HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	噴火湾における無機リンの周年変化とその変化に影響を与える要因
Author(s)	簗田, 満; 米田, 義昭; 深瀬, 茂
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 27(3-4), 160-171
Issue Date	1976-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23595
Type	departmental bulletin paper
File Information	27(3_4)_P160-171.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
27(3·4), 160–171. 1976.

噴火湾における無機リンの周年変化とその変化に影響を与える要因

簗田　満*・米田義昭*・深瀬　茂*

Seasonal Variation of Inorganic Phosphorus in Funka Bay and the Factors Influencing the Variation

Mitsuru YANADA*, Yoshiaki MAITA* and Shigeru FUKASE*

Abstract

The vertical distribution and the seasonal variation of phosphate-phosphorus were examined at 33 stations in Funka Bay throughout the year using R/V Ushio Maru.

During the winter, it was found that the concentration of phosphate-phosphorus had a comparatively high value and a vertically homogeneous pattern. In the spring, the concentration of phosphate-phosphorus at the upper layer (from surface to 40 m depth) markedly decreased as the spring phytoplankton blooms. On the contrary, the concetration of phosphate-phosphorus at the lower layer (from 50 m to 90 m depth) tended to increase gradually after spring. The low concentration of phosphate-phosphorus at the upper layer was maintained until the period when the Tsugaru warm waters flowed into the bay. During the autumn on to winter, the concentration of phosphate-phosphorus in the bay increased by vertical convection.

The remarkable changes of phosphate-phosphorus for the vertical distribution and seasonal variation in the bay are decided by the following factors, 1) the inflow of two major water masses, that is, one is formed by the Oyashio Waters which flow into the bay in early spring, the other is by the Tsugaru warm waters which flow into the bay in late summer, 2) the uptake of phosphate-phosphorus by the phytoplankton blooms and the regeneration of phosphate-phosphorus by the decomposition of organic matter, and 3) the supply of phosphate-phosphorus from the bottom sediment.

緒　　言

一般に沿岸海域は外洋域に比べて基礎生産力が高く，特に北方海域の沿岸域はより高い生産力を示すことが知られている。この高い生産力を維持する理由として，植物プランクトンの繁殖と生長に重要な一因子である栄養塩類が表層に豊富に供給されることが第一に挙げられる。特に海水中に存在する無機リン (PO_4-P) は重要な栄養塩の一つで，植物プラクトン増殖および成長の制限因子となっている場合が多い。沿岸域における高い生産力を解明するためには，周年を通じて食物連鎖の基本となる PO_4-P および他の栄養塩類の挙動とそれらの補給機構を把握する必要がある。

北方沿岸域に位置する噴火湾は面積 2,267 km^2，最深部 107 m，Sill depth 85 m の小湾であり，北海道を代表する栽培漁場である。噴火湾の調査研究に関して，最も古くは日高ら[1] によって行なわれ，

* 北海道大学水産学部海洋化学講座
(*Laboratory of Marine Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

海況と栄養塩の研究成果が報告されている。さらに，大谷ら[2)-5)]は噴火湾の海況変動に関する一連の研究を行ない，この湾のもつ複雑な海洋学的特徴について詳細な報告を行なっている。しかしながら，この海域の生態系の解明のために，栄養塩類の現存量に関する研究を含めた海洋化学的および海洋生物学的研究を総合的に行なった研究は見られない。本研究は噴火湾海域の海洋化学的な総合研究の一環として，PO_4-P の現存量との周年変動を把握し，さらに，その補給機構を明らかにする目的で行なった。

試料および実験方法

海水試料は本学部所属研究船　うしお丸（98 トン）により，1974 年 2 月より 1975 年 1 月まで，毎月一回，噴火湾海域の 33 地点，各地点において表面から底層までの 6～8 層で採取された（図 1）。

