

引用文献

- BOGOROV, B. G. (1958) Estimates of primary production in biogeographical regionization of the ocean. Rapp. p.-v. Rèun. Cons. perm. int. Explor. Mer, **144**, 117-121.
- Faculty of Fisheries, Hokkaido Univ. (1959-1961, 1969, 1973) Data Rec. oceanogr. Obs. expl. Fish., Nos. 3-5, 13 and 16.
- 小鳥守之 (1977) 北海道石狩湾産プランクトン調査. 昭和50年夏季および秋季の動物プランクトン生体現存量. 北海道立中央水産試験場報告, **19**, 1-11.
- MARLOWE, C. J. and C. B. MILLER (1975): Patterns of vertical distribution and migration of zooplankton at Ocean Station "P." Limnol. Oceanogr., **20**, 824-844.
- 森岡泰啓・小牧勇蔵 (1978) 日本海における動物プラン

クトン生物量の季節的・鉛直的分布. 日本海区水産研究所報告, **29**, 255-267.

元田 茂 (1957) 北太平洋標準プランクトンネットについて. 日本プランクトン研究連絡会報, **4**, 13-15.

元田 茂 (1975) プランクトン標本の処理. 日本プランクトン学会報, **21**, 115-134.

MOTODA, S. and T. MINODA (1974) Plankton of the Bering Sea, In Oceanography of the Bering Sea, ed. D. W. HOOD and E. J. KELLEY, Inst. Mar. Sci. Univ. Alaska, Fairbanks, 207-241.

NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1975) Distribution of a chaetognath, *Sagitta nagae* ALVARIÑO in Suruga Bay, Central Japan with notes on the zooplankton biomass. Bull. Plankton Soc. Japan, **21**, 87-104.

3. 太平洋沿岸の海洋構造と生産力

1. はじめに

北海道太平洋岸はオホーツク海を起源とする親潮接岸分枝の影響を受けている。春期には流水を伴う低水温の水塊であり、西に流れるにつれて流水の融解や融雪水の影響を受けて低塩分になる。過去の資料¹⁾をみると、春期の親潮接岸分枝の幅、水深は年毎に変動を示しているが、この年変動は太平洋沿岸域における春期の生物生産に大きな影響を与えているものと予想される。また北海道南西部一帯は津軽暖流の影響を受けるので、これら寒暖二水塊による潮目の形成や水塊の交替もまた漁業生産を支配する要因になっている。

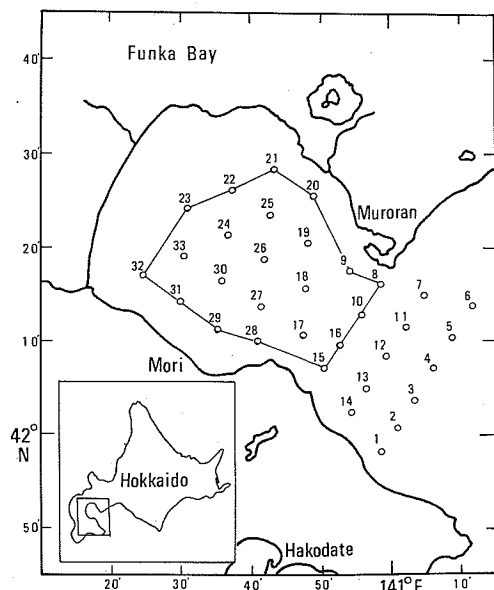
ここでは噴火湾を北海道太平洋岸の一モデルとして、湾水の海洋構造と生産力について、とくに生物生産および分解に対して重要な関わりをもつ栄養塩類と粒状有機物質の季節変化の様相を明らかにする。

噴火湾は表面積 2,270 km²、最大水深 107 m、湾口部 85m の海盆状の内湾である。1932年以來現在まで数多くの観測調査が実施されており海洋構造の詳細が明らかになっている²⁾⁻⁷⁾。しかし基礎生産力、栄養塩類、有機物質等に関する研究は1970年以後に着手されたといっても過言ではない。したがって1974年以後に行われた乏しい資料をもとに若干の知見を述べたいと思う。

