

浦の内湾および野見湾におけるビタミンB₁₂, チアミン, およびビオチンの分布

西 島 敏 隆・畑 幸 彦

(農学部水族環境学研究室)

Distribution of Vitamin B₁₂, Thiamine, and Biotin in the Water of Uranouchi and Nomi Inlets

Toshitaka NISHIJIMA and Yoshihiko HATA

Laboratory of Science of Aquatic Environments, Faculty of Agriculture.

Abstract: Concentrations of dissolved vitamin B₁₂, thiamine, and biotin in the water of fish farms, Uranouchi and Nomi Inlets, were determined by microbiological assay methods. Also the relations between the distribution of B group vitamins and other environmental factors were studied. Vitamin B₁₂ was assayed with *Euglena gracilis* strain z, thiamine with *Cryptococcus albidus*, and biotin with *Achromobacter* sp. strain yH-51.

It was found that the concentrations of B group vitamins in the water of both inlets were fairly high: vitamin B₁₂ u-9.36 ng/l, thiamine u-1,062 ng/l, and biotin 1.6-35.7 ng/l in Uranouchi Inlet; vitamin B₁₂ u-9.76 ng/l, thiamine u-504.0 ng/l, and biotin u-16.0 ng/l in Nomi Inlet. The concentration of each B group vitamin was highest in summer and lowest in winter. In the water of Uranouchi Inlet during summer and autumn, and in Nomi Inlet during summer, each B group vitamin occurred at a high level, far above the concentration necessary for sufficient phytoplankton development.

The concentrations of thiamine and biotin, but not vitamin B₁₂, correlated positively with the abundances of both phytoplankton and aerobic heterotrophic bacteria. It is suggested that the variation in the concentration of these vitamins in the water may be connected with the growth of both phytoplankton and bacteria.

緒 言

多くの植物プランクトンは、無機物の他に補助的な生長因子として微量のビタミン類を要求することが知られている。研究されたかぎりでは、植物プランクトンによって要求されるビタミンは水溶性のB群に属するビタミンB₁₂, チアミン, およびビオチンの3種に限られ、プランクトンの種類に応じて単独かまたはその組み合わせで要求されること、沿岸性赤潮プランクトンとして重要なミドリムシ、褐色鞭毛藻、渦鞭毛藻、および黄色鞭毛藻の大部分はこれらビタミンの要求種であることなどが知られている¹⁻³⁾。したがって海洋におけるビタミン類の消長は、植物プランクトンの増殖、分布、遷移や赤潮現象などと密接に関連して海洋の生物生産に重大な影響を与えていると考えられ、近年ビタミン類の生態学的役割に多くの注目が寄せられている。

高知県下の浦の内湾および野見湾は、波浪の影響を受けにくい内湾であり、湾内では以前から真珠やハマチの養殖が行われてきた。しかし近年、養殖に伴う累積的な水質汚染が進行し、夏季を中心に赤潮が頻発して、しばしば大きな漁業被害をもたらしている。

この報告は赤潮発生と密接に関連していると考えられるビタミンB₁₂, チアミン, およびビオチンについて、浦の内湾および野見湾の海水中における分布とその消長を調査し、他の環境要因および赤潮発生との関連について検討したものである。

実験方法

- ・ 調査水域の概況 浦の内湾は土佐湾のほぼ中央部に位置する細長い峡湾で、湾内には多くの枝湾が発達し、湾口部から湾奥部までの海上距離約 12 km、幅約 0.5~1.5 km である (Fig. 1)。漂砂の堆積の結果、湾口部が非常に浅く (3~5 m)、湾中央部が最も深く (16~20 m)、湾中央から湾奥に向って再び浅くなっている (8~10 m)。このような湾の形状によって潮汐流による海水交換が悪く、大潮時には湾中央部まで外洋水の流入がみられるが湾奥部には全く到達しない⁴⁾。また、この湾は問題となるほどの流量を有する流入河川をもたない。

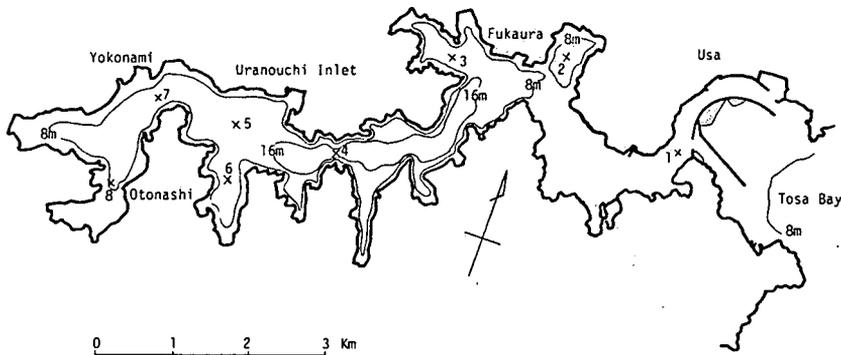


Fig. 1. Location of sampling stations in Uranouchi Inlet.

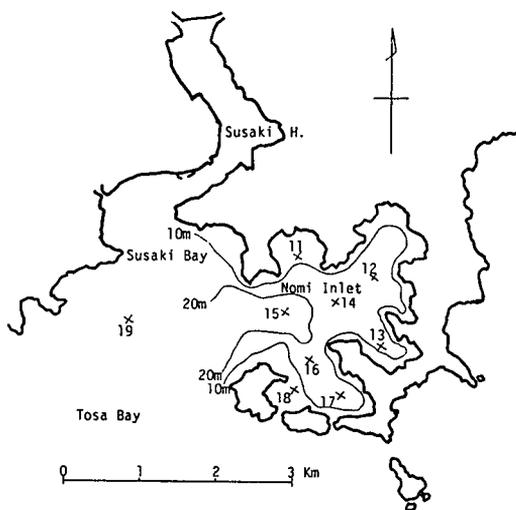


Fig. 2. Location of sampling stations in Nomi Inlet.

野見湾は土佐湾中央部、浦の内湾から山を隔てて西方に位置し、湾口部の幅約 1 km、湾口部から湾奥部までの距離約 2.5 km で、湾内にはいくつかの枝湾が発達している (Fig. 2)。湾口部が深く (約 25 m)、かつ比較的広いため潮汐流による海水交換は良好である。また、この湾は特筆すべき流入河川をもたない。

浦の内湾では湾中央部において、また野見湾では湾中央部と湾奥部において真珠およびハマチの養殖が行われてきた。両湾における真珠養殖は 1955 年頃に始められ、1967 年頃まで大規模に行われていた。ハマチを中心とした魚類養殖は 1959 年頃から始められたが、1967 年以降は真珠養殖にかわり飛躍的に増加して現在に至っている⁵⁾。

試料の採取 調査は、浦の内湾において 1972 年 7 月、9 月、11 月、1973 年 1 月および 3 月に実施され、野見湾において 1972 年 7 月、11 月および 1973 年 2 月に実施された。海水試料は、Fig. 1 および 2 に示した各地点において北原式採水器によって採取し、氷冷して実験室へ持ち帰りすみやかに処理した。

クロロフィル *a* の定量 海水試料をグラスファイバー濾紙 (Hurlbut Paper Co. 製 984H) で濾過し、濾紙を乳鉢で 90% アセトンとともにすりつぶしてクロロフィル *a* を抽出し、遠心分離後上澄液を比色して SCOR-UNESCO 作業委員会の計算式⁶⁾ によりクロロフィル *a* 量を算出した。な

