では，元田・箕田の図に匹敵するような図は見当らない。1971年Allanなど[3]は北大西洋全域の動物プランクトン湿重量の分布図を発表したが，簡単な等値線のみで，両図の比較は困難である。Allanは本文中，北大西洋北部での湿重量は200～500 mg/m³であると述べているが，この値は太平洋の値より小さいかどうかは，はっきりしない。しかしAllanの求めた値で50°N-55°Nの所に一部には100 mg/m³以下の所があるという。この値は，北太平洋の同緯度のそれよりは大分低い。そこで，こゝでは北太平洋北部海域での動物プランクトンは，北大西洋の同緯度の海域よりも，多いという観点にたち，議論を進めることにする。

Sverdrup のプランクトン大増殖に対する見解

Sverdrup[4] はプランクトンの増殖について次のように考えた。プランクトンの増殖には適当な光が必要である。プランクトンの生産は光の強さに比例すると仮定し，海中の光の強さは深さに対し指数曲線的に減衰するから，生産もこのような分布型をもつ。海中にはある深さ D をもつ混合層(対流層)が存在するが，生産されたプランクトンはこの層内では一様の分布をとるようになり，したがってプランクトンの破壊もこの層内で上下一様におこっていると考える。又この混合層以下の深さでは破壊はおこっていないとする。このような分布は，図3に模式的に示しておいた。海面に達する光のエネルギーの 20% が光合成に用いられると考えられるが，光は海面で反射するから，その Albedo を a とすると，深さ z での光合成に対応する光の強さは，

$$I_z = 0.2\,(1-a)\,I_0 e^{kz} = I_e e^{kz} \tag{1}$$

こゝで，I_0 は太陽から海面に及ぼす光の強さ，k は消散係数，I_e は海面で光合成に用いられる光の強さである。

ある時間内，ある深さ D_0 迄の光合成による生産を考えれば，仮定により光の強さに比例するから，(1) 式を積分すればよい。この全生産を P とすると，

$$P = m\int_0^T\int_{-D_0}^0 I_e e^{kz} dt\, dz = \frac{m}{k}\,(1-e^{-kD_0})\int_0^T I_e dt \tag{2}$$

プランクトンの破壊は D の深さ内では上下一様におこっているから，その積分値を R とすると

$$R = n\int_0^T\int_{-D}^0 dt dz = nTD \tag{3}$$

こゝで m, n はある係数で 図3に示すように，生産と破壊が等しくなる深さを Compensation Depth (D_c) とすると，m, n は次の関係をもつ

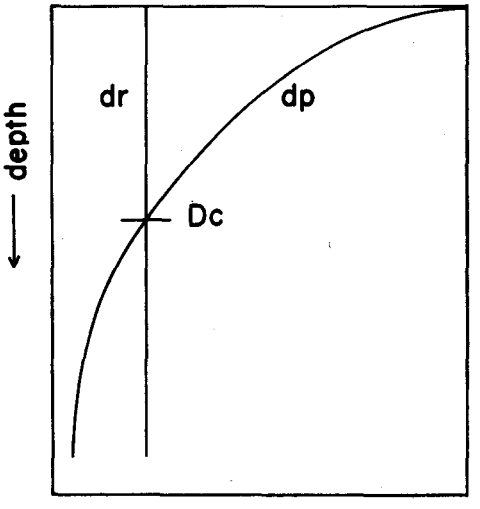

Fig. 3. Schematic representation of the variations with depth of plankton production (dp) and destruction (dr) (after Sverdrup).

$$n/m = I_c$$

I_c は深さ D_c における光の強さをいう。

さて，(2) 及び (3) 式を等しいとした深さを臨界深度 D_{CR} としてその値を求めてみると次のようになる。

$$\frac{D_{CR}}{1-e^{-kD_{CR}}} = \frac{1}{k}\,\frac{\bar{I}_e}{I_c} \tag{4}$$

ただし，$\bar{I}_e$ は海面での光合成に用いられる光の強さの時間平均である。さてこの値は生産と破壊が等しくなるようになる深さを示すのだが，D の値が小さければ (3) 式から破壊が小さくなり，生産が破壊より大きく，プランクトンは増加する。逆に D の値が大きければ（混合層の厚みが大きい）プランクトンの増加はおこらないだろう。Sverdrup は北大西洋北部で，春から初夏にかけて，混合層の厚

