

昭和基地の海氷中に見られた着色層の生態学的観察

星 合 孝 男*

ECOLOGICAL OBSERVATIONS OF THE COLOURED LAYER OF THE SEA ICE AT SYOWA STATION

Takao HOSHIAI*

Abstract

Ecological observations of the coloured layer in the sea ice were carried out at Syowa Station from March 1967 to January 1968

The results obtained are as follows

1 A brown layer was formed at the bottom of the new ice in March 1967. It remained till the early part of January 1968

2 The thickness of the coloured layer was 2 cm in March and grew to 20 cm by May. The brown colour faded with the lapse of time. The chlorophyll-a concentration was high in the coloured layer, especially in the deep-brown part. The chlorophyll-a concentration increased between March and April, but thereafter it decreased gradually

3 Horizontal extent of the coloured layer was not very wide, being 50m × 150m

4 The vertical situation and the thick-

ness of the coloured layer varied from place to place. However, it was generally recognized that chlorinity and pH value were high in the upper part of the coloured layer and decreased in the lower part

5 Seasonal variation of chlorinity in the coloured layer was relatively remarkable. Chlorinity was high between October and December

6 Seasonal change of pH value in the coloured layer was more remarkable than in the colourless part. Between the latter part of December and the early part of January pH value was extremely high

7 On the 24th of December, another coloured layer appeared at the bottom of the sea ice, accompanied by some increase of chlorinity and pH. It disappeared by the 5th of January.

最近、北氷洋ならびに南氷洋における藻類による海氷の着色現象の研究が行なわれるようになってきた (APOLLONIO, 1961 and 1965; HOSHIAI and KATÔ, 1962, MECURO, 1962,

*国立科学博物館極地研究部. Department of Polar Research, National Science Museum, Ueno Park, Tokyo

BUNT and WOOD, 1963; 目黒・伊藤・福島, 1967). 特に着色氷に含まれている珪藻を主とした藻類が, 極海の一次生産に重要な役割を演ずることが指摘されている (BUNT, 1963 and 1964; FUKUSHIMA and MEGURO, 1966; 目黒・伊藤・福島, 1967).

したがって, 着色氷の生態を明らかにすることは, 極海の一次生産の構造を知るうえで重要な意味をもつことになる。

1967年3月から1968年1月まで, 昭和基地付近の海氷に見出された着色層の観察を行ない, 着色部分の経時的変化過程を追跡することができたので, その結果を報告する。

1. 調査方法

調査期間は1967年3月から1968年1月までで, 調査間隔はほぼ1カ月おきとした。しかし, 3月の結氷初期と12月以後は海氷の変化が急なことが予想されたので, 間隔を短くした。

調査に際しては, SIPRE の core sampler で氷柱を採取すると同時に, 積雪量, 氷厚, 海水面の位置を測定し, 海氷中における着色層の垂直分布域を確認した。

外見上一様なセクションを作るために, 氷柱を適当な長さに細分し, 各セクションを別々に溶かし, クロロフィル a 測定用の試料とした。また, 一部の氷柱については, クロロフィル定量に先立って, 融解直後, 塩素量・pH の測定を行なった。

クロロフィル a の定量には, 試料水をミリポアフィルター-HA (47mm) でろ過し, 90%アセトンで抽出したのち, 島津ボッシュロム・スペクトロニク20光電比色計で比色定量した。クロロフィル a は次の計算式から算出した。

$$\begin{aligned} \text{クロロフィル a} &= 11.64 \text{ (663m}\mu\text{の吸光値)} \\ &\quad - 2.16 \text{ (645m}\mu\text{の吸光値)} - 0.10 \text{ (630m}\mu\text{の吸光値)} \end{aligned}$$

塩素量は FAJANS-三宅の方法により定量し, pHは東亜電波科学社製のガラス電極pHメーター-HM-5Aを用いて測定した。

2. 結果

2.1. 着色層の季節変化を調査するための試料は, 雪氷部門の海水厚測定のための定点(図6, St.1)付近の比較的狭い区域内から採取した。試料ごとに場所の違いによる差が大きく現われると工合が悪いので, この点を検討するために, 7月1日, 採取区域から2本の試料をとり, 着色層の位置, クロロフィル a の濃度, 塩素量, pH の垂直分布を比較した。