試料中の PO_4-P の定量方法は Strickland and Parsons[6)] の mannual に従った。

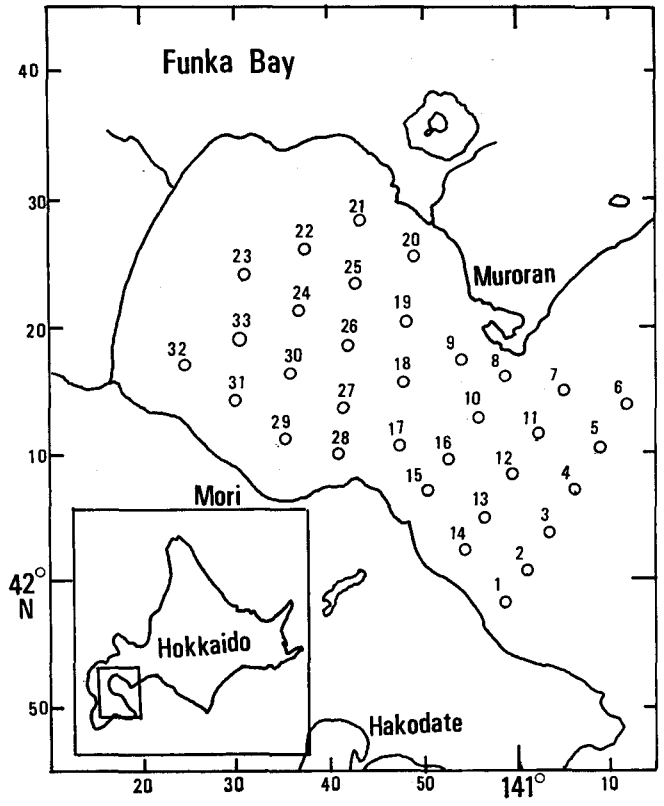

Fig. 1. Location of sampling stations in the Funka Bay.

結果および考察

鉛直分布とその周年変化

噴火湾内の代表的な地点である Sta. 23 および Sta. 30 と湾外の代表的な地点である Sta. 4 の PO_4-P 濃度の鉛直分布とその周年変化を図 2 に示す。2 月下旬の湾内 (Sta. 23, Sta. 30) の PO_4-P 濃度は，

底層を除いて，0.7～1.0μg-at/l で，鉛直的にほぼ均一な分布を示している。また湾外 (Sta. 4) の PO_4-P 濃度も湾内と同様，鉛直的に均一な分布を示しているが，その濃度は 1μg-at-l 以上の値であり，湾内の濃度と比較すると，やや高い値を示している。

2月以降，湾内と湾外の上層 (0-50 m) で PO_4-P 濃度が徐々に減少し，7月～8月の表層 (0-10m) で PO_4-P 濃度が 0.2μg-at/l 以下の低い値を示すようになる。この低濃度は 10 月頃まで維持され，10 月を過ぎると，上層の PO_4-P 濃度が増加しはじめる。11 月下旬で，PO_4-P 濃度は 0.6～0.8μg-at/l となり，2月下旬の上層の濃度とほぼ等しい値となる。

下層 (50～90 m) の PO_4-P 濃度は上層と異なり，季節によって著しく変化する。湾内の最深部に沿った地点である Sta. 23 および Sta. 30 の底層をみると，3月，5月～6月および8月～9月の PO_4-P 濃度に高い値 (2μg-at/l 以上) が認められ，3月～9月にかけて湾内の底層で PO_4-P が蓄積される傾向にある。これに反して，湾外 (Sta. 4) において，表層と比べると底層でわずかに高い PO_4-P 濃度 (1.2～1.4μg-at/l) を示すものの，湾内のような高濃度の PO_4-P 値は認められない。

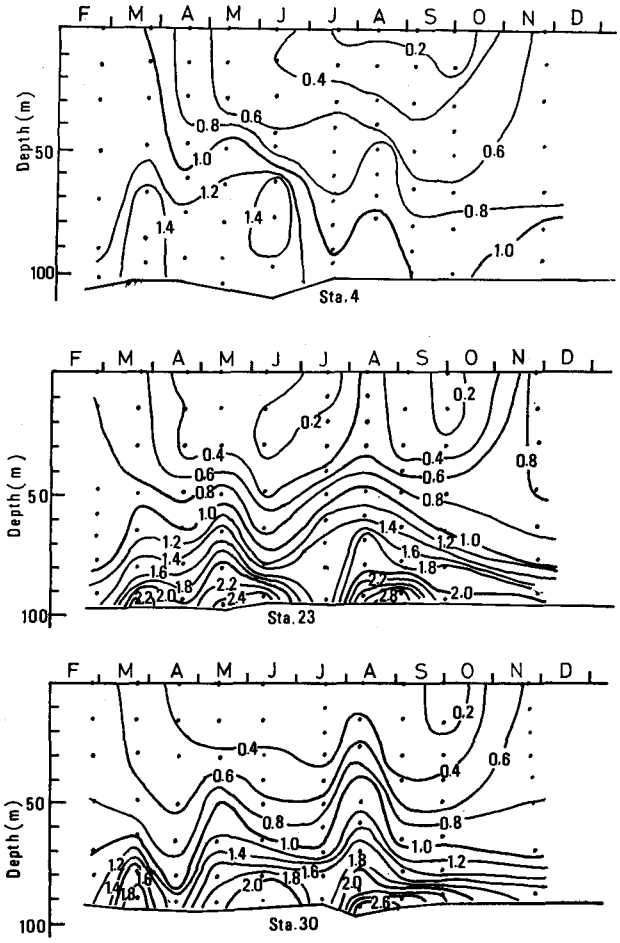

Fig. 2 Variations in vertical distribution of phosphate-phosphorus (μg at/l) at the observational stations in Funka Bay, 1974.