2. 噴火湾の海洋構造

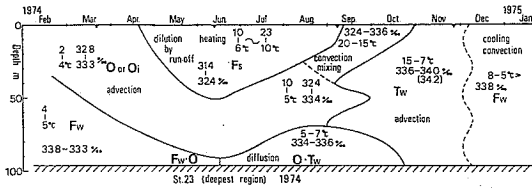
第1図に示す湾内外の観測点において1974年2月より1975年1月までの期間に月1回の観測を行った。水深

米田 義昭 (北海道大学水産学部)



第1図 噴火湾海域の調査点

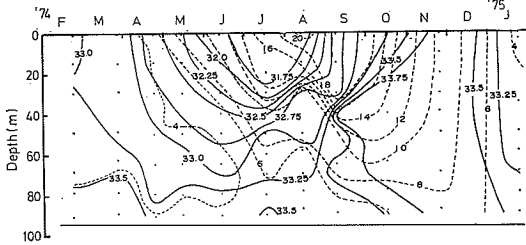
10~15m毎に採取した海水の塩分と水温の結果にもとづき、湾奥部の Stn. 23 の海洋構造を模式的に示すと第2図のようになる。また第3図には Stn. 30 の水温と塩分の周年変化を示している。大谷・木戸の報告⁸⁾によると、2月下旬には親潮が湾内の表層に流入しており、下層の冬期噴火湾水と二層構造をとっている。経時的に親潮の



第2図 噴火湾の水塊交替と海洋構造変化の模式図 (大谷・木戸³⁾による)

図中の符号は水塊名を表わしている

O: 親潮沖合水 (本文中では親潮), Oi: 親潮融水水 (本文中では親潮接岸分枝), Tw: 津軽暖流水, Fw: 冬期噴火湾水, Fs: 夏期噴火湾水



第3図 噴火湾中央部 Stn. 30 における水温・塩分の季節変化。水温 °C (破線), 塩分 ‰ (実線)

流入量は増加し冬期噴火湾水は下層より湾外に流出して行く。その結果躍層は深度を深め、6月には冬期噴火湾水は湾内深部の底層にわづかに認められるのみとなっている。4月以降融水、融雪水による希釈を受けた親潮接岸分枝が流入し、また表層水の水温が上昇するため親潮は下層の冬期噴火湾水と混合した水にはさまれた形となり、水温分布は中冷構造をもつようになる。夏期には表層水温がさらに上昇し、大きな塩分勾配をもつ躍層が形成される。夏期の湾内の表層水温は湾外と比べ1~2°C高く、塩分は0.5‰内外低くなる。

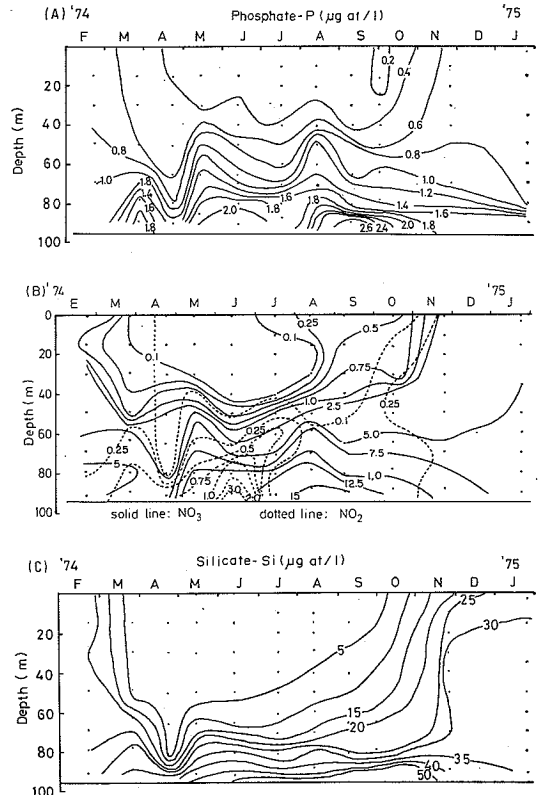
7月には湾口部に津軽暖流水が接近し、その影響を受けて湾口部は水温・塩分の不連続域ができる。この時期は加熱の最盛期にあたるので、20~30m 深に水温 10~15°C、塩分1~1.0‰にも及ぶ躍層ができる。8月下旬中層より津軽暖流水が流入するにつれて、湾内に滞留している表層水は津軽暖流水の上方を、中層水はそれぞれの密度に対応する深度を保って湾口南側の渡島半島沿いに流出して行く。10月になると、中層水の大部分は津軽暖流水によって占められる。11月に入って、表層水の冷却が進み対流混合が起る。そのため湾水の塩分はほぼ一様となる。しかし海底直上水は深部に留っており、上層水の冷却が深まり底層水の密度を越える時点で初めて更