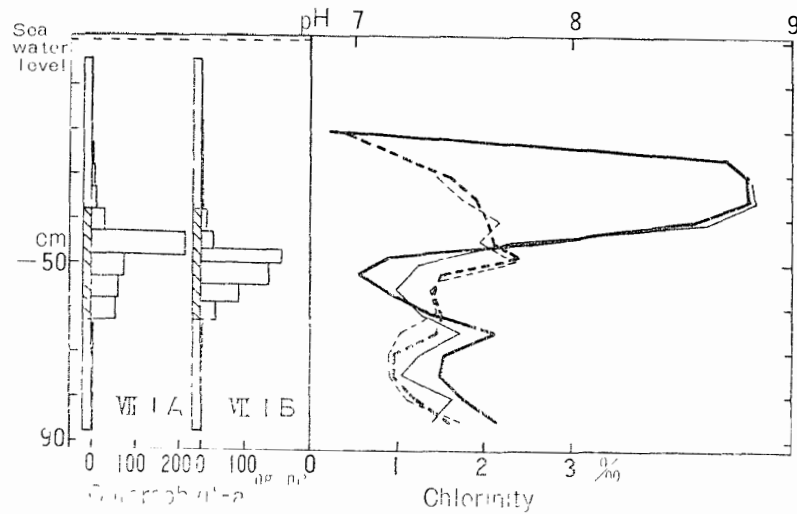


図 1 小区域内から得られた 2 試料の比較

着色層は斜線で示してある。太い破線——試料 A の塩素量、太い実線——試料 A の pH、薄い破線——試料 B の塩素量、薄い実線——試料 B の pH

Fig 1 Comparison of two samples obtained from a small restricted area. Coloured layer is shown by oblique lines in the left column. Thick broken line represents chlorinity of Sample A, thick solid line, pH of Sample A, thin broken line, chlorinity of Sample B, thin solid line, pH of Sample B.

図 1 に示したように、クロロフィル a の濃度の垂直分布の状態が少し異なるほか、着色層の部位、厚さ、塩素量、pH の垂直分布にはほとんど差が認められなかった。

したがって、比較的近接したところから試料をとれば、試料の場所による差は少なく、各試料から得られる値は、着色層の季節変化の有様をかなりよく反映しているものと考えられた。

2.2. 第 8 次越冬隊 (1967 年～1968 年) の雪氷学担当隊員、石田完博士の観察によると、3 月 10 日、定点付近の氷は二層に分かれており、深さ 47.5 cm の水をはきんで、上に厚さ 28.5 cm の新成氷があり、下に 24 cm の越年氷が認められた。ところが、3 月 22 日には新成氷の厚さが 38 cm となり、下層をなしていた越年氷は消失していた。そしてこのとき、新成氷の底の部分 2 cm が、かっ色に濃く染まっていたという (図 2)。

3 月 30 日、着色層の色は前回と同様に濃かったが、氷の成長に伴い、着色層の下に厚さ 2 cm の無色の層が形成されていた。また、濃い着色層の上に、厚さ 5 cm のやや薄い色のかっ色の層が認められた。

4 月 10 日の試料では、1.5 cm の濃い着色層の上下に、厚さ 3 cm の薄い色の着色層が認められた。着色層の下の無色の層の厚さは 4 cm であった。

5 月 25 日には着色層中央の色の濃い部分の色が 4 月に比べてやや薄くなり、厚さが 4 cm になった。この部分の上下にある色の薄い部分は、それぞれ厚さ 6 cm、10 cm となった。着色