お、比色には日立製 139 型分光光度計を用いた。

好気性従属栄養細菌の計数 ZoBell の 2216 E 一多賀・関改良培地⁷⁾ を用い、MPN法により計数した。培養は 22°C で 2 週間行い、増殖の有無は培地の混濁により判定した。

ビタミンの定量 海水試料を HA ミリポアフィルター (孔径: 0.45 μ) で濾過し、その濾液について定量した。濾液は分析直前まで -20°C に凍結保存した。ビタミンの定量は微生物定量法により実施し、ビタミン B₁₂には *Euglena gracilis* Z 株⁸⁾, チアミンには *Cryptococcus albidus*⁹⁾, ビオチンには *Achromobacter* sp. yH-51 株¹⁰⁾ の各菌株を用いた。

結 果

浦の内湾および野見湾の水質分析の結果をそれぞれ Table 1 および 2 に示した。また、この結果より計算された各調査時および各深度におけるビタミンならびにクロロフィル a 含量の平均値とその 95% 信頼区間を Table 3 および 4 に掲げた。さらに、両湾における各ビタミン含量とクロロフィル a 含量、および好気性従属栄養細菌との間の相関係数を、それぞれ Table 5 および 6 に示した。

Table 1. Concentrations of B group vitamins and environmental factors in the water of Uranouchi Inlet

| Date | St. | Total depth of water m | Transparency m | Sampling depth m | Temp. °C | Chloro. a $\mu\text{g/l}$ | Aerobic heterotrophs cells/ml | Vitamin B ₁₂ ng/l | Thiamine ng/l | Biotin ng/l |
|---------------|------|------------------------|----------------|------------------|----------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|-------------|
| July 3, 1972 | 1 | 5.0 | 4.5 | 0 | 24.2 | 1.69 | 2.2×10^4 | 6.84 | 4.0 | 2.5 |
| | | | | 4.5 | 23.8 | 1.92 | 2.3×10^3 | 4.16 | 21.3 | 2.4 |
| | 2 | 11.0 | 3.7 | 0 | 25.3 | 5.18 | 5.4×10^4 | 7.92 | 275.9 | 8.0 |
| | | | | 10.5 | 24.2 | 2.20 | 5.4×10^4 | 7.28 | 44.6 | 5.7 |
| | 3 | 14.0 | 3.4 | 0 | 25.1 | 7.69 | 3.5×10^4 | 8.16 | 162.8 | 8.0 |
| | | | | 13.5 | 22.9 | 1.08 | 5.4×10^4 | 7.48 | 46.6 | 13.6 |
| | 4 | 21.0 | 1.5 | 0 | 26.9 | 9.30 | 1.6×10^5 | 9.04 | 207.0 | 7.4 |
| | | | | 20.7 | 22.5 | 1.76 | 5.4×10^4 | 7.88 | 43.2 | 16.5 |
| 5 | 16.5 | 1.5 | 0 | 27.8 | 51.50 | 1.6×10^5 | 9.36 | 302.2 | 10.0 | |
| | | | 16.0 | 22.9 | 2.91 | 1.6×10^5 | 8.24 | 53.2 | 14.3 | |
| 6 | 12.5 | 2.5 | 0 | 27.4 | 2.91 | 9.2×10^4 | 8.92 | 10.4 | 8.5 | |
| | | | 12.0 | 23.4 | 1.49 | 1.7×10^4 | 7.44 | 63.0 | 11.8 | |
| 7 | 13.0 | 1.5 | 0 | 28.0 | 6.17 | 1.6×10^5 | 7.16 | 305.2 | 8.9 | |
| | | | 12.5 | 23.6 | 1.10 | 2.2×10^4 | 8.68 | 41.6 | 13.5 | |
| 8 | 10.0 | 1.5 | 0 | 29.0 | 12.52 | 1.6×10^5 | 7.48 | 367.8 | 23.5 | |
| | | | 9.5 | 23.7 | 1.66 | 9.2×10^4 | 4.08 | 20.4 | 14.5 | |
| Sep. 11, 1972 | 1 | 6.5 | 2.0 | 0 | 27.3 | 0.85 | 9.3×10^3 | 5.48 | 32.4 | 4.0 |
| | | | | 6.0 | 27.2 | 1.01 | 9.3×10^3 | 5.52 | 49.6 | 4.3 |
| | 2 | 11.5 | 3.5 | 0 | 28.0 | 2.18 | 9.3×10^3 | 6.84 | 55.6 | 8.7 |
| | | | | 11.0 | 27.8 | 1.97 | 1.1×10^5 | 7.32 | 76.6 | 15.7 |
| | 3 | 14.0 | 2.5 | 0 | 28.4 | 2.47 | 2.4×10^6 | 4.60 | 89.6 | 9.3 |
| | | | | 13.8 | 27.8 | 1.98 | 9.3×10^3 | 7.80 | 68.4 | 26.7 |
| | 4 | 21.0 | 1.0 | 0 | 28.7 | 35.10 | 2.4×10^6 | 7.32 | 612.2 | 21.0 |
| | | | | 20.3 | 27.8 | 2.84 | 2.4×10^6 | 1.68 | 262.6 | 25.3 |
| 5 | 16.5 | 1.5 | 0 | 28.4 | 42.70 | 4.3×10^4 | 2.00 | 612.6 | 26.0 | |
| | | | 16.0 | 27.8 | 3.43 | 4.3×10^4 | 1.88 | 153.4 | 29.7 | |
| 6 | 13.5 | 1.5 | 0 | 27.9 | 48.00 | 2.1×10^4 | 5.64 | 1062.2 | 18.5 | |
| | | | 13.0 | 27.9 | 8.30 | 9.3×10^3 | 5.36 | 160.8 | 27.5 | |
| 7 | 13.5 | 1.3 | 0 | 28.3 | 53.40 | 4.6×10^5 | 0.16 | 658.4 | 14.7 | |
| | | | 13.0 | 27.7 | 7.52 | 2.1×10^5 | 3.32 | 192.4 | 16.8 | |
| 8 | 10.0 | 1.5 | 0 | 28.5 | 44.20 | 4.3×10^4 | 4.52 | 715.6 | 19.0 | |
| | | | 9.5 | 28.2 | 14.10 | 2.4×10^5 | 5.00 | 376.0 | 35.7 | |