総量とその周年変化

噴火湾を一つの Box と考え，湾内の全容積 (133.4 km³) 中に存在する PO_4-P の総量を求めた。総量の算出法として，0～10 m 層での PO_4-P の現存量を次の式で表わす。

$$\text{現存量} = \frac{1}{2}(C_0 + C_{10}) \times V_{0-10}$$

C_0 は湾内の 22 地点の表面水中の平均濃度，C_{10} は 10 m 層の平均濃度，V_{0-10} は表面から 10 m 層までの湾内の容積である。総量は，湾内を表面から 90 m 層まで 10 m 間隔に分けて，各層で求めた現存量を積算したものである。図3は上層と下層の PO_4-P の現存量および総量の周年変化を示している。

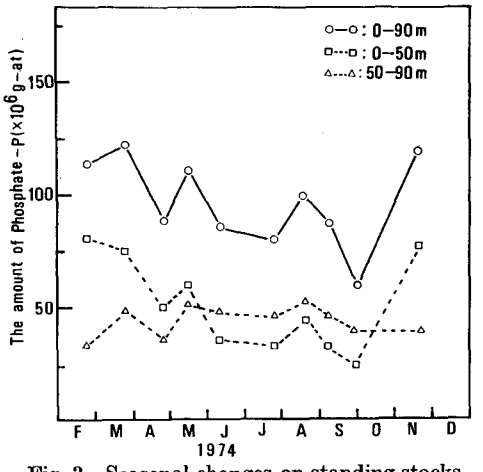

Fig. 3 Seasonal changes on standing stocks of phosphate-phosphorus in whole body of Funka Bay, 1974.

2月から3月までの約1カ月間に，上層の PO_4-P 現存量が減少しているが，下層の現存量が増加しているため，全体として総量は増加し，最大値 3.8×10^9 g を示している。3月以降，4月～5月および7月～8月で上層と下層の現存量が増加しているのに伴ない総量も増加しているが，PO_4-P の総量は経時的に徐々に減少傾向を示している。そして 10 月はじめ，その総量は最小値 2.1×10^9 g を示していて，この総量は3月の最大値の約 55% に相当する。11 月下旬になると，PO_4-P 総量は上層の現存量の急激な増加に伴なって増加し，2月の総量とほぼ一致する。

周年変化に影響を与える要因

沿岸域において，PO_4-P 現存量に影響を与える要因として，生物生産過程に伴なう PO_4-P の消費と有機物分解に伴なう PO_4-P の再生が考えられている。また，地域によっては，異なる水塊の流入および河川水の流入による PO_4-P の供給も考えられるし，堆積物からの供給も重要な一要因として考えられる。

噴火湾にいて，湾内の海洋環境が春の親潮系水の流入および秋の津軽暖流水の流入によって季節的に著しく変化することが知られている[2)-5)]。図4は，1974 年における湾内の代表的な地点 (Sta. 30) での水温と塩分量の周年変化を示している。2月下旬，湾内の表層 (0～20 m) に親潮系水 (Salinity: 33.0‰ 以下) が認められ，3月以降，親潮系水の影響が徐々に中層まで達する。一方，津軽暖流水 (Salinity: 34.0‰ 以上) の影響は8月頃から認められ，その暖流水は徐々に湾内の中層へ流入し，11月下旬に湾内は津軽暖流水でほぼ占められる。このような湾内の著しい海洋環境の変化は，PO_4-P 現存量の変化に重要な影響を与えているものと推測される。

1. 親潮系水および津軽暖流水流入による影響

木戸[7)]によって，湾内における親潮系水，津軽暖流水および冬期噴火湾固有水の存在割合とその周年変化が報告されている。もし，各水塊が固有の PO_4-P 濃度を持っているならば，それらの水塊の存在状態によって湾内の PO_4-P 総量が変化することが考えられる。