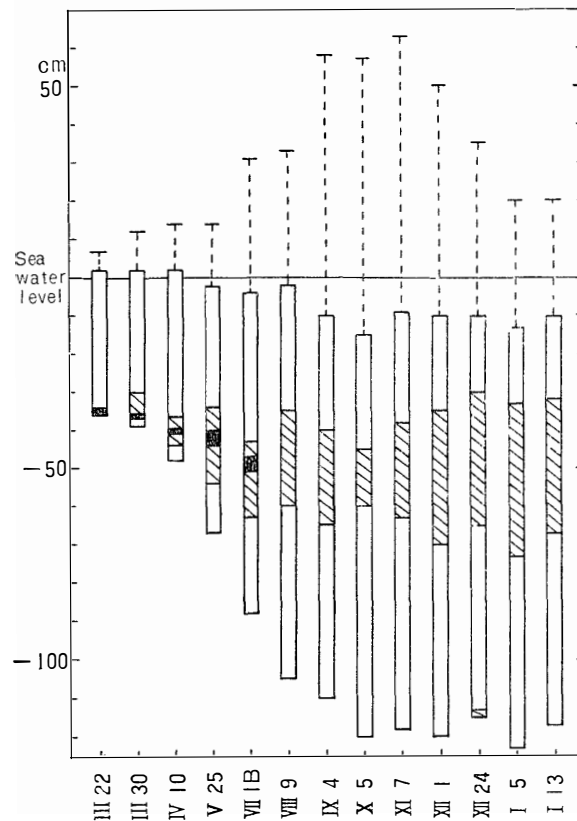


図 2 着色層の季節変化

斜線の部分が着色層で、塗りつぶした部分は濃い着色部分である。たての破線は積雪量。

Fig 2 Seasonal change of the coloured layer. Coloured part and deeper coloured part are illustrated by the shaded part and black part respectively. Snow accumulation is shown by the vertical broken line.

層の下の無色層の厚さは 13cmであった。

7月1日の試料では、下の色の薄い部分の厚さが 13cmとなったが、5月に比較して着色の程度には特に変化は認められなかった。着色層の下の無色層は厚さ25cmとなった。

8月9日、濃い着色部分の色が薄くなり、上下の薄い着色部分との区別が困難になった。着色層全体の厚さは25cmで、その下の無色層は45cmであった。

9月4日、着色の状態は前回と同じであった。

10月5日、着色層の厚さが15cmで、これまでの試料に比べて薄い。着色の程度は9月と同じであった。

11月7日、着色層の厚さは 25cmであり、着色の程度にはほとんど変化が認められなかったが、氷全体が水っぽくなってきた。

12月1日、着色層の厚さは35cmとなり、氷はますます水っぽくなった。

12月24日、底の部分に厚さ 2cm の着色層が新たに認められた。そのほか前回に比べて際

部分からもかなりの量のクロロフィル a が見出されている。

3月末から4月上旬にかけて、濃く着色した部分のクロロフィル a の濃度は一たん著しく増加し、その後減少する。秋から冬にかけて、着色層全体の厚さが増し、これに伴って、クロロフィル a の濃度の高い範囲は上下に広がる。しかし、濃度そのものは減少する。冬から春にかけて、クロロフィル a の濃度はじょじょに減少し、夏には著しく少なくなった。

また、海氷底部では、12月24日の着色に先立ち、11月からクロロフィル a の濃度が次第に高くなってきた。

各セクションに含まれるクロロフィル a の濃度とそのセクションの厚さの積を、そのセクションに含まれるクロロフィル a の量を表わす指数と考えると、一つの試料氷柱のすべてのセクションの指数の和はその氷柱のクロロフィル a の全量を示すと考えることができる。各試料氷柱のすべての部分のクロロフィル a の濃度を測定してはいないが、着色層とその付近にクロロフィル a 量の大部分が集中しているので、図3に示したクロロフィル a の濃度とセクションの厚さの積の和を、一つの試料氷柱のクロロフィル a の全量を便宜的に表わす値だと考えた。3月22日の試料を除いて、この値を図4に示した。