Table 1. (Continued)

| Date | St. | Total depth of water m | Trans- parency m | Sampling depth m | Temp. °C | Chloro. a µg/l | Aerobic hetero- trophs cells/ml | Vitamin B ₁₂ ng/l | Thiamine ng/l | Biotin ng/l |
|---------------------|-----|---------------------------|------------------------|------------------------|--------------|----------------------|---|------------------------------------|------------------|----------------|
| Nov. 8, 1972 | 1 | 6.5 | 5.0 | (0 6.0) | 20.2 20.8 | 0.87 0.08 | 2.4×10 ⁴ 4.3×10 ³ | 6.36 5.96 | 6.0 u* | 5.2 6.5 |
| | 2 | 11.0 | 4.5 | (0 10.0) | 20.1 21.0 | 1.12 1.16 | 9.3×10 ³ 9.3×10 ³ | 7.92 5.72 | 171.5 25.8 | 31.0 6.5 |
| | 3 | 14.0 | 4.0 | (0 13.7) | 19.7 20.9 | 1.13 2.79 | 9.3×10 ³ 7.0×10 ² | 5.44 8.72 | 115.9 27.2 | 10.2 3.5 |
| | 4 | 21.0 | 1.5 | (0 20.0) | 18.7 21.6 | 95.61 10.95 | 7.51×10 ³ 2.3×10 ³ | 8.36 7.60 | 204.6 153.6 | 6.5 13.0 |
| | 5 | 16.5 | 5.5 | (0 15.9) | 19.7 21.6 | 1.21 0.92 | 1.5×10 ⁴ 3.9×10 ⁴ | 6.88 8.92 | 109.3 140.4 | 9.5 7.7 |
| | 6 | 13.5 | 5.5 | (0 13.2) | 17.0 21.9 | 1.53 1.97 | 9.3×10 ³ 2.3×10 ³ | 8.60 5.92 | 117.9 66.9 | 16.0 22.5 |
| | 7 | 13.0 | 1.0 | (0 12.1) | 19.2 21.6 | 58.40 4.94 | 4.3×10 ³ 2.3×10 ³ | 6.36 6.64 | 288.1 137.7 | 13.7 21.3 |
| | 8 | 10.0 | 4.5 | (0 9.1) | 19.4 21.9 | 1.67 3.52 | 2.1×10 ⁴ 3.9×10 ⁴ | 7.08 6.96 | 179.5 — | 17.0 35.5 |
| Jan. 12, 1973 | 1 | 6.0 | 5.8 | (0 5.8) | 14.3 16.2 | u* u* | 4.3×10 ³ 2.4×10 ⁴ | 2.12 2.36 | u* u* | 1.6 1.6 |
| | 2 | 11.0 | 7.0 | (0 10.2) | 13.8 14.1 | u* 0.64 | 4.6×10 ⁴ 2.1×10 ⁴ | u* 4.28 | u* u* | 3.5 3.8 |
| | 3 | 14.0 | 6.5 | (0 13.1) | 13.5 14.6 | 1.14 0.55 | 2.3×10 ³ 2.4×10 ⁴ | 1.04 2.12 | u* u* | 4.3 2.8 |
| | 4 | 21.0 | 6.5 | (0 20.3) | 12.2 13.8 | 3.81 2.75 | 2.4×10 ⁴ 2.3×10 ³ | 3.12 2.80 | 8.9 90.3 | 7.4 6.4 |
| | 5 | 16.5 | 5.5 | (0 16.1) | 12.2 13.4 | 2.68 1.80 | 9.3×10 ³ 1.1×10 ⁵ | 6.60 6.12 | 131.7 102.8 | 4.2 7.0 |
| | 6 | 13.0 | 5.0 | (0 12.7) | 11.5 12.9 | 3.90 2.48 | 9.3×10 ³ 4.3×10 ³ | 5.88 3.88 | 153.1 112.4 | 8.1 6.3 |
| | 7 | 13.0 | 4.5 | (0 12.7) | 11.0 13.0 | 3.14 1.42 | 4.6×10 ⁴ 9.3×10 ³ | 4.56 3.16 | 270.3 110.3 | 6.7 9.5 |
| | 8 | 10.0 | 3.5 | (0 9.7) | 11.4 12.7 | 8.13 6.27 | 9.3×10 ³ 7.5×10 ³ | 4.68 1.00 | 226.2 137.2 | 6.7 8.4 |
| Mar. 29, 1973 | 1 | 5.5 | 6.0 | (0 4.9) | 16.9 16.4 | — — | 9.3×10 ⁴ 4.3×10 ³ | 4.44 5.64 | u* u* | 5.5 5.5 |
| | 2 | 10.5 | 6.0 | (0 10.1) | 17.0 15.6 | — — | 9.3×10 ⁴ 2.4×10 ⁴ | 9.12 7.40 | 5.7 16.0 | 6.0 6.3 |
| | 3 | 13.5 | 6.5 | (0 12.9) | 16.4 15.4 | — — | 9.3×10 ³ 7.5×10 ³ | 7.96 6.96 | 23.4 26.3 | 6.8 5.5 |
| | 4 | 21.0 | 5.5 | (0 20.2) | 16.0 15.2 | — — | 4.3×10 ³ 9.3×10 ³ | 6.56 7.20 | 8.0 14.9 | 6.8 5.3 |
| | 5 | 16.5 | 5.5 | (0 16.0) | 15.7 15.3 | — — | 9.3×10 ³ 4.3×10 ⁴ | 6.28 4.20 | 20.0 8.0 | 7.1 6.0 |
| | 6 | 13.5 | 5.0 | (0 13.0) | 15.6 15.0 | — — | 9.3×10 ³ 2.4×10 ⁴ | 3.72 5.84 | 5.1 14.3 | 8.0 6.3 |
| | 7 | 13.0 | 4.0 | (0 12.1) | 16.0 15.4 | — — | 4.3×10 ³ 1.5×10 ⁴ | 6.04 5.20 | 10.3 8.6 | 8.0 6.3 |
| | 8 | 10.0 | 4.5 | (0 9.0) | 15.5 14.9 | — — | 2.3×10 ³ 4.3×10 ⁴ | 2.36 u* | 13.1 23.4 | 8.5 7.3 |

* u represents the undetectable amount.

Table 2. Concentrations of B group vitamins and environmental factors in the water of Nomi Inlet