図5は親潮系水の湾内への流入が認められる2月下旬の塩分量と PO_4-P 濃度の鉛直断面図である。湾内の中層に存在する変質した冬期噴火湾固有水 (Salinity: 33.0‰ 以上) 中の PO_4-P 濃度が 0.6～0.8 μgat/l を示しているのに対して，親潮系水の PO_4-P 濃度はやや高い値を示し，湾外のその濃度は

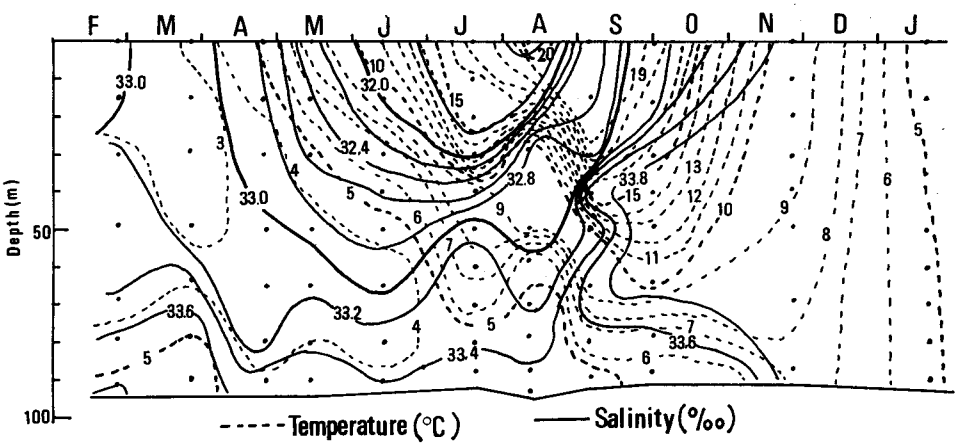

Fig. 4 Variations in vertical distributions of temperature and salinity at station 30, 1974.

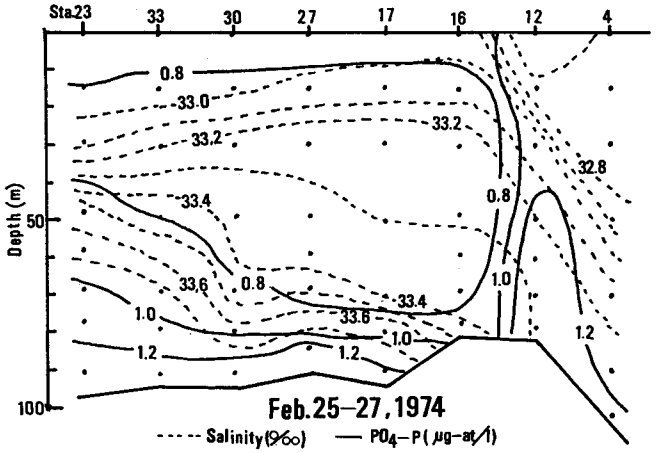

Fig. 5 Vertical sections of phosphate-phosphorus and salinity in Funka Bay in February, 1974.

1.0 μg-at/l 以上である。これらの水塊が A. O. U. ≒0 の状態にあることより，これらの PO_4-P 値は見かけ上生物活動に無関係な PO_4-P（保存性リン）に近い値である。A. O. U. =0 の時の PO_4-P 濃度を保存性リンとすると，2月下旬における A. O. U. と PO_4-P 濃度の関係より（図6），両水塊の保存性リン濃度が計算される。その結果，親潮系水の保存性リン濃度は 1.01 μg-at/l であり，冬期噴火湾固有水の保存性リン濃度は 0.81 μg-at/l である。一方，津軽暖流水の保存性リンを A. O. U. と PO_4-P 濃度の関係から求めると，その濃度は 0.24 μg-at/l である（図7）。図8は各水塊の占める容積に各保存性リンを乗じて求めた保存性リンの総量の周年変化と現存量の周年変化を示している。

2月から6月までの親潮系水流入期において，保存性リンの総量にそれほどの変化が認められない。このことは親潮系水と冬期噴火湾固有水の保存性リン濃度に大きな相違がないことによるものである。しかし，PO_4-P の現存量に著しい変化が認められる。この現存量の増減は保存性リン以外の要因によるものと考えられる。一方，夏季より，津軽暖流水の流入によって，保存性リンの総量が徐々に減少す