図から明らかなように、クロロフィル a の量は3月に比べて、4・5月に増加し、値も高い。

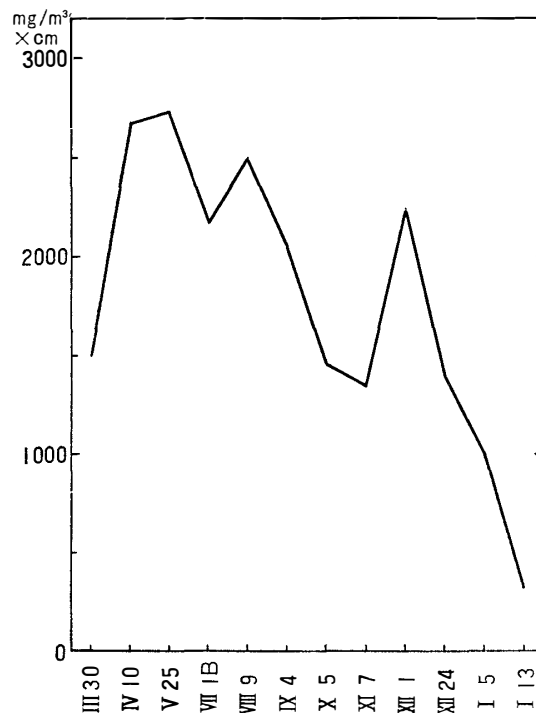


図4 一本の試料に含まれるクロロフィル a の全量の季節変化

Fig 4 Seasonal change of the total chlorophyll-a content in a core sample

その後、クロロフィルa量は8月に増加するものの、冬期には全体としては減少の傾向を示し、10・11月にはかなり減少した。12月1日一たん増加したのち再び減少し、1月13日になると激減した。

2.4. 着色層の環境条件を示す指標として、塩素量とpHとを、7月1日、10月5日、12月1・24日、1月5・13日の試料について測定し、あわせて環境条件の季節変化をも知ろうとした。

図5に示したように、10月5日の試料を除いて、7月1日から1月5日までの試料では、塩素量は海氷表面付近で少なく、着色層上部で多い。一たん増加した塩素量は、着色層の中央から下部にかけて減少する。着色層の下の無色層では塩素量は少ないが、底に近づくにつれ再び増加する。

10月5日の試料では着色層の下で塩素量が多くなる。また、1月5日の試料では底部の塩

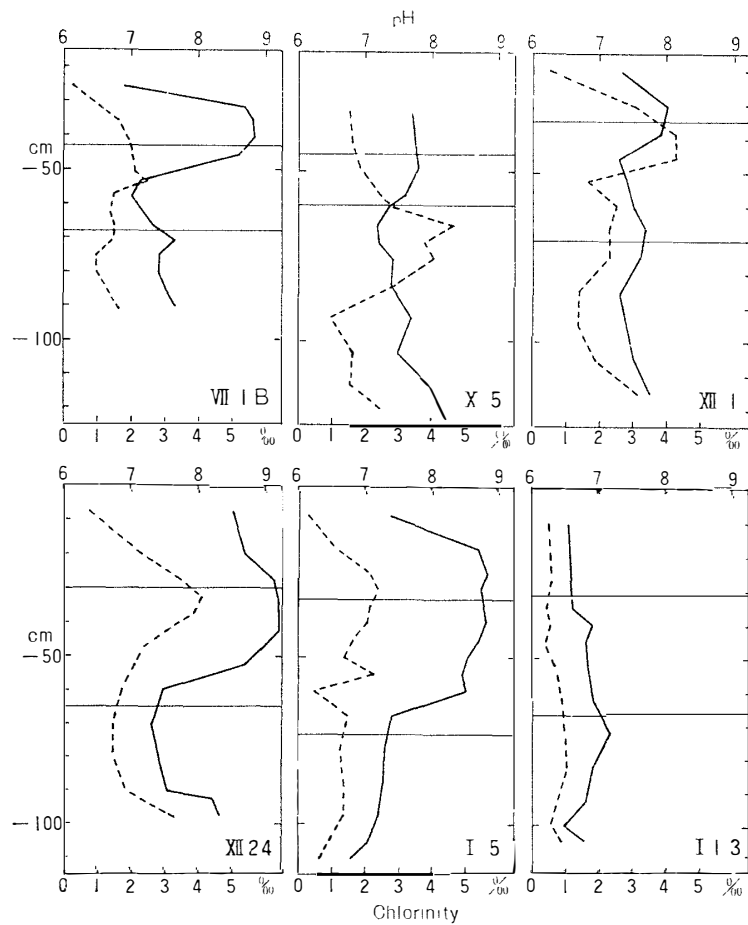


図5 塩素量とpHの季節変化

Fig 5 Seasonal variation of chlorinity and pH in the sea ice Broken line is chlorinity and solid line is pH. Vertical range of the coloured layer is shown by two horizontal lines