| Date | St. | Total depth of water m | Trans- parency m | Sampling depth m | Temp. °C | Chloro. a μg/l | Aerobic hetero- trophs cells/ml | Vitamin B ₁₂ ng/l | Thiamine ng/l | Biotin ng/l |
|---------------------|------|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------|----------------|
| July 31, 1972 | 11 | 14.5 | 2.3 | (0 | 28.5 | 3.49 | 9.3×10 ⁴ | 2.80 | 248.4 | 6.5 |
| | | | | 14.0 | 25.6 | 1.80 | 4.3×10 ³ | 2.80 | 1.8 | 2.7 |
| | 12 | 18.5 | 3.2 | (0 | 27.3 | 5.92 | 9.3×10 ⁴ | 2.60 | 336.4 | 8.3 |
| | | | | 18.1 | 25.4 | 1.14 | 7.0×10 ³ | 4.64 | 17.8 | 3.2 |
| | 13 | 15.5 | 2.2 | (0 | 27.9 | 4.59 | 4.3×10 ³ | 6.96 | 17.0 | — |
| | | | | 15.1 | 25.5 | 1.72 | 7.0×10 ³ | 9.56 | 28.2 | 3.5 |
| | 14 | 19.5 | 2.1 | (0 | 28.4 | 5.96 | 2.4×10 ⁴ | 8.92 | 504.0 | 6.6 |
| | | | | 19.0 | 25.5 | 0.70 | 4.3×10 ³ | 6.72 | u* | — |
| | 15 | 25.5 | 2.1 | (0 | 28.4 | 6.15 | 1.1×10 ⁶ | 9.68 | 232.0 | — |
| 25.0 | | | | 25.4 | 0.27 | 7.0×10 ² | 9.76 | u* | 2.0 | |
| 16 | 18.5 | 2.8 | (0 | 27.9 | 4.01 | 4.3×10 ³ | 6.24 | 353.8 | 7.1 | |
| | | | 18.1 | 25.5 | 0.60 | 3.0×10 ² | 8.84 | u* | 2.4 | |
| 17 | 15.5 | 2.1 | (0 | 27.8 | 6.87 | 4.3×10 ⁴ | 5.04 | 97.8 | 7.5 | |
| | | | 15.1 | 26.3 | 0.92 | 9.3×10 ³ | 7.56 | 30.6 | 3.8 | |
| 18 | 9.5 | 2.7 | (0 | 28.1 | 5.19 | 4.3×10 ⁴ | 8.12 | 438.6 | 7.5 | |
| | | | 8.9 | 25.8 | 1.55 | 2.3×10 ³ | 4.32 | u* | 4.0 | |
| 19 | 26.0 | 5.5 | (0 | 28.1 | 1.82 | 9.3×10 ³ | 8.36 | — | 6.7 | |
| | | | 25.5 | 25.5 | 1.09 | 9.0×10 ² | 7.12 | — | 3.8 | |
| Nov. 13, 1972 | 11 | 15.5 | 3.5 | (0 | 21.1 | 6.41 | 2.4×10 ⁴ | 8.88 | 40.9 | 5.5 |
| | | | | 15.0 | 21.0 | 7.10 | 9.3×10 ⁴ | 8.44 | 44.2 | 5.3 |
| | 12 | 17.5 | 5.5 | (0 | 21.0 | 6.52 | 4.3×10 ⁴ | 9.60 | 56.7 | 5.3 |
| | | | | 17.0 | 21.0 | 9.93 | 9.3×10 ⁴ | u* | 72.5 | 6.5 |
| | 13 | 14.5 | 5.5 | (0 | 21.2 | 6.25 | 4.3×10 ⁴ | 4.44 | 41.7 | 3.8 |
| | | | | 14.0 | 20.8 | 4.38 | 4.3×10 ⁴ | u* | 47.5 | 8.8 |
| | 14 | 19.5 | 5.5 | (0 | 21.0 | 6.48 | 2.4×10 ⁴ | 4.20 | 62.5 | 4.6 |
| | | | | 19.0 | 21.0 | 7.67 | 4.3×10 ⁴ | 7.60 | 65.8 | 16.0 |
| | 15 | 25.5 | 4.5 | (0 | 20.7 | 5.06 | 4.3×10 ⁴ | 1.16 | 9.2 | 2.9 |
| 25.0 | | | | 21.4 | 3.30 | 9.3×10 ⁴ | 3.48 | u* | 7.2 | |
| 16 | 16.5 | 4.5 | (0 | 20.5 | 4.27 | 4.6×10 ⁵ | 2.24 | 29.2 | 3.4 | |
| | | | 16.0 | 21.2 | 5.75 | 4.3×10 ⁴ | 1.28 | 31.7 | 9.6 | |
| 17 | 15.0 | 5.5 | (0 | 20.9 | 5.79 | 4.3×10 ⁴ | 3.44 | 61.6 | 4.0 | |
| | | | 14.5 | 21.0 | 6.66 | 4.3×10 ⁴ | 1.92 | 42.5 | 3.8 | |
| 18 | 9.5 | — | (0 | — | 3.39 | 2.4×10 ⁴ | 4.32 | 59.2 | 3.0 | |
| | | | 9.0 | — | 5.17 | 2.4×10 ⁴ | 4.84 | 64.2 | 7.7 | |
| 19 | 25.0 | 5.5 | (0 | 21.4 | 5.01 | 4.3×10 ³ | 1.16 | 62.5 | 3.7 | |
| | | | 24.5 | 20.8 | 4.89 | 1.5×10 ⁴ | 2.16 | 31.7 | 2.8 | |
| Feb. 12, 1973 | 11 | 15.5 | 8.5 | (0 | 16.2 | 3.25 | 9.3×10 ³ | 4.28 | 26.0 | 1.7 |
| | | | | 15.1 | 15.9 | 2.13 | 2.3×10 ³ | 4.56 | 36.2 | 2.3 |
| | 12 | 18.5 | 6.5 | (0 | 16.2 | 2.38 | 2.4×10 ⁴ | 4.08 | 22.9 | 1.9 |
| | | | | 18.0 | 15.9 | 3.30 | 2.4×10 ⁴ | 3.04 | 33.0 | 3.7 |
| | 13 | 14.5 | 9.0 | (0 | 16.2 | 1.69 | 4.3×10 ³ | 3.16 | 30.5 | 3.8 |
| | | | | 14.0 | 16.1 | 1.83 | 2.3×10 ³ | 6.04 | 34.3 | 2.9 |
| | 14 | 20.0 | 7.5 | (0 | 16.3 | 2.37 | 9.3×10 ³ | 2.88 | 29.9 | 3.1 |
| | | | | 19.3 | 16.0 | 3.48 | 4.3×10 ³ | 2.96 | 43.2 | 2.8 |
| | 15 | 24.5 | 10.5 | (0 | 16.6 | 1.75 | 2.3×10 ³ | 1.56 | 28.6 | u* |
| 24.0 | | | | 16.2 | 2.40 | 4.3×10 ³ | 4.88 | 36.2 | 0.4 | |
| 16 | 15.5 | 10.0 | (0 | 16.2 | 1.51 | 9.0×10 ² | 2.88 | 48.9 | 0.4 | |
| | | | 15.0 | 16.2 | 1.59 | 9.0×10 ² | 4.20 | 42.5 | 0.8 | |
| 17 | 16.5 | 10.5 | (0 | 16.2 | 1.93 | 4.3×10 ³ | 1.00 | 33.0 | 0.3 | |
| | | | 16.0 | 16.1 | 2.30 | 9.3×10 ³ | — | 47.6 | — | |
| 18 | 9.5 | 9.2< | (0 | 16.5 | u* | 1.5×10 ³ | 2.88 | 31.1 | 0.3 | |
| | | | 9.2 | 16.4 | u* | 2.3×10 ³ | 3.24 | 50.2 | 0.3 | |
| 19 | 26.0 | 9.5 | (0 | 16.3 | 2.02 | 1.5×10 ⁴ | 3.32 | 54.0 | 1.8 | |
| | | | 25.5 | 16.4 | 3.39 | 9.3×10 ³ | 5.36 | 63.5 | 1.0 | |

* u represents the undetectable amount.

浦の内湾および野見湾の水温、透明度、クロロフィル *a* 含量および好気性従属栄養細菌数 浦の内湾および野見湾の水温はそれぞれ 11.0~29.0°C, および 15.9~28.5°C であり、水温の年較差はそれぞれ 18.0°C および 12.6°C で、野見湾より浦の内湾で大きかった。浦の内湾では夏季に明瞭な成層の形成がみられ、湾中央部および湾奥部において表層水と底層水の水温差が 4~5°C に達した。また、浦の内湾の夏季の表層水温は湾口部から湾奥部に向かって顕著に上昇し、その差は 4.8°C であった。一方、野見湾では夏季の成層形成が浦の内湾ほど顕著でなく、表層水と底層水の水温差も 2~3°C 程度であった。また、野見湾では海水交換が良好であるため、水温の高い外洋水の流入によって冬季でも全層で 15°C 以上であった。