新され冬期噴火湾水へと変質して行く。

このような水塊交替のパターンは毎年繰り返されるが、親潮と津軽暖流の二水塊の交替時期や交替量は年毎に変化している。過去5年間について上記二水塊が湾口部に達する時期をみると、親潮は1月下旬~2月下旬、津軽暖流は7月下旬~9月下旬である。年によって前者は1カ月、後者は2カ月の流入時期の遅速がみられる。

3. 栄養塩の季節変化と海洋構造

栄養塩類の季節変化と海洋構造とを関連づけてみる。Stn.30におけるリン酸態リン、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素およびケイ酸態ケイ素の季節変化を第4図に示す。親潮の支配下に入る2月下旬以降、表層の栄養塩類は急減する。とくに硝酸態窒素の減少は著しく、3月下旬には0.1μg at/l 以下となり欠乏状態になる、他の栄養塩類についても表層の貧栄養状態は9月まで続いている。先に述べたようにこの期間の表層水は親潮および親潮接岸分枝の滞留期に当たっている。9月になると津軽暖流が中



第4図 噴火湾中央部 Stn. 30 における栄養塩の季節変化。(A): リン酸態リン, (B): 硝酸態窒素と亜硝酸態窒素, (C): ケイ酸態ケイ素

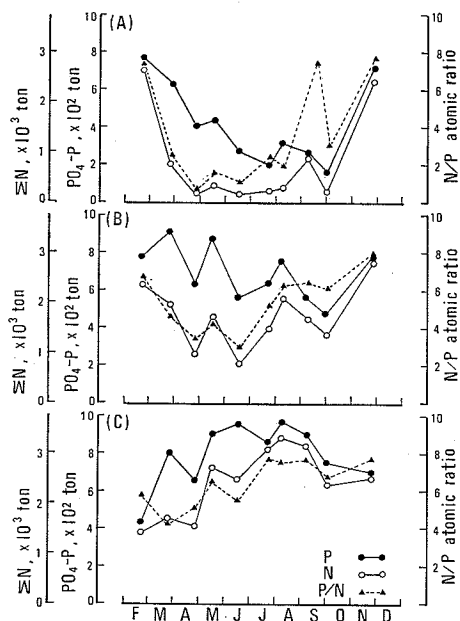
層より流入してくるため、貧栄養の表層水は湾外へ流出し、栄養塩濃度が幾分高い中層水が表層に押し上げられてくる。

一方、湾内の中層以深についてみると、春期より秋期にかけて栄養塩類の蓄積がみられる。とくに8月より9月にかけて底層付近に高濃度の栄養塩類が存在している。従属栄養微生物群によって有機物が分解を受けて再生された栄養塩類が密度躍層の発達、湾水の滞留の効果によって蓄積しているものと考えられる。更に6月から7月の60m以深には亜硝酸態窒素が増加する傾向が認められる。この現象に対し直接的証明はないが、恐らく有機窒素化合物の分解過程において硝化作用の遅れによるものではないかと推定される。