素量は多くなならない。1月13日には着色層付近と底部はもちろん全体的に塩素量は減少する。

着色層付近の塩素量は7月に比べて10・12月に増加し、1月5日には7月程度に減少する。着色層付近と底部の塩素量の季節変動が激しいのに反して、海氷表面の塩素量は終始少なく、着色層と底との間の塩素量の比較的少ない部分での塩素量の季節変動は小さい。

7月1日の試料では海氷表面のpHは低く、表面より20~40cm下の部分で高い値を示す。pH値は着色層で急激に減少し、底に近づくにつれて再び増加する。10月5日、12月1日の試料でも表面付近のpH値は小さく表面下20~40cmで増加する。pH値そのものは7月に比べて低い。着色層でのpHの減少も認められるが、減少の割合は7月に比較して小さくなっている。12月24日、1月5日の試料では着色層、特に着色層上部のpH値が極めて高くなる。また、12月24日には海氷底部でもpH値は高くなったが、着色層の消失とともに、1月5日には減少した。1月13日には着色層のpHが激減しただけでなく、全体的にpH値の低下が認められた。塩素量の場合と同じように、海氷表面ならびに着色層と海氷の底との間のpH値は比較的lowく、かつ季節変動も少なかった。

2.5. これまでに着色層の季節変動について述べた。ここでは、着色層をもった海氷の水平的な広がりを検討する。また、せまい区域内の異なった二点から得られた試料相互に、あまり差異はなかったが、まったく同じというわけでもなかった。そこで、着色層のみられる海氷全域について、どの程度の場所による差異が存在するかを吟味した。

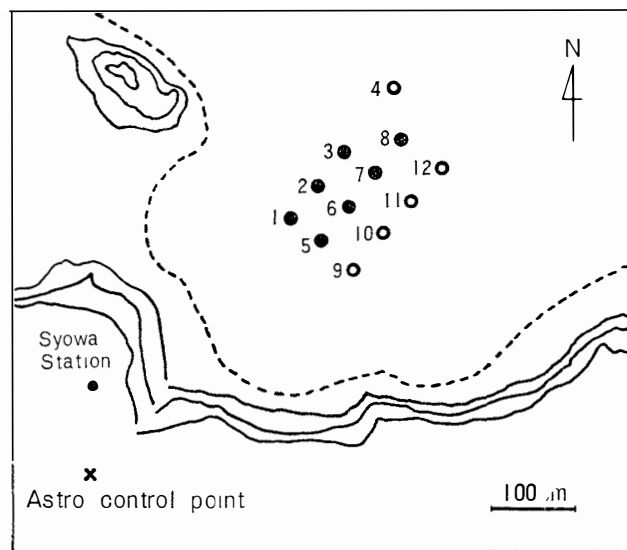


図6 調査地点図

定点は St 1 で、着色層は Sts. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 から見出された。

Fig. 6. Map showing sampling stations. Serial observation was done at about St 1. Coloured layer was found at Sts. 1, 2, 3, 5, 6, 7 and 8.

9月4日から10月17日までの間に、図6に示したように、定点(St 1) およひその付近に11点を選び着色層の有否を確かめ、着色層の垂直分布域を調べた。着色層が見出されたのは、Sts. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 であり、着色層の水平分布域はあまり広くなかった。

これらの地点の着色層の垂直分布を図7に示した。図から明らかのように、Sts. 1, 5, 6, 7 には着色層の上端が海水表面下20~30cm のところにあり、着色層の厚さは25~40cmであった。St. 3 では着色層の上端は海水表面下25cmのところにあるが着色層の厚さは80cmにも及ぶ。Sts. 2, 8 には着色層の上端が海水表面下40~50cm のところにあり、着色層の厚さは60cm である。このように着色層の垂直分布域は場所によってかなり異なっていた。