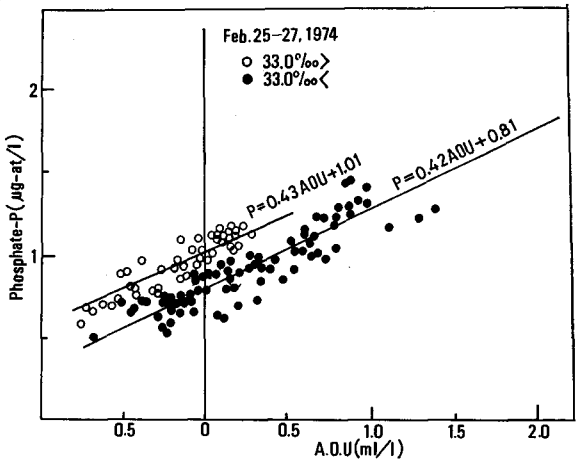

Fig. 6 Relation between the concentration of phosphate-phosphorus and apparent oxygen utilization of different water masses in February, 1974.

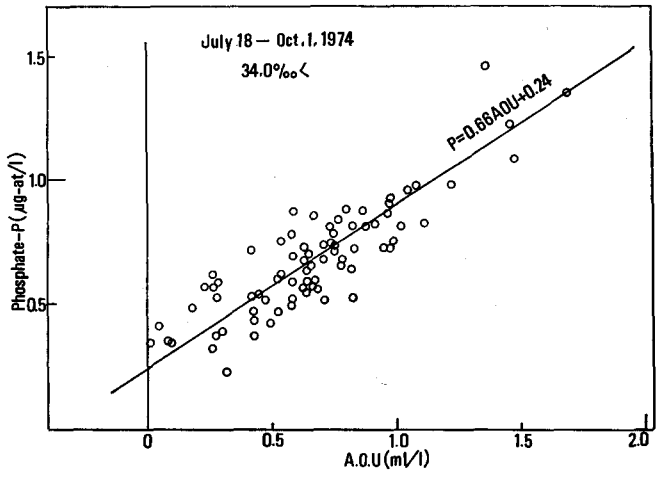

Fig. 7 Relation between the concentration of phosphate-phosphorus and apparent oxygen utilization during July to October, 1974.

る。しかし湾内へ流入する津軽暖流水中の PO_4-P 濃度はその固有の保存性リンに有機物分解で生産された非保存性リンが加わった値 (0.4～0.8 μg-at/l) であり (図 9)，8 月～10 月の PO_4-P 総量の減少は津軽暖流水の流入による影響だけで説明つかない。ただ 10 月 ～11 月の PO_4-P 総量の増加は固有のリン濃度をもった津軽暖流水で湾内全体が占められることによるものと考えられる。11 月下旬において，津軽暖流水の PO_4-P 濃度を上限値 0.8 μg-at/l とすると，湾内の PO_4-P 総量 (119×10^6g-at) のうち，津軽暖流水が運んできた PO_4-P 量は約 102×10^6g-at であり，津軽暖流水の流入が湾内の PO_4-P 総量に重要な要因となっている。

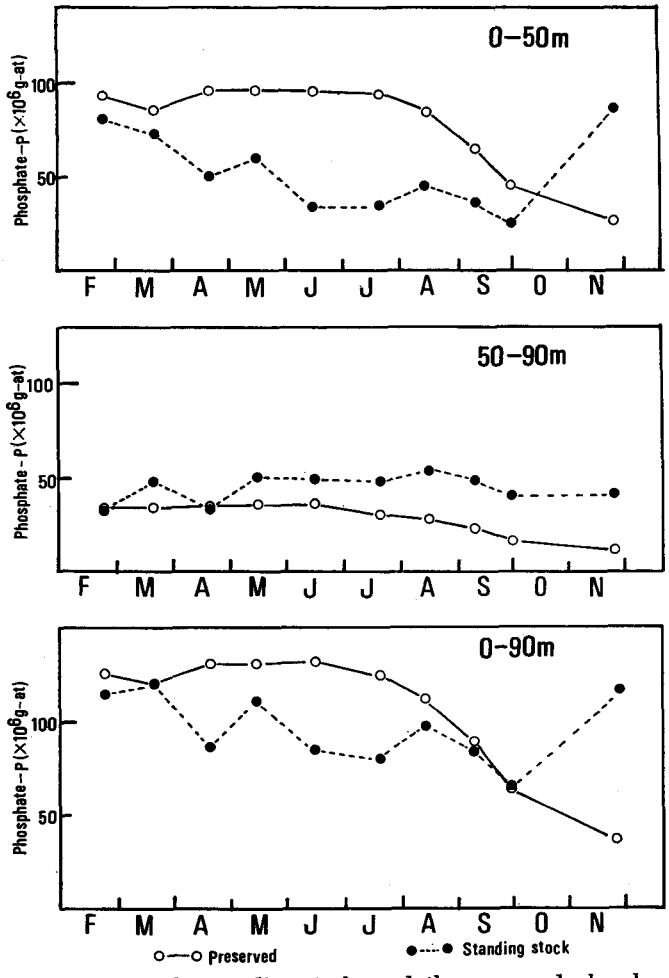

Fig. 8 Seasonal changes on the standing stocks and the preserved phosphorus in Funka Bay, 1974.