第1図に示す観測点を実線で区切った容積 77 km^3 (噴火湾総容積の約60%を占める) における栄養塩現存量を層別に見積り、その季節変化をみた。現存量の算出法は表面から底までを10m毎に仕切り各深さの平均濃度を求める。この場合各観測点間の距離は約5 哩間隔に正三角形をなすように配置しているため、近似的に各点の同一深度の値を単純に算術平均化した。また水深毎の容積は海図によって求め、10m層毎の現存量を求めた。ここでは表層(0~30m)、中層(30~60m)および底層(60~90m)における栄養塩類の現存量を積算し、それらの季節変化を第5図に示す。

表層における栄養塩現存量の季節変化は顕著である。リン酸態リンの場合、2月下旬の現存量は760トンに対し7月中旬には200トンにまでじょじょに減少してくる。硝酸・亜硝酸・アンモニアの三態窒素の現存量をみると、2月下旬の2,570トンから急激し4月下旬には154トンまで落ち込みを示す。そして8月上旬まではほぼ一定の値を保っている。11月下旬になるとリンおよび三態窒素はそれぞれ710および2,430トンに増加し、2月下旬の値にまで回復してくる。春期の現存量の減少は植物プランクトンによる消費によるものであり、11月の増大は対流混合によるものである。

底層における現存量の季節変化をみると、2月から8月にかけて増加傾向を示している。2月のリンと三態窒素の現存量はそれぞれ530および1,400トンであるが、8月には960および3,300トンに増加している。この増加分は春期に表層で生産された粒状有機物が中層以深に沈降し、分解再生されたもの一部と考えられる。その後現存量は減少し、11月下旬にはリンおよび三態窒素は700および2,500トンになる。しかしこの値は2月下旬の現存量と比べるとまだかなり大きい。11月時期には津



第5図 噴火湾内の調査海域 (77 km^3) における栄養塩現存量の季節変化と原子比
(A): 表層 (0~30m), (B): 中層 (30~60m), (C): 底層 (60~90m)

軽暖流水の流入は完了し表層水の冷却による鉛直混合が起っているものの、底層水は完全に上層水と混合していないため現存量が2月時期に比べて大きいものと考えられる。

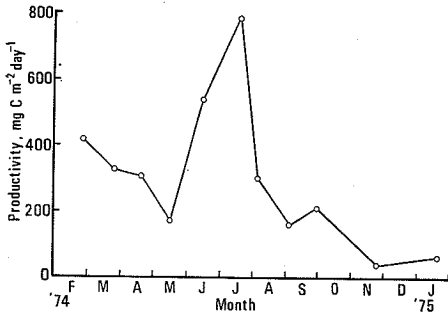
中層の現存量は表層および底層の季節変化の影響を受けて複雑に変化している。とくに2月から6月に至る親潮流入・滞留の時期の変化は不規則である。親潮流入量の一時的な減少(3月)、栄養塩濃度の低い親潮沿岸分枝の流入量増大および躍層深度の変化(4~6月)の不安定な海洋構造の影響によるものである。

4. 噴火湾の基礎生産力と粒状有機物量

噴火湾における基礎生産力の季節変化を明らかにし海洋構造および栄養塩の現存量変化との関係について考えてみたい。

基礎生産力は炭素-14を用いる現場法により Stn. 30の0, 10, 20, 30, 50mの各深さに一昼夜垂下する方法をとった。また同時に粒状有機物(POM)中の炭素(POC)、窒素(PON)、リン(POP)、クロロフィル-a(Chl-a)、アミノ酸(PAA)および従属栄養微生物による有機物摂取力の測定を行っている。