Sts. 2, 3, 5, 6, 7 の試料については、塩素量とpHとを測定した。すべての試料で海水表面の塩素量は少ない。着色層上部で塩素量は最も高い値を示し、着色層下部にかけて減少する。塩素量は着色層の下で更に減少し、底部で再び増加する(図8)。

pHは海水表面で低い値を示し、表面から速さかるにつれて増加したのち急に減少する。この急激な減少は、Sts. 5, 6, 7では表面下20~40cm, Sts. 2, 3ではそれぞれ60cm と 45cmのところできり、その付近に着色層が形成されている。底部でpHは再び増加の傾向を示す。

3. 論 議

海氷の表面付近に藻類の生息による着色部分が見られることは既に知られている。FUKUSHIMA and MEGURO (1966) はこれを表面型プランクトン氷と呼んだ。しかし、現在までこの着色氷の形成過程についての観察結果

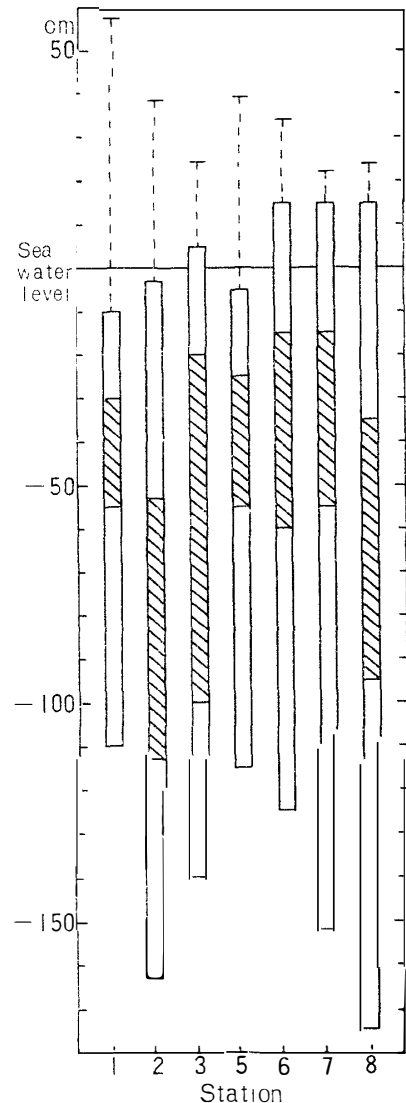


図7 着色層の分布
着色層は斜線で、積雪量はたての破線で示してある。

Fig. 7. Horizontal distribution and vertical situation of the coloured layer, which is shown by oblique lines. Snow accumulation is shown by the vertical broken line