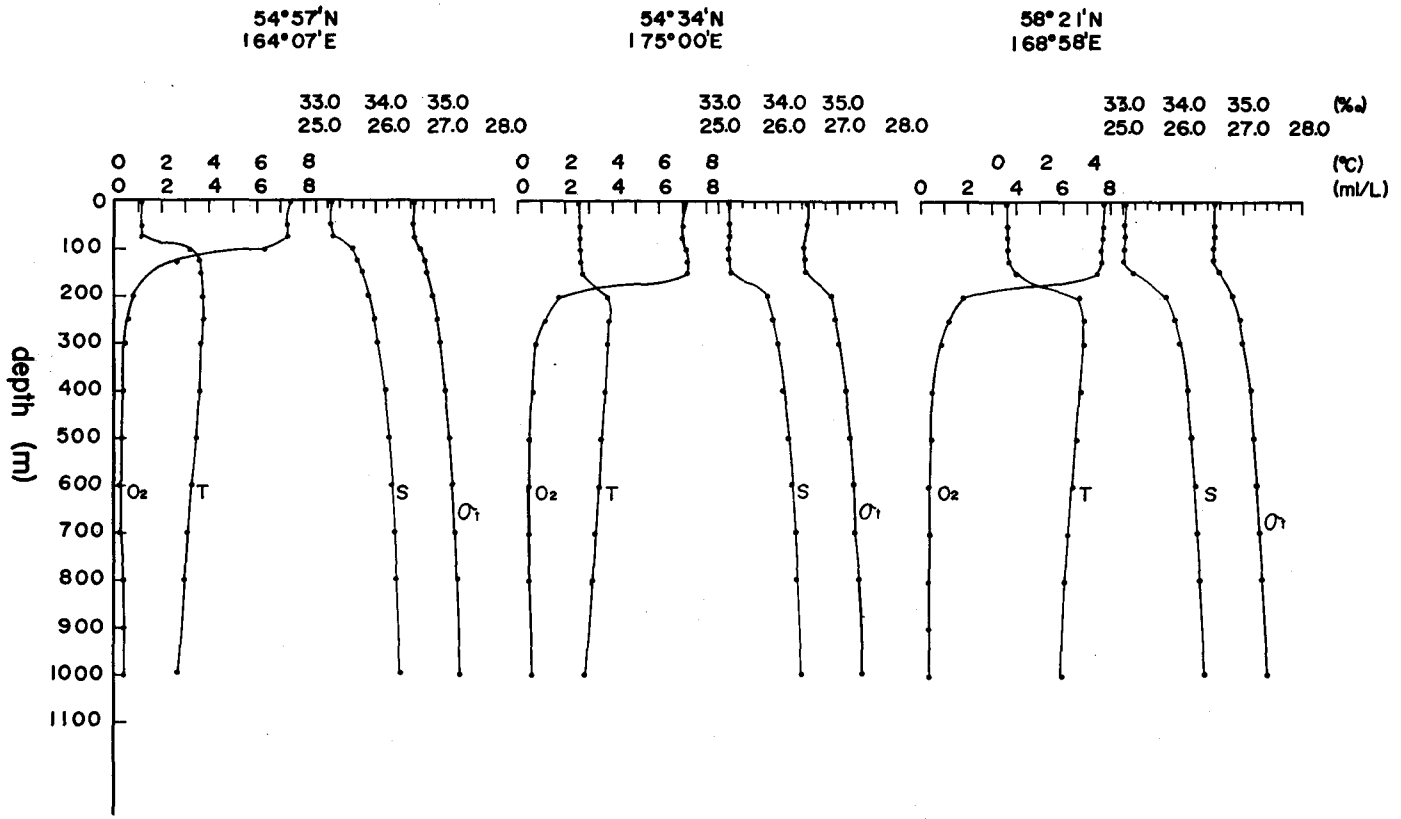

Fig. 4. Vertical distributions of temperature, salinity, oxygen and σ_t in the subarctic zone of the North Pacific (winter 1966).