2. 生物生産過程による影響

生物による基礎生産は 0～50 m の層内で起り，特に 0～30 m の深さで顕著であることが報告されている[8]。上層の PO_4-P 現存量を減少させる要因として，基礎生産に伴なう PO_4-P の消費が考えられる。生物生産過程において，海水中の PO_4-P が消費されると同時に海水中に酸素が溶け込むので，溶存酸素量の変化から PO_4-P の消費量が推定できる。図 10 は湾内全域における 0～30m 層の A. O. P. (見かけ上の酸素生産量) の積算量の周年変化と PO_4-P 現存量の周年変化を示している。2 月から 5 月にかけて，見かけ上の酸素の生産が認められ，その増加傾向は湾内の 0～30 m 層の PO_4-P 現存量の減少傾向と一致する。しかし，5 月～6 月にかけて，PO_4-P の現存量が減少しているにもかかわらず，A. O. P. 量が減少している。このことは溶存酸素の一部が大気へ放出された結果によるものと考えられる。5 月～6 月および 6 月～10 月においても A. O. P. と PO_4-P 現存量の増減傾向が一致しないよ

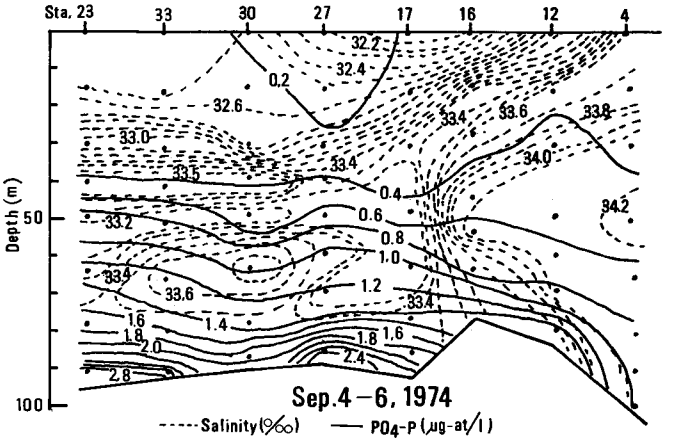

Fig. 9 Vertical sections of phosphate-phosphorus and salinity in Funka Bay in September, 1974.

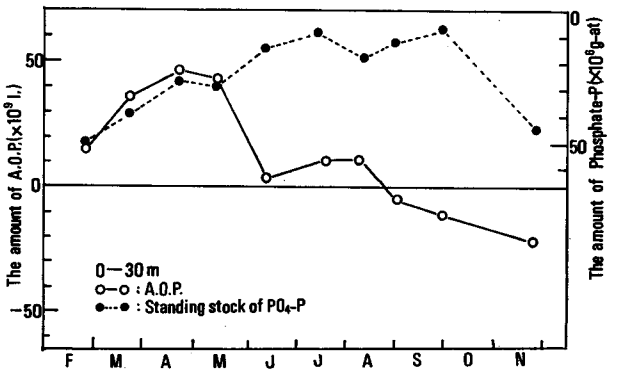

Fig. 10 Seasonal changes on total amount of apparent oxygen production and standing stocks of phosphate-phosphorus in surface water (0–30 m) of Funka Bay, 1974.

うに，溶存酸素の変化より PO_4-P の消費量を求める方法は，溶存酸素の大気への放出などによって溶存酸素の変化と PO_4-P の変化が一致しないため，信頼しうる値が得られない。