透明度は浦の内湾で 1.0~7.0 m, 野見湾で 2.1~10.5 m であり、全般に浦の内湾より野見湾で高く、また、いずれも夏季より冬季の方が高かった。浦の内湾の湾中央部および湾奥部において、7月、9月、11月の各調査時にそれぞれ *Gymnodinium* sp., *Skeletonema costatum* および *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum* sp. および *Gymnodinium* sp. を優占種とする赤潮の発生が認められたが、この時の透明度は 1.0~1.5 m と極めて低かった。野見湾では、調査時には赤潮の発生が認められなかったが、7月には湾中央部付近で透明度が 2.1 m に低下した。

浦の内湾のクロロフィル *a* 含量は U*~95.61 $\mu\text{g/l}$ の範囲にあり、Table 3 に示したように夏季と秋季に高く、冬季にはいくぶん減少した。しかし、外洋水の流入する湾口部を除いて各地点のクロロフィル *a* 含量は全般に高く、とくに夏季および秋季の赤潮発生時には表層水で 35 $\mu\text{g/l}$ 以上の高い値が数多く得られた。また、海水の停滞した湾奥部では、冬季でもなおかなり高いクロロフィル *a* 含量が維持された。

Table 3. Seasonal variation in the concentration of vitamins and chlorophyll *a* in the water of Uranouchi Inlet

| Date | Layer | Vitamin B ₁₂ (ng/l) | | Thiamine (ng/l) | | Biotin (ng/l) | | Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$) | |
|------------------|---------|-----------------------------------|-----------|--------------------|-----------|------------------|-----------|---|-----------|
| | | Mean | Range* | Mean | Range* | Mean | Range* | Mean | Range* |
| July 3, 1972 | Surface | 8.11 | 7.33-8.89 | 204 | 90.0-318 | 9.6 | 5.2-14.0 | 12.1 | u** -25.7 |
| | Bottom | 6.91 | 5.42-8.40 | 41.7 | 29.5-53.9 | 11.5 | 7.4-15.6 | 1.77 | 1.26-2.28 |
| Sep. 11, 1972 | Surface | 4.57 | 2.56-6.95 | 480 | 165-795 | 15.2 | 9.1-21.3 | 28.6 | 9.60-47.6 |
| | Bottom | 4.73 | 2.82-6.64 | 167 | 75.0-259 | 22.7 | 14.4-31.0 | 5.14 | 1.38-8.90 |
| Nov. 8, 1972 | Surface | 7.13 | 6.21-8.05 | 150 | 81.0-219 | 13.6 | 6.8-20.4 | 20.2 | u** -50.7 |
| | Bottom | 7.06 | 6.01-8.11 | 78.8 | 19.4-138 | 14.6 | 5.4-23.8 | 3.38 | 0.56-6.20 |
| Jan. 12, 1973 | Surface | 3.50 | 1.55-5.45 | 98.7 | 5.5-192 | 5.3 | 3.4-7.2 | 2.85 | 0.63-5.07 |
| | Bottom | 3.22 | 1.92-4.52 | 69.0 | 20.0-118 | 5.7 | 3.4-8.0 | 1.99 | 0.34-3.64 |
| Mar. 29, 1973 | Surface | 5.81 | 3.95-7.67 | 10.7 | 4.1-17.3 | 7.1 | 6.2-8.0 | — | — |
| | Bottom | 5.31 | 3.30-7.32 | 13.9 | 6.8-21.0 | 6.1 | 5.6-6.6 | — | — |

* Range represents the 95% confidence intervals.

** u represents undetectable amounts.

野見湾のクロロフィル *a* 含量は U~9.93 $\mu\text{g/l}$ の範囲にあり、浦の内湾の含量ほど大きく変動することはなかったが、夏季および秋季に高く、冬季にはいくぶん減少した。また、野見湾では地点による含量の変動も浦の内湾ほど顕著ではなく、外洋水の影響を直接受ける湾外の地点 (St. 19) でも、なお湾内の他の地点の含量とほぼ同じ程度であった。

両湾の好気性従属栄養細菌数はいずれも $10^2 \sim 10^6$ cells/ml の範囲であり、概して夏季に多く、冬季に減少する傾向がみられた。

* 検出限界以下の含量であることを示す。以下同じ。

Table 4. Seasonal variation in the concentration of vitamins and chlorophyll a in the water of Nomi Inlet

| Date | Layer | Vitamin B ₁₂ (ng/l) | | Thiamine (ng/l) | | Biotin (ng/l) | | Chlorophyll a (μg/l) | |
|---------------|---------|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------|---------------|-----------|----------------------|-----------|
| | | Mean | Range* | Mean | Range* | Mean | Range* | Mean | Range* |
| July 31, 1972 | Surface | 6.52 | 4.54-8.50 | 275 | 141-416 | 7.17 | 6.57-7.77 | 4.89 | 3.67-6.11 |
| | Bottom | 6.81 | 4.93-8.69 | 9.8 | u** -21.1 | 3.18 | 2.57-3.79 | 1.29 | 0.88-1.70 |
| Nov. 13, 1972 | Surface | 4.38 | 2.05-6.71 | 47.1 | 32.9-61.3 | 4.02 | 3.30-8.04 | 5.46 | 4.61-6.31 |
| | Bottom | 3.30 | 0.92-5.68 | 44.5 | 27.4-61.6 | 7.52 | 4.54-10.5 | 6.09 | 4.56-7.62 |
| Feb. 12, 1973 | Surface | 2.89 | 2.12-3.66 | 33.9 | 25.8-42.0 | 1.48 | 0.45-2.51 | 1.88 | 1.21-2.55 |
| | Bottom | 4.29 | 3.34-5.24 | 43.0 | 35.5-50.5 | 1.78 | 0.69-2.87 | 2.27 | 1.48-3.06 |

* Range represents the 95% confidence intervals.

** u represents undetectable amounts.

浦の内湾におけるビタミンの分布 浦の内湾の海水中のビタミンB₁₂濃度は U~9.36 ng/l であったが、冬季の湾口部付近を除いて総じて 3.0 ng/l 以上の高い値が検出された。ビタミンB₁₂含量の季節、地点、および深度による変動は、3種のビタミンのうちで最も小さかったが、Table 3に示したように、全体としてビタミンB₁₂含量は冬季より夏季に高く、底層水より表層水中にやや高かった。また、湾口部付近よりその他の地点でビタミンB₁₂含量がいくぶん高くなる傾向を示した。

チアミンの濃度は U~1,062 ng/l であったが、湾口部付近を除いて総じて 10 ng/l 以上であった。チアミン含量の季節、地点、および深度による変動は3種のビタミンのうちで最も大きく、全般に夏季および秋季に高く冬季および春季に減少した。7月、9月、および11月の赤潮発生水塊では表層水中のチアミン含量が甚だ高く、9月の湾中部で最も高い値が得られた。また、外洋水の流入する湾口部付近より、湾中部と湾奥部で常に高い含量を示した。

ビオチンの濃度は 1.6~35.7 ng/l であったが、湾口部付近を除いて総じて 5 ng/l 以上であった。ビオチンの含量は他のビタミンと同様の季節的変動を示し、夏季および秋季に高く冬季および春季に減少した。チアミンの場合と同様に7月、9月および11月の赤潮発生水塊において著しく高いビオチン含量が検出されたが、チアミンの場合とは逆に、表層水よりむしろ底層水でいくぶん含量が高かった。また、他のビタミンの場合と同様に、外洋水の流入する湾口部 (St. 1) のビオチン含量は、常に他の地点の含量より低かった。

次に水質分析の結果から計算されたビタミン含量とクロロフィルa含量、および細菌数との相関をみると (Table 5)、浦の内湾では海水中のビタミンB₁₂およびビオチンの含量と、クロロフィルa含量との間には有意な相関が認められなかったが、チアミン含量とクロロフィルa含量との間に高い有意な正の相関が認められた。またビタミンB₁₂含量と細菌数との間には有意な相関がなく、チアミンおよびビオチンの含量と細菌数との間に有意な正の相関が認められた。このことは、浦の内湾では、チアミン濃度が植物プランクトンおよび細菌群の多い水塊に高く、またビオチン濃度は細菌群の多い水塊に高いことを示している。

Table 5. Correlation coefficients between the concentrations of B group vitamins and environmental factors in the water of Uranouchi Inlet

| Vitamins (ng/l) | Chlorophyll a (μg/l) | Aerobic heterotrophs (log cells/ml) |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Vitamin B ₁₂ | 0.04 | -0.01 |
| Thiamine | 0.66** | 0.36** |
| Biotin | 0.16 | 0.28* |

* Significant at the 5 % level.