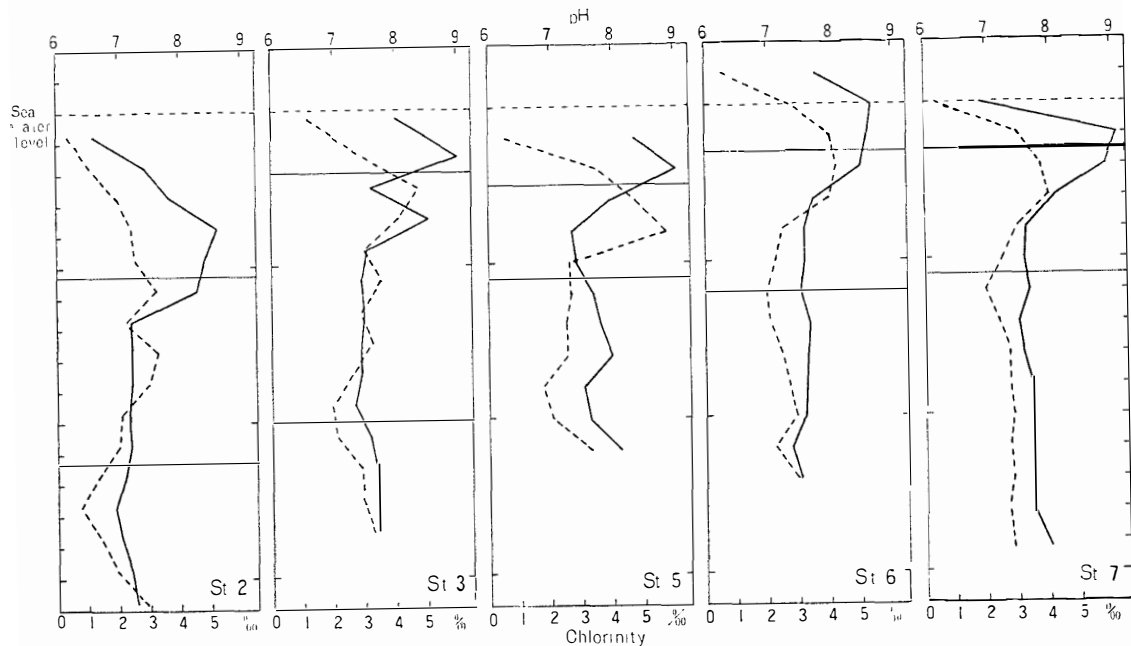


図 8 海水中の塩素量とpHの垂直分布
破線——塩素量；実線——pH. 着色層の範囲はそれぞれ横線で示してある。
Fig 8. Vertical distribution of chlorinity and pH in the sea ice. Broken line is chlorinity, and solid line is pH. Vertical range of the coloured layer is shown by the horizontal lines.

は報告されていない。MEGURO (1962) は、“プランクトン氷”は、雪と海氷との境界に海水が浸入し、春、太陽光の増加とともにそこで藻類が繁殖することによって形成されるものであろうと推論した。一方、HOSHIAI and KATÔ (1962) は、日本の池で、淡水産 *Chlamydomonas* が結氷時に生きたまま氷の中にとり込まれるのを観察した。この点で“表面型プランクトン氷”と似た位置に、すでに述べたような経過で着色層が形成されるという事実は興味深い。しかし、着色層形成の初期の過程の詳細については、観察を行なえなかった。着色層の海氷表面からの位置と着色層の厚さが場所によって異なっているにもかかわらず、塩素量と pH とを指標として見た場合、着色層は固有な性格をもっている。いろいろな厚さの氷の下端で、ある定まった条件の下に着色層が形成されたものと考えられる。結氷期前後の海氷と海水の状態ならびに植物相を詳細に調査する必要がある。

ところで、昭和基地で見られた着色層の水平的な広がりがあまり大きくないことを考えると、プリンス・オラフ海岸沖で、かなり広範囲にわたって認められる“表面型プランクトン氷”が、ここで述べたと同じ経過で形成されたものであるかどうかは問題である。この点を解決するためには、更に広汎な調査を行なう必要があると思われる。

12月24日に観察されたような海氷の底の着色層は、昭和基地周辺およびオングル海峡に広

く認められた。春から夏にかけて、顕著な着色の層が現われるが、層の厚さ、出現・消失の時期は場所によってかなり異なる。これは、FUKUSHIMA and MEGURO(1960)の“底型プランクトン氷”に相当するものと思われ、マクマートサウント(BUNT and WOOD, 1963)、北氷洋 (APPORONIO, 1961) からも報告されており、両極海に広く分布するものと考えられる。

12月24日、定点付近には二つの着色層が存在したことになる。STLYAERT (1964) は、ヘルキー隊 (1960年—1961年) が海氷面付近と底とに着色層をもつパックアイスを見たと述べた。表面付近の着色層の色が緑色である点が昭和基地のものと異なるが、注目すべき事実である。

着色層の中で藻類がどのような生活を営むかは興味ある問題である。着色層中のクロロフィル a の濃度は着色層形成直後にいったん増加し、やがて減少する。また、一つの氷柱に含まれるクロロフィル a の全量も着色層形成の直後に増加している。これらのことから、着色層形成の直後に氷の結晶の間で、藻類の増殖が起こったのではないかと考えられる。更に、12月1日の試料でクロロフィル a の全量が増加していることも、藻類の生活を考える上で見逃せない現象の一つであろう。