生物生産に伴なう PO_4-P の消費量を推定する方法として，基礎生産力より求める方法がある。^{14}C 法による基礎生産力より，C: P の生産速度を 106: 1 と仮定して求めた PO_4-P の消費量は，2月～4月の 51 日間で 31×10^6g-at である。この値は，上層の PO_4-P 現存量の減少量 (33×10^6g-at) とほぼ等しい。また，6月～8 月の 55 日間で消費される PO_4-P 量は 54×10^6g-at であるのに対して，上層の PO_4-P 現存量は逆に増加し，その増加量は 9×10^6g-at である。この時期，著しい生物生産による PO_4-P の消費があるにもかかわらず，PO_4-P 現存量が増加する傾向は生産と同時に行なわれる有機物分解による PO_4-P の再生および下層からの PO_4-P の供給が考えられる。懸濁性リンの上層での分解速度より，PO_4-P の再生量を求めると（築田ら，投稿準備中），その再生量は 57×10^9g-at であり，基礎生産で消費される PO_4-P 量より上回っている。従って，6月～8 月における上層の PO_4-P 現存量の増加は，下層からの PO_4-P 供給と有機物分解による PO_4-P の再生によるものである。2月から 10

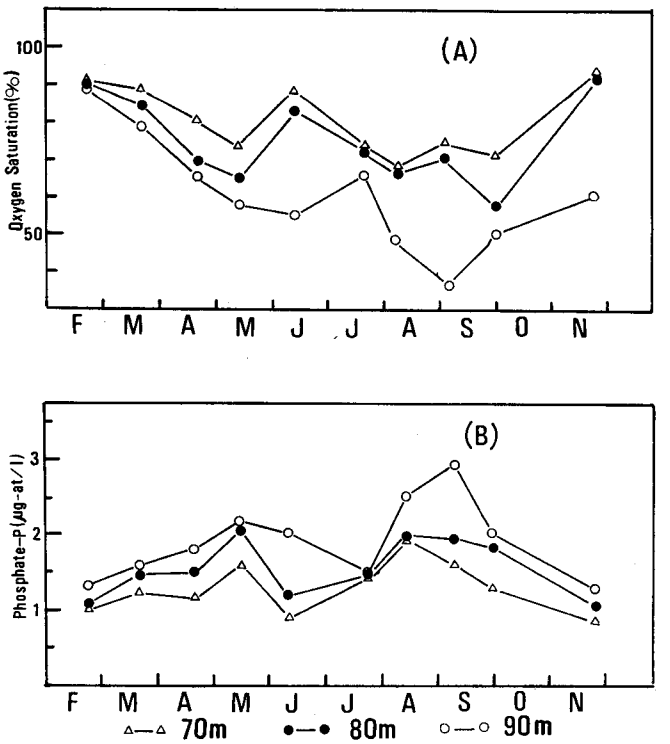

Fig. 11 Seasonal changes on oxygen saturation (A) and phosphate-P(B) in bottom water at station 23, 1974.

月において，上層で行なわれる生物生産過程が上層での PO_4-P 現存量の変化に重要な要因となり，特に夏季の上層で行なわれる有機物分解過程も PO_4-P 現存量の変化に重要な要因となる。

3. 下層における有機物分解過程による影響

図 11 は Sta. 23 における底層（70 m, 80 m および 90 m）での酸素飽和量と PO_4-P 濃度の周年変化を示している。春季～夏季にかけて，酸素飽和量の減少に伴なって PO_4-P 濃度が増加する傾向にある。この傾向より，下層で有機物分解による PO_4-P の再生が認められる。下層における有機物分解による PO_4-P の再生量を計算するために，2月～6月までの Salinity: 33.4～33.5‰ の同一海水を追跡し，その海水中での PO_4-P の濃度と A.O.U. との関係を図 12 に示す。2月～6 月までの 110 日間に再生される PO_4-P 値は 1.9 μg-at/l である。この値より2月～3月の 27 日間で下層で再生される PO_4-P 量を求めると，その量は 18×10^6g-at であり，下層の現存量の増加量 (17×10^6g-at) とほぼ等しい値を示している。下層で行なわれる有機物分解による PO_4-P の再生が下層での現存量の増加に影響を与えているが，3月以降に，下層の現存量にそれほどの増加が認められない。3月以降，親潮系水および津軽暖流水の流入によって，高い PO_4-P 濃度をもつ底層水の一部が湾外へ流出する現象が認められ，この現象が下層の現存量の変化に反映しているものと考えられる。

噴火湾の下層における PO_4-P 濃度と A.O.U. の関係より，PO_4-P の再生量と酸素の消費量の原子比の季節的変化を見ると（表1），その比は，約 1:160～200 である。Redfield ら[9] によって報告され