** Significant at the 1 % level.

野見湾におけるビタミンの分布 野見湾の海水中のビタミン B₁₂、チアミン、およびビオチンの濃度は、それぞれ U~9.76 ng/l, U~504.0 ng/l, および U~16.0 ng/l であり、浦の内湾の場合と同様に、3種のビタミンの中、チアミン濃度の変動が最も大きく、ビタミン B₁₂ 濃度の変動が最も小さかった。季節的には浦の内湾の場合と同様に、いずれのビタミン濃度も夏季に高く冬季に低くなったが、全般的にいずれも浦の内湾より低い値であった。また、いずれのビタミン濃度も、外洋水の影響を直接受けやすい湾外の地点 (St. 19) でも、なお湾内の他の地点の濃度と同程度であり、地点による濃度変化が比較的小さく、規則的な傾向がみられなかった。一方深度による変化をみると、成層の形成がみられた7月のチアミンおよびビオチンの濃度は、表層水で高く底層水で

は低かった。とくに、この時のチアミン濃度は表層水で平均 275 ng/l であるのに対して底層水では平均 9.8 ng/l と甚だ低い値であった (Table 4)。

Table 6. Correlation coefficients between the concentrations of B group vitamins and environmental factors in the water of Nomi Inlet

| Vitamin ng/l | Chlorophyll a μg/l | Aerobic heterotrophs log cells/ml |
|-------------------------|--------------------------|---|
| Vitamin B ₁₂ | -0.01 | -0.02 |
| Thiamine | 0.33* | 0.30* |
| Biotin | 0.63** | 0.57** |

* Significant at the 5 % level.

** Significant at the 1 % level.

また、野見湾のビタミン含量とクロロフィル a 含量、および細菌数との間の相関関係をみると (Table 6)、浦の内湾でみられた関係に類似し、ビタミン B₁₂ 含量とクロロフィル a 含量および細菌数との間には有意な相関が認められなかったが、チアミンおよびビオチンの含量はともにクロロフィル a 含量および細菌数との間に有意な正の相関が見られた。このことは、野見湾では海水中のチアミンおよびビオチンの濃度

が植物プランクトンおよび細菌群の多い水塊で高いことを示している。

考 察

今回の調査の結果は、浦の内湾および野見湾の海洋学的特質にはかなりの相違があることを示している。すなわち、浦の内湾は細長い峡湾で湾口部が浅くかつ狭いため、海水交流が悪く、湾奥部ではほとんど海水の交換がない。さらに特筆すべき流入河川もない。このため湾中央部および湾奥部ではむしろ塩湖のような特徴を備えている。またこの付近における夏季の成層形成は顕著であった。一方、野見湾は、湾口部が広く水深も大きいため、海水交換が良好であり、その結果年間を通して外洋水の影響を受けて、夏季の成層形成も弱く、また冬季でも湾内の水温が 15°C 以上であり、水温の年較差は 12.6°C と比較的小さかった。また、浦の内湾では夏季および秋季に赤潮の発生がみられ、野見湾と比較して透明度が小さく、クロロフィル a 含量および3種の B 群ビタミンの含量も高かった。

水産環境水質基準¹¹⁾によると海域の COD は 1 ppm 以下、長期に赤潮の発生を防ぐためには無機態窒素および無機態リンの含量がそれぞれ 0.1 ppm および 0.015 ppm 以下であることとされている。今回の調査と同時に実施された窪田ら¹²⁾の調査によると、両湾の COD は年間を通して 1 ppm 以上であり、無機態リンの含量も年間をとおしてほぼこの基準値に達している。しかしこれらの値は全般に野見湾より浦の内湾で高い値を示している。また、無機態窒素の含量は、野見湾では年間を通して 0.1 ppm 以下であるが、浦の内湾では夏季および秋季に湾中央部や湾奥部付近にこの値を上まわる水塊が出現している。

両湾において実施されているハマチ養殖はそれぞれの湾における汚染負荷として最大の因子であり、大規模な養殖の結果、両湾とも水質汚濁が相当進行している。しかしこれらの結果は両湾の特

性の相違によって、野見湾より浦の内湾においてより効果的かつ蓄積的にハマチ養殖の影響を受けているように見える。

海水中のB群ビタミンの分布に関しては数多くの報告があり、日本の内湾域で測定された海水中のビタミン含量を Table 7. に要約した。海水中のB群ビタミンは微生物定量法によって定量されるが、それに使用された微生物の種類および菌株によってビタミン類似化合物に対する反応特性に差があるため、異なった菌株を用いて測定された値を厳密に比較することは困難であるが、概略してみれば、今回測定された浦の内湾および野見湾の3種のビタミン濃度は、赤潮の多発する東京湾、英虞湾および瀬戸内海の各海域と同程度であった。

Table 7. Vitamin concentrations in the coastal waters of Japan

| Regions | Vitamin B ₁₂ (ng/l) | Thiamine (ng/l) | Biotin (ng/l) | Authors |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|---|
| Tokyo Bay | 23.2-73.2 | 71-912 | | Ohwada (1973) ¹³⁾ |
| Sagami Bay | 0-14.3 | 0-142 | 0-17.3 | Ohwada (1972) ¹⁴⁾ |
| Suruga Bay | | 0-71 | 0-3.4 | Ohwada (1971) ¹⁵⁾ |
| Ago Bay | | 244-404 | | Okaichi (1972) ¹⁶⁾ |
| Omura Bay | | 16-165 | | Okaichi (1971) ¹⁷⁾ |
| Saeki Bay | | 100-150 | | Okaichi (1972) ¹⁶⁾ |
| Kagoshima Bay | 0-15 | | | Kashiwada <i>et al.</i> (1957) ¹⁸⁾ |
| | | 11-227 | | Kanazawa <i>et al.</i> (1964) ¹⁹⁾ |
| | 0-28.73 | | | Inoue (1978) ²⁰⁾ |
| Seto Inland Sea | | | | |
| Hiuchi-Nada District | | 80-584 | | Okaichi (1972) ¹⁶⁾ |
| | 0.68-8.52 | 0-424 | 0.2-26.4 | Nishijima <i>et al.</i> (1977) ²¹⁾ |
| Bingo-Nada District | 0.20-9.32 | 44-516 | 0.5-60.0 | Nishijima <i>et al.</i> (1977) ²¹⁾ |
| Coastal Region of Fukuyama | 0.42-6.43 | | | Inoue <i>et al.</i> (1973) ²²⁾ |
| Katagami Bay | 0.1-16.1 | | | Fujisawa <i>et al.</i> (1973) ²³⁾ |
| Coastal Region of Okayama | 0-9.8 | 0-0.302 | | Fujisawa <i>et al.</i> (1975) ²⁴⁾ |