Stn. 30における純生産量の季節変化を第6図に示す。

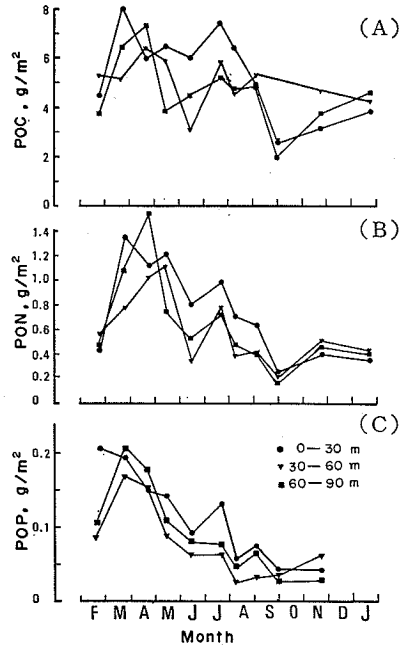


第6図 噴火湾中部 Stn. 30 における基礎生産力の季節変化

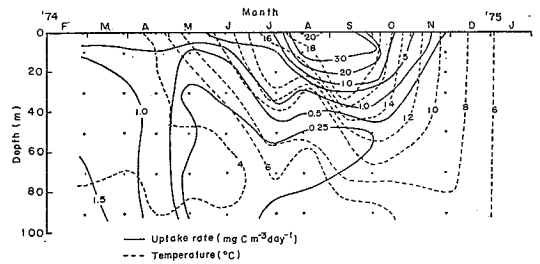
各月の値を用いて一年当りの生産量を積算すると約 100 g C/m² year となる。生産層は季節によって変化するが、一年を通じて 50m 以浅としてよい。ただし 40m 以深の純生産量は水柱当りの生産量の 2.5~10% を占めるに過ぎない。また湾内 4 点、湾口部 4 点の表面水について地域差をしらべたところ、親潮滞留期の 7 月が ±10%、津軽暖流水の流入期の 9 月が ±22%、親潮流入期の 1 月下旬が ±37% の標準偏差を示している。第 5 図 A に示すように 2 月下旬と 7 月中旬の 2 回純生産量の極大値がある。傾向としては春期から夏期 (2~8 月) の親潮の支配下にある時期が大きく、この期間内で約 70% を占め、一方津軽暖流によって占められる秋期から冬期 (9~1 月) に小さな値を示している。

POC, PON, POP の現存量を表層、中層および下層に分けて第 7 図 A, B, C に示す。各層の季節変化をみると、最大値は表層で 3 月、中層および底層で 4 月にみられる。基礎生産力の最大を示す 7 月には表層および中層でやや高い値を示すが春期の現存量ほど高い値を示さない。8 月以降 POM 現存量は減少し、9~10 月に最小値をとる。夏期の基礎生産量に見合う POM が存在しない理由として、表層水中で POM が急速に分解消失して

行くためではないかと推定している。それをうらづける証拠としては (1) 従属栄養微生物群によるアミノ酸摂取



第7図 噴火湾中部 Stn. 30 の表層、中層および下層における粒状有機物中の炭素 (POC)、窒素 (PON) およびリン (POP) の季節変化



第8図 噴火湾中部 Stn. 30 における従属栄養微生物のアミノ酸摂取速度と水温の季節変化

第1表 従属栄養微生物によって摂取されるアミノ酸の回転時間の季節および深度変化

Depth (m)	Feb.	Mar.	Apr.	May	June (days)	July	Aug.	Oct.	Nov.
0	7.4	36	—	20	4.6	7.8	2.2	—	—
10	29	25	—	58	1.7	0.7	2.2	4.2	118
20						16			
30	6.4	41	—	67	—	66	73	35	—
50	65	51	—	—	222	70	168	96	—
70	69	—	118	243	182	210	205	119	—
90	54	52	41	286	250	143	197	215	128

dash: not reliable ($r < 0.9$)

blank: no data

速度および回転時間は夏期に著しく大きくなること⁹⁾ (第8図および第1表), (2) 夏期の表層の窒素三態の主成分がアンモニア (約70%) であること, (3) POM中のPAA含有率は夏期に小さくなること⁹⁾等をあげることができる。したがって栄養塩の欠乏する夏期の基礎生産量を維持するのに必要な栄養源は生産層中での有機物質の急速な分解再生力に依存しているものと考えられる。しかしその様なやりくりも長続きせず, 9月に入ると基礎生産量は急速に低下してしまい, その結果表層水中の栄養塩類濃度はわずかに増加してくる。