み D が小さくなった頃プランクトンの大増殖が始まることを示し，混合層の厚みの変化の重要性を指摘した。

北太平洋と北大西洋の密度その他の鉛直分布

上記の Sverdrup の考えによれば，混合層の発達がプランクトン増殖に重要な関連をもつという事がいえる。そこで両洋での海水密度の鉛直分布を調べた。

夏の場合，両洋においては，表層は日射の影響で水温も高く，塩分も低めの値を示すので，表層と 400 m の密度差はかなり大きくなることが判る。例えば北太平洋北部では，この差は σ_t で表わして 1.00～2.00 に達する。北大西洋北部でも同じような差を示すが，値はやゝ小さめである。

しかし冬季にはこの差が，両洋において著しく異ってくる。北太平洋北部の冬の観測は非常に少い。僅か 1966 年に行はれた Argo の観測[5] が利用出来るに過ぎない。図 4 にこれらの資料を示しておいたが，北太平洋北部の水温，塩分，現場密度，酸素量の鉛直分布を調べてみると，表面から 150m 位迄は一様であるが，それ以深では値が著しく異ってくる。密度の分布でも同じで 100 m と 200 mの間に著しい増加が認められる。図からも判るように冬季のこの海域では表層の水温が，中層のそれよりも低いから，密度の増加は主に塩分に支配されているということが判る。又酸素の分布もこの層を境として値が大分違うことから，冬季の北太平洋北部では，表層 (0～150 m 内外)，深層 (200 m 以深) の 2 層に分けられ，これは塩分々布に依存しているといえる。これに対して北大西洋北部の資料[6][7] では，分布の様子が異っている。こゝでの鉛直分布を図 5 に示しておく。

図5の値は図4のそれよりも北に位置したものであるが，しかしやゝ南よりの場合も表面から 1000m 位迄の鉛直分布は，殆ど一様で上下に均質であることには間違いはない。

北太平洋北部と北大西洋北部の密度分布等について比較した場合，上下の差異は塩分々布によるだろうということは重要な事実である。又北太平洋北部では冬季でも 2 層モデルと考えられ，北大西洋北部では均質モデルであるということは，海洋構造及び，海水の運動を考える場合には，重要な問題となる。北太平洋のごとく，冬季にも上下の密度差があれば，春から夏にかけての日射の影響等により，鉛直方向の密度傾度は，太平洋の方が大西洋より急峻になることは考えられる。いいかえれば，北太平洋北部にみられる表層の，低塩分水が混合層（対流層）の発達を抑止し，生産力を増していると考えられないことはない。すなわち，低塩分水が，生産力解明の一つのかぎを握っているともいえる。

北太平洋及び北大西洋の塩分々布

こゝでは両洋の塩分々布が上下にどのような差異があるかを調べてみた。図 6 に両洋北部の 400 m 層の塩分と，表層の塩分との差が示されている。この図は Defant[8] の著書 Physical Oceanography の附図をもとにして，求めたものであるが，北太平洋の 400 m 層の塩分は，Norpac Atlas[9] の値を利用した。この図から両洋北部での上下の塩分値にかなりの差違があることが判った。すなわち北太平洋では，表層の塩分は 400 mのそれよりも 0.8 から 2.0‰ 低く，平均では 1.0 ‰ 位低い事が判る。しかし北大西洋北部では，こうした大きな値をとる所は，ごく沿岸に限られ，沖合の広い範囲では，その差は 0.5 ‰ を越えない。こうした傾向は Reid[10] もすでに指摘しているが，緯度 10°毎の両洋の水温，塩分，密度の平均値を示すと，表 1 のようになり，両洋北部では，鉛直塩分傾度に著しい差があり，これが密度分布に大きく影響していることが判った。