10月から着色層のpH値がしょしょに高くなり、12月には極めて高い値を示すようになった。着色層中の藻類が光合成を行なった結果であろうと考えられる。

しかし、これらはいずれも推論の域を出ないことであって、着色層中の藻類の生活状態を知るためには、更に実験的な研究を重ねることが必要である。そして、氷の中での藻類の生活状態を明らかにすることは、極海の一次生産の担い手としての着色層中の藻類の役割を明らかにする上で重要な事柄だと考えられる。

4. 要 約

1967年3月から1968年1月まで、昭和基地で海氷中の着色層の調査を行ない、次の結果を得た。

1 3月、新成氷の厚さが20~30cmになったとき、その底に着色層が形成された。その後氷の成長につれて、着色層の下に無色の層が形成され、二つの無色の層にはさまれて着色層は翌年一月まで存続した。

2 着色層の厚さは最初 2cm ほどであったが、次第に厚みを増し、5月には 20cm になった。しかし、季節が進むにつれて、着色の程度は減少した。着色層のクロロフィル a の

濃度は、無色部分に比べて高かった。着色層形成直後、クロロフィル a の量はいったん増加し、やがて次第に減少した。夏には、クロロフィル a 量は激減した。

3. 着色層の水平的な広がりあまり大きくなく、50m×150mであった。
4. 着色層の形成される位置、着色層の厚さは場所によって異なっていた。しかし、一般に、着色層あるいはその近くで、塩素量とpHとは高い値を示し、かつ急激に減少する。
5. 着色層の塩素量の季節変動は、無色の部分に比べて大きく、10月から12月まで高い値を示した。
6. 着色層のpHの季節変動も無色層に比較して大きく、12月下旬から1月上旬にかけて極めて高い値を示した。
7. 12月下旬、海氷底部に別の着色層が形成され、1月上旬までに消失した。このとき底部の塩素量とpHとは増加した。

謝 辞

第8次越冬隊の鳥居鉄也隊長をはじめ、調査に協力して下さった隊員各位に感謝の意を表す。特に、北海道大学低温科学研究所の石田完助教授からは種々ご教示・ご援助をいただき、氷厚測定資料の一部を使用させていただいた。また、定点の位置測量には、広島大学地理学教室の吉田栄夫助教授のお手をわすらわした。記して感謝する次第である。

東北大学生物学教室の加藤陸奥雄教授、国立科学博物館の松田達郎博士には原稿を読んでいただきご教示を受けた。厚くお礼申しあげる。

文 献

- APOLLONIO, S (1961) The chlorophyll content of Arctic sea-ice *Arctic*, **14**, 197-199.
- APOLLONIO, S (1965) Chlorophyll in Arctic sea ice *Arctic*, **18**, 118-122.
- BUNT, J S (1963) Diatoms of Antarctic sea-ice as agents of primary production. *Nature*, **199**, 1255-1257.
- BUNT, J S. (1964) Primary productivity under sea ice in Antarctic waters 1. Concentration and photosynthetic activities of microalgae in the waters of McMurdo Sound, Antarctica. *Antarctic Res. Ser.*, **1**, 13-26
- BUNT, J S and E J F WOOD (1963) Microalgae and Antarctic sea-ice *Nature*, **199**, 1254-1255
- FUKUSHIMA, H and H. MEGURO (1966) The plankton ice as basic factor of the primary production in the Antarctic ocean. *Antarctic Rec.*, **27**, 99-101.

- HOSHIAI, T. and M. KATÔ (1962) Ecological notes on the diatom community of the sea ice in Antarctica. *Bull. Mar Biol. Stn. Asamushi*, **10**, 221-230.
- MEGURO, H. (1962) Plankton ice in the Antarctic Ocean. *Antarctic Rec.*, **14**, 72-79.
- 目黒 熙・伊藤邦幸・福島 博 (1967) 北氷洋における底型プランクトン氷——北氷洋の一次生産の基本構造としての海氷中の微細藻類の増殖について—— *南極資料*, **28**, 33-47.
- STEYAERT, A. (1964) Comment in the discussion of "Biology and productivity of plankton organisms" *Antarctic Biology*, ed by R. Carrick, M. Holdgate and J. Prévost, Hermann, Paris, 340.

(1968年12月18日受理)