5. おわりに

北海道太平洋沿岸の海洋構造と生産力に関して噴火湾をモデルとして述べてきた。この湾の海洋構造の特徴は既に述べたように春秋2回の寒, 暖二海流の流入によって支配されることであろう。湾奥の最深部を除けば湾水の交替はほぼ完全に行われると見てよい。そのため湾の中層および底層に蓄積する栄養塩の大部分は湾外に流出してしまう。みかけの酸素消費量とリンおよび窒素の増加量を等温・等塩分の同一水塊について経時的に追跡して求めた結果と先に述べた栄養塩現存量の増加量とを比較してみると, 前者は後者の3.6および3.8倍にも達する。暖流の流入がなく湾水が滞留したままでであると仮定した場合, 栄養塩の濃度は現在より著しく大きくなる。有機物質の分解に伴う酸素消費量は湾の下層で約1 ml/l/monthであるから, 滞留したままであれば湾の下層は無酸素状態を呈するであろう。しかし実際には津軽暖流水の流入によって蓄積した栄養塩類および未分解の有機物質を湾外に流出させてしまう。過去5年間の湾奥部の底層における酸素量は最も減少した1973年8月の場合でも1.5 ml/l, その他の年でも2.5~4 ml/lの範囲にある。秋期の津軽暖流水の流入が遅れると湾奥部底層の酸素量は減少するが, 過去5年間についていえば無酸素状態を呈することはない。

築田¹¹⁾は粒状有機物質(POM)の分解速度を粒子沈降速度1 m/day (南川が噴火湾で実測した値)として, 月間のPOM現存量の変化量から0~70mの水柱で分解を受ける量を見積っている。3月から9月の間に植物プランクトンが生産するPOMの60~78%は0~70mの

水柱で分解される。そしてその分解速度はPOP, PON, POCの順に大きいと報告している¹¹⁾。これらの結果は粒子の平均沈降速度に対する評価や移流項の補正について現時点で未解決の問題を含んでいる。しかし, 表層水のPOM分解速度は中層水および底層水の2~3倍であること, POMの2分解に選択性があること, の2点は物質の挙動を明らかにする上で興味ある知見と考えられる。上記の諸問題については沿岸域の比較的水深の浅い海域における物質循環を明らかにする上で重要と思われるので, 今後さらに検討を加えて行きたいと考える。

引用文献

- 1) 北大水産学部 (1967~1978) 海洋調査漁業試験要報.
- 2) 海洋気象台 (1934) 海洋時報. 6,
- 3) KOTO, H. (1965) Stagnation, mixing and renewal of the water of the Funka Bay. Mem. Fish. Hokkaido Univ., 13, 65-78.
- 4) 大谷清隆, 秋葉芳雄 (1970) 噴火湾の海況変動の研究 I, 湾水の周年変化. 北大水産研究彙報, 20, 303-312.
- 5) 大谷清隆 (1971) 噴火湾の海況変動の研究 II, 噴火湾に流入・滞留する水の特性. 北大水産研究彙報, 22, 58-66.
- 6) 大谷清隆, 秋葉芳雄, 吉田賢二, 大槻知寛 (1971) 噴火湾の海況変動の研究 III, 親潮系水の流入・滞留期の海況. 北大水産研究彙報, 22, 129-142.
- 7) 大谷清隆, 秋葉芳雄, 伊藤悦郎, 小野田勝 (1971) 噴火湾の海況変動の研究 IV, 津軽暖流水の流入・滞留期の海況. 北大水産研究彙報, 22, 221-230.
- 8) 大谷清隆, 木戸和男 (1977) 噴火湾の海洋構造の年変化と水塊の交替量. 噴火湾の研究中間報告, 川村輝良編, 三秀印刷, 函館, 54 pp.
- 9) MAITA, Y. and M. YANADA (1978) Particulate protein in coastal waters, with special reference to seasonal variation. Mar. Biol., 44, 329-336.
- 10) 築田 満 (1978) 噴火湾における栄養成分の挙動に関する研究. 博士論文 (北海道大学), 159 pp.
- 11) YANADA, M. and Y. MAITA (1978) Production and decomposition of particulate organic matter in Funka Bay, Japan. Estuarine and Coastal Marine Science, 6, 523-533.