結語及び今後の課題

北太平洋北部の生産力の問題を論ずる場合，Sverdrup の考えた混合層の発達如何，すなわち鉛直安

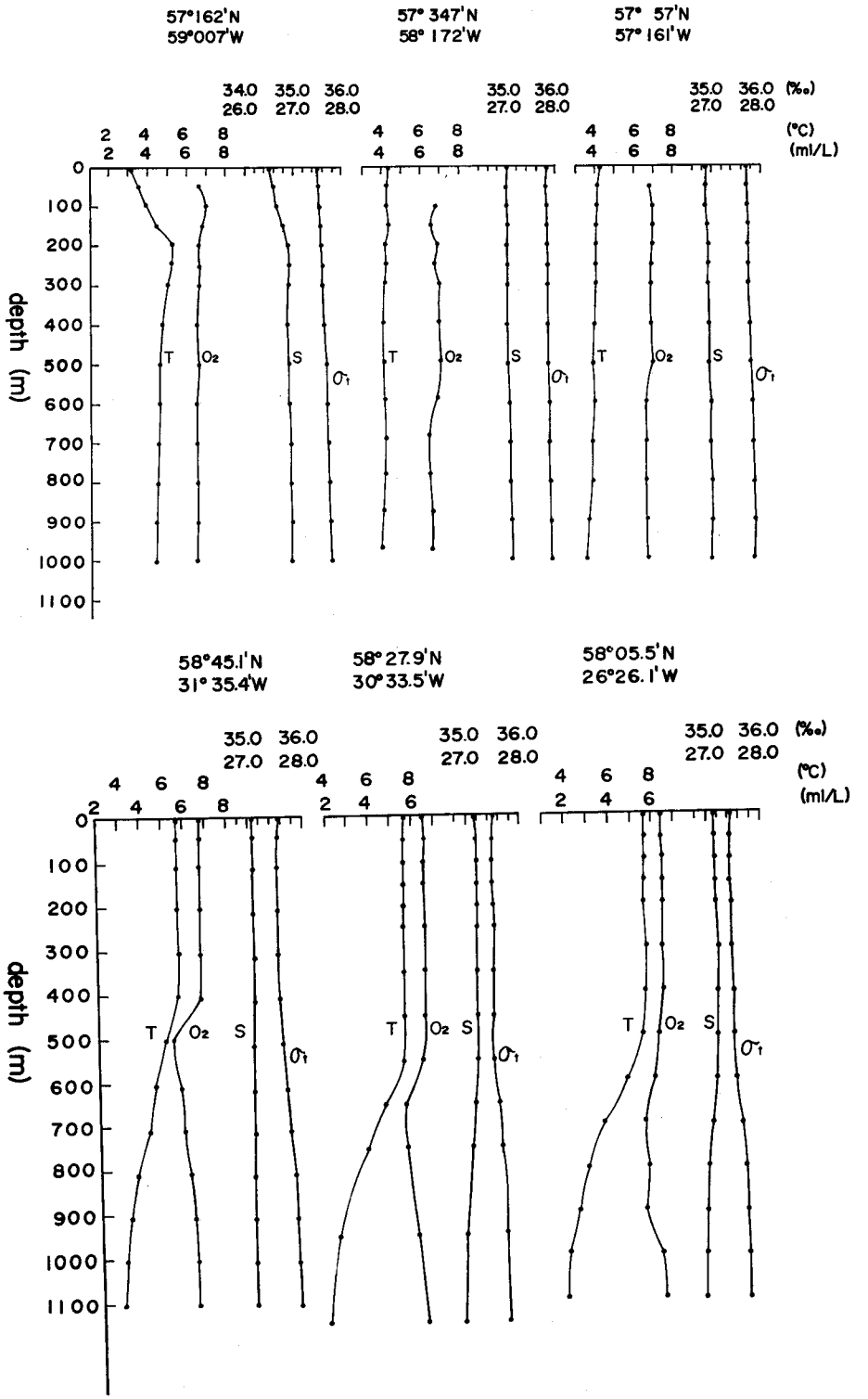

Fig. 5. Vertical distributions of temperature, salinity, oxygen and σ_t in the subarctic zone of the North Atlantic (winters 1962 and 1967).

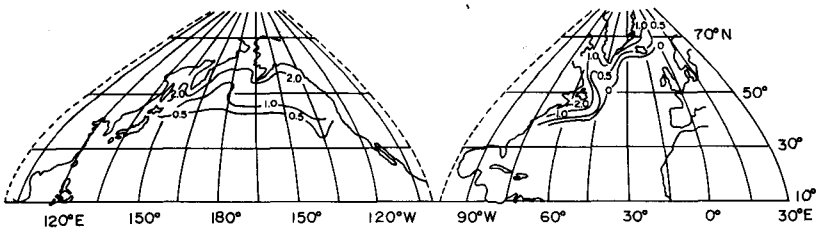

Fig. 6. Salinity differences between 400 m and surface layers in the subarctic zone.