植物プランクトンが補助的な生長因子として増殖に必要とするB群ビタミンの量は極めて微量であることが知られている。Droop²⁵⁾の報告によると、ビタミンB₁₂ 0.1 pgあたりの植物プランクトンの増殖量は *Skeletonema costatum* で 2.5×10^4 細胞、*Monochrysis lutheri* で 8×10^4 細胞である。Guillard ら²⁶⁾は、7種の海産珪藻のビタミンB₁₂ 1 pgあたりの増殖量は $1.3 \times 10^4 \sim 4.8 \times 10^5$ 細胞であったと報告している。また岩崎²⁷⁾は、7種の赤潮鞭毛藻の増殖好適ビタミンB₁₂濃度は 10 ng/l または 20 ng/l であったと報告している。Tokuda²⁸⁾は *Nitzschia closterium* は 0.1 μg/l のチアミンで 6.9×10^5 細胞/ml まで増殖したと報告し、岡市¹⁹⁾は *Eutreptiella sp.* は 0.5 μg/l のチアミンで 6×10^4 細胞/ml まで増殖できるとしている。さらに Carlucci ら²⁹⁾によれば、植物プランクトンの光合成活性によるビタミンのミカエリス定数は、ビタミンB₁₂ 2.9 ng/l (*Cyclotella nana*, clone 13-1)、チアミン 125 ng/l (*M. lutheri*)、ビオチン 4.0 ng/l (*Ampidinium carterae*) である。また、Swift ら³⁰⁾の測定によるとビタミンB₁₂のミカエリス定数は *M. lutheri* で 2.77 ng/l、*Thalassiosira pseudonana* で 0.39 ng/l、*Isochrysis galbana* で 1.69 ng/l である。このように植物プランクトンのビタミン要求量はその種類により異なるが、以上の報告からこれらのビタミン要求量は、ビタミンB₁₂、1~10 ng/l; チアミン、100~500 ng/l; およびビオチン、数 ng/l 程度であると考えられる。これらの数値を両湾のビタミン濃度と比較すると浦の内湾の湾央部と湾奥部ではビタミンB₁₂およびビオチンの濃度は年間を通してこの値に達

し、チアミンの濃度は春季および冬季の一部を除いてこの値に達している。一方野見湾では、ビタミンB₁₂の濃度が年間を通してほぼこの値に達し、チアミンの濃度は夏季の表層水においてのみ、ビオチンの濃度は夏季と秋季にそれぞれこの値に達している。したがって、浦の内湾の湾中央部と湾奥部では、夏季および秋季に、野見湾では夏季の表層水に、それぞれ植物プランクトンの増殖によって十分量の3種のビタミンが含まれていたことになり、この時期は両湾の植物プランクトンの現存量が増大した時期、とくに浦の内湾では赤潮が発生した時期と一致している。また、クロロフィル α 含量とビタミン含量との相関関係においても、クロロフィル α 含量は、浦の内湾においてチアミン含量と、野見湾においてチアミンおよびビオチン含量とそれぞれ有意な正の相関を示している。これらのことは、両湾における海水中のチアミンおよびビオチンの消長が植物プランクトンの増殖および赤潮発生に関与していることを示唆している。飯塚³¹⁾は大村湾において同様な関連を見いだしている。すなわち、1968年の夏季および秋季の大村湾における海水中のチアミン濃度は36~166 ng/lであったが、表層水でチアミン量が増大する時期が *Gymnodinium* '65年型種赤潮発生に先行するという事実があったと報告している。

海水中に存在するB群ビタミンの起源としては、各種の細菌類や植物プランクトンによる生産のほか、海域に流入する各種の廃水や底土および懸濁物質からの溶出等が考えられる。とくに浦の内湾や野見湾のような魚類の養殖海域では、魚類の排泄物および餌の残渣などからの溶出が重要な位置をしめているものと思われる。海洋細菌の多くの種がB群ビタミンを生産することはすでに多数の研究者によって確かめられているが^{32,33)}、近年植物プランクトンも生長因子としてビタミン類を要求する一方で、増殖にともなって別のビタミンを生産し、細胞外へ分泌することが確かめられ³⁴⁻³⁶⁾、海水中のビタミン供給源として植物プランクトンによる生産が重要な位置をしめていると想像されている。今回の調査結果からも海水中のチアミンおよびビオチン含量は、クロロフィル α 含量および好気性従属栄養細菌数と有意な正の相関を示した。この結果からは、ビタミン含量とプランクトン、細菌両者の間の相互関係は明確ではないが、前述したように、チアミンおよびビオチンの消長が植物プランクトンの増殖に関与していることが推察され、また、細菌群がこれらのビタミンの生産に何らかの寄与をしているものと推察される。

要 約

ハマチ養殖が大規模に行われている浦の内湾および野見湾では、近年赤潮が頻発し時には漁業被害をもたらしている。そこで、多くの植物プランクトンが増殖に必要とする3種のB群ビタミン—ビタミンB₁₂、チアミンおよびビオチン—について、両湾の海水中の分布およびその消長を調査し、他の環境要因および赤潮発生との関連について検討した。

- 1) 両湾では主として養殖に起因する水質汚染がかなり進行しているように見える。湾の特性の相違によって野見湾より浦の内湾においてより効果的かつ蓄積的にハマチ養殖の影響が現われている。
- 2) 浦の内湾の海水中のビタミンB₁₂、チアミン、およびビオチンの濃度は、それぞれU~9.36 ng/l, U~1,062 ng/l, および1.6~35.7 ng/lであり、湾口部を除いて総じてそれぞれ3.0 ng/l, 10 ng/l, および5.0 ng/l以上の高い値であった。いずれのビタミン含量も夏季および秋季に高く、冬季には減少した。
- 3) 野見湾の海水中のビタミンB₁₂、チアミン、およびビオチンの濃度はそれぞれU~9.76 ng/l, U~504.0 ng/l, およびU~16.0 ng/lであり、全般に浦の内湾よりいくぶん低い値であった。また、ビタミン含量はいずれも夏季に高く、冬季に低かった。
- 4) 両湾の各ビタミン濃度は近年赤潮が多発している東京湾、英虞湾、および瀬戸内海の各海域と

同程度であった。

- 5) クロロフィル *a* 含量は、チアミン含量 (両湾で) およびビオチン含量 (野見湾で) と有意な正の相関を示した。また浦の内湾では夏季と秋季に、野見湾では夏季に、植物プランクトンの増殖に十分な量の各ビタミンが含まれていたが、この時期は両湾で植物プランクトンの現存量が増大した時期、とくに浦の内湾では赤潮が発生した時期と一致し、これらのビタミンの消長が植物プランクトンの増殖および赤潮発生に関与しているものと推察された。
- 6) チアミンおよびビオチンの含量は 両湾において 好気性従属栄養細菌数と 有意な正の相関を示し、細菌群がこれらのビタミンの生産に何らかの寄与をしているものと推察された。

謝 辞

ビタミン B₁₂ の定量に際し、定量用菌株の分譲と分析法のご教示をいただいた京都大学農学部、上久保正博士ならびにチアミンおよびビオチンの定量に際し、菌株の分譲と分析法のご教示をいただいた東京大学海洋研究所、大和田紘一博士に感謝の意を表する。また試料採取に際し調査船便乗の便宜をはかっていただいた高知県水産試験場、窪田敏文氏に深謝するとともに、水質分析の一部を分担された卒業生、松本秀三君に謝意を表する。

文 献

- 1) Provasoli, L., Organic regulation of phytoplankton fertility. In "The Sea Vol. 2" ed. by Hill, M. N., p. 165-219, Interscience, N. Y. (1963).
- 2) 岩崎英雄, 微小藻類のビタミン要求, 水産増殖, 16, 171-176 (1968).
- 3) Provasoli, L. and Carlucci, A. F., Vitamins and growth regulators. In "Algal Physiology and Biochemistry" ed. by Stewart, W. D. P., p. 741-787, Blackwell Scientific Publications, London (1974).
- 4) 上森千秋, 浦の内地区浅海漁場開発事業調査報告書, 浅海開発資料Ⅲ, 昭和40年度, p. 134-164, 高知県 (1966).
- 5) 中井 昭, 高知県漁業発達史 (戦後編), p. 589-616, 高知県漁業協同組合連合会, 高知 (1973).
- 6) 有賀祐勝・市村俊英, 光合成色素の測定 (SCOR-UNESCO 作業委員会報告翻訳). 日本プランクトン研究連絡会報, 12, 79-84 (1965).
- 7) 多賀信夫・関 文威, 海水中の有機栄養細菌群のバイオマスならびに有機物分解力の測定法. 海洋生物群集の総合的研究 41年度研究業績報告, p. 87-90 (1967).
- 8) 林 光則・上久保正, *Euglena gracilis* z 株による海洋資源中ビタミンB₁₂の定量法. 醸工, 44, 640-645 (1966).
- 9) Natarajan, K. V. and Dugdale, R. C., Bioassay and distribution of thiamine in the sea. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 621-629 (1966).
- 10) Ohwada, K., Bioassay of biotin and its distribution in the sea. *Mar. Biol.*, 14, 10-17 (1972).
- 11) 日本水産資源保護協会, 水産環境水質基準, p. 5-8, 日本水産資源保護協会, 東京 (1972).
- 12) 窪田敏文・野村和行・谷口道子, 養殖漁場環境調査. 高知県水産試験場事業報告, 70, 336-355 (1974).
- 13) 大和田紘一, 微生物を用いる海水中の微量成分に関する研究. 海洋科学, 5, 112-117 (1973).
- 14) Ohwada, K. and Taga, N., Distribution and seasonal variation of vitamin B₁₂, thiamine and biotin in the sea. *Mar. Chem.*, 1, 61-73 (1972).
- 15) 大和田紘一, 海水中のビタミン類. 海洋科学, 3, 516-520 (1971).
- 16) 岡市友利, 浅海の汚染と赤潮の発生. 内湾赤潮の発生機構, p. 58-76, 日本水産資源保護協会, 東京 (1972).
- 17) 岡市友利, 瀬戸内海の汚染と赤潮. 化学と生物, 9, 566-571 (1971).
- 18) 柏田研一・柿本大老・川越一徳, 海水のビタミンに関する研究-Ⅲ. B₁₂ の日時の変動及び湖水における B₁₂ 含量の垂直分布. 日水誌, 23, 450-453 (1957).
- 19) 金沢昭夫・柏田研一, 海洋の微量有機成分に関する研究-Ⅱ. 海水中のビタミンB₁ について. 日本水産学会秋季大会講演要旨集, p. 57 (1964).
- 20) 井上晃男, 鹿児島湾海水中のビタミンB₁₂ 含量について. 鹿児島湾赤潮発生原因調査研究報告書, 昭和52年6月発生の *Hornellia* 赤潮, p. 49-52, 水産庁 (1978).

- 21) 西島敏隆・畑幸彦, 沿岸海域におけるB群ビタミンの消長と微生物. 瀬戸内海の汚染と指標生物の動態に関する研究, 昭和51年度, p. 120-131 (1977).
- 22) Inoue, A., Koyama, H. and Asakawa, S., Vitamin B₁₂ contents in sea water along the coast of Fukuyama in 1970 and 1971. *J. Fac. Fish. Anim. Husb., Hiroshima Univ.*, 12, 13-20 (1973).
- 23) 藤沢邦康・三宅与志雄・浮田和夫, 片上湾における海水および底土中のビタミンB₁₂ と赤潮発生について. 岡山県水産試験場事業報告書, 昭和47年度, p. 59-64 (1973).
- 24) 藤沢邦康・三宅与志雄, 岡山県沿岸海域の表層中のビタミンB₁₂ とチアミン. 岡山県水産試験場事業報告書, 昭和49年度, p. 31-36 (1975).
- 25) Droop, M. R., Vitamin B₁₂ in marine ecology. *Nature*, 180, 1041-1042 (1957).
- 26) Guillard, R. R. L. and Cassie, V., Minimum cyanocobalamin requirements of some marine centric diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 8, 161-165 (1963).
- 27) 岩崎英雄, 赤潮鞭毛藻の生理, 生態. 内湾赤潮の発生機構, p. 77-98, 日本水産資源保護協会, 東京 (1972).
- 28) Tokuda, H., Studies on the growth of a marine diatom, *Nitzschia closterium*-I. Its requirement for thiamine. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 32, 565-567 (1966).
- 29) Carlucci, A. F. and Silbernagel, S. B., Effect of vitamin concentrations on growth and development of vitamin-requiring algae. *J. Phycol.*, 5, 64-67 (1969).
- 30) Swift, D. G. and Taylor, W. R., Growth of vitamin B₁₂-limited cultures: *Thalassiosira pseudonana*, *Monochrysis lutheri*, and *Isochrysis galbana*. *J. Phycol.*, 10, 385-391 (1974).
- 31) 飯塚昭二, 大村湾における *Gymnodinium* '65年型種赤潮の発生機構. 日本プランクトン学会報, 19, 22-33 (1972).
- 32) Burkholder, P. R., Vitamin-producing bacteria in the sea. *Preprints Int. Oceanogr. Congr.*, 912-913 (1959).
- 33) 倉田 亮・木俣正夫, 海洋性ビタミンB₁₂ 生産菌に関する研究 (第1報), 海洋性ビタミンB₁₂ 生産菌の分布とビタミンB₁₂生産について. 京大食研報告, 31, 26-34 (1968).
- 34) 金沢昭夫・下麦透・柏田研一, 藻類のビタミンに関する研究-XIV. 珪藻によるビタミンB群の合成. 日本水産学会年会講演要旨集, p. 97 (1968).
- 35) Carlucci, A. F. and Bowes, P. M., Production of vitamin B₁₂, thiamine, and biotin by phytoplankton. *J. Phycol.*, 6, 351-357 (1970).
- 36) Carlucci, A. F., Production and utilization of dissolved vitamins by marine phytoplankton. In "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities" ed. by Colwell, R. R. and Morita, R. Y., p. 449-456, University Park Press, Baltimore (1974).

(昭和53年9月27日受理)

(昭和54年3月16日発行)