Table 1. *Average temperature, salinity and σ_t by ten-degree bands in the North Atlantic and Pacific (after Reid).*

A. Atlantic

	50°–60°N			40°–50°N			30°–40°N		
M	T, °C	S, ‰	σ_t	T, °C	S, ‰	σ_t	T, °C	S, ‰	σ_t
0	11.06	35.04	26.82	18.04	34.94	25.24	25.17	36.43	24.36
200	6.56	35.06	27.56	11.47	35.49	27.08	17.13	36.27	26.48
400	6.36	35.06	27.58	10.16	35.39	27.25	14.99	36.06	26.82
600	5.41	35.03	27.67	8.79	35.30	27.41	13.02	35.64	26.90
1000	4.35	34.97	27.75	5.33	35.18	27.80	8.17	35.37	27.57
Mean	6.18	35.03		9.83	35.30		14.48	35.88	

B. Pacific

	50–60°N			40°–50°N			30°–40°N		
M	T, °C	S, ‰	σ_t	T, °C	S, ‰	σ_t	T, °C	S, ‰	σ_t
0	10.01	32.63	25.12	14.61	33.03	24.56	23.07	34.28	23.39
200	4.24	33.85	26.87	5.77	33.82	26.68	12.69	34.23	25.87
400	3.80	34.10	27.11	4.60	34.00	27.05	9.10	34.23	26.53
600	3.54	34.26	27.26	3.83	34.16	27.16	5.88	34.09	26.87
1000	2.82	34.42	27.45	3.01	34.37	27.40	3.62	34.31	27.29
Mean	4.24	34.02		5.29	33.99		9.15	34.21	

定度とプランクトン増殖の関係を考えれば，この海域の表層における低塩分水の挙動が，重要な役割を持つといえるが，これは北大西洋北部の海況と比較すれば更にはっきりする。今後は次のような点を問題として，調査研究を続けたい。

① 両洋とも中央部には高塩分水がある。高緯度には降水，陸水の供給があり蒸発は少い。湾流及び黒潮に代表される海洋循環による高塩分水の輸送と高緯度での真水の供給は，どのような塩分々布をとるべきか。

② ①の問題を考える場合北太平洋では，僅かにベーリング海峡で北氷洋とつながっているに過ぎなく，殆ど三面は閉塞されている。しかし北大西洋では広く北氷洋とつらなっている。この差が塩分々布にどのようにきいてくるか。

③ 湾流が北に及ぶ範囲は黒潮が北に与える影響よりもはるかに北に偏している。これは単に上記のごとく地形的なものか，それとも大気大循環による影響がきているのか。

④ 北太平洋北部では，上下2層の海と考えるが，この場合海水の出入りを知るために，表層並びに深層の流を立体的につかみたい。この実測は夏のみでなく，冬も行えるよう方法を考えたい。又北

大西洋の海洋構造との比較も試みたい。

⑤ ①の問題にも関連するが，北太平洋北部にみられる永久的な Halocline の存在に対する十分な説明も考慮したい。

製図は北洋水産研究施設の竹田仁氏にお願いした。こゝにその労に対し謝意を表する。なおこの研究には昭和49年度文部省科学研究費総合A「北太平洋の海洋長期変動の予測に関する研究」の一部を使用した。

文　　献

1) 元田茂. 箕田嵩 (1972). ベーリング海の生物群集. 月刊「海洋科学」**4**, 451–458.
2) Zenkevitch, L. (1963). *Biology of the Sea of the U.S.S.R.*. 955p. George Allen and Unwin, London.
3) Allan, W.H. Be, Forns, J.M. and Roels, O.A. (1971). Plankton Abundance in the North Atlantic Ocean. p. 17–50. In Costlow, J.D. (ed.), *Fertility of the Sea*. **1**, 308p. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
4) Sverdrup, H.U. (1953). On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *Journ. du Cons.* **19**, 287–297.
5) Scripps Institution of Oceanography. (1966). *Data Report: physical and chemical data, Boreas Expedition,* 27 *January* — 1 *April* 1966. 164p. University of California, Los Angeles.
6) Canadian Oceanographic Data Centre. (1965). *Data Record North Atlantic East of Nova Scotia, South of the Grand Bands, March* 5 *to August* 10, 1962. 10, 266p. Ottawa.
7) Canadian Oceanographic Data Centre. (1969). *East Green Land, Denmark Strait and Irminger Sea, January* 16 *to April* 5, 1967. 4, 158p. Ottawa.
8) Defant, A. (1961). *Physical Oceanography*. 1, 729p. Pergamon Press, New York.
9) Norpac Committee. (1960). *Oceanic Observations of the Pacific,* 1955. *The Norpac Atlas*. 123 maps, University of California Press·University of Tokyo Press, Los Angeles·Tokyo.
10) Reid, J.L. (1961). On the temperature, salinity, and density differences between the Atlantic and Pacific oceans in the upper kilometre. *Deep-Sea Res.* **7**, 265–275.