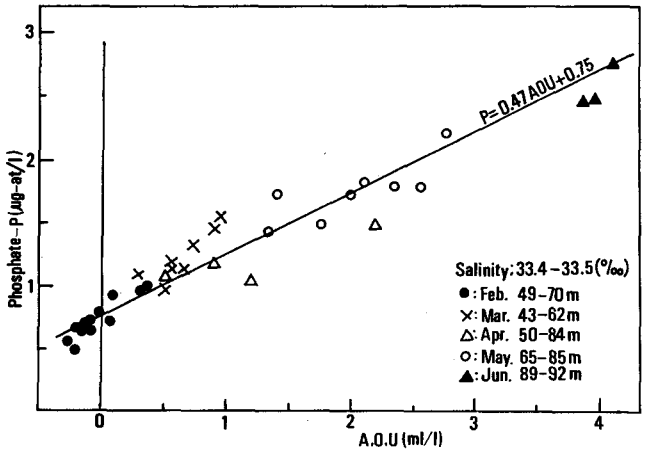

Fig. 12 Relation between phosphate-P and apparent oxygen utilization in the core of typical water mass (S=33.4–33.5‰) in Funka Bay during spring, 1974.

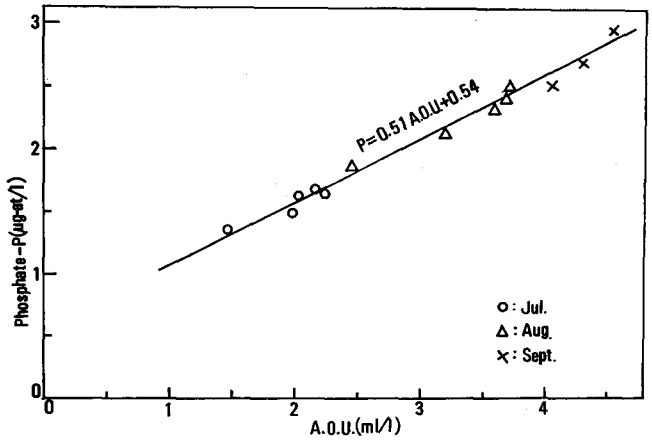

Fig. 13 Relation between phosphate-P and apparent oxygen utilization in bottom water (S=33.4–33.5‰) in Funka Bay during summer, 1974.

た外洋域における P:O 比 (1: 276) に比べると，噴火湾でのその比はかなり低い値を示し，酸素消費量に対して PO_4-P 量が過剰に存在する。また，春季～夏季の 50～90 m 層の同一塩分の海水を追跡した結果，PO_4-P の再生量と酸素消費量との原子比は 1: 187 である。さらに 7 月～9 月において，33.4～33.5‰ の塩分量をもつ底層水中での PO_4-P 濃度と A. O. U. との関係より (図 13)，夏期の底層における PO_4-P の再生量と酸素消費量との原子比は 1: 172 であり，春季～夏季における 50～90 m 層での原子比より低い値を示している。これらの現象は噴火湾特有の有機物分解過程によるものか，あるいは，酸素消費に関係しない PO_4-P が下層に供給されることを意味するものと推測される。夏季噴火湾の堆積物の表層は還元状態を示し，その表層で著しい有機物分解が行なわれていることが明らかにされている[10]。下層への PO_4-P の供給源として，堆積物中で有機物分解によって再生される

Table 1. *Variation in seasonal changes on the atomic ratio of oxygen and phosphorus calculated from A.O.U. and concentration of phosphate-phosphorus.*

Month		P: O atomic ratio	r
Feb.	33.0‰<	1:−195	0.85
May	33.0—33.6‰	1:−189	0.93
July	33.0—33.6‰	1:−194	0.98
Sept.	33.0−33.6‰	1:−177	0.98
Nov.	33.6‰<	1:−156	0.93

PO_4-P が考えられる。

結　　論

冬季の湾内の PO_4-P 濃度が 0.7～1.9 μg-at/*l* であり，鉛直的にほぼ均一であったのに対し，夏季の表層で PO_4-P 濃度は，0.2 μg-at/*l* 以下の値を示し，底層で PO_4-P の蓄積 (2.0 μg/*l* 以上) が認められた。また湾内に現存する PO_4-P 総量を求めた結果，3月に最大値を，10月に最小値を示し，季節的に著しい PO_4-P 総量の変化が認められた。

湾内における PO_4-P 現存量の周年変化に影響を与える要因として，親潮系水および津軽暖流水の流入，上層で行なわれる生物生産および下層で行なわれる有機物分解が考えられた。さらに，夏季の上層で著しい有機物分解が行なわれていることが推測され，この有機物分解に伴なって再生された PO_4-P が現存量の変化に影響を与えたことが考えられた。また，下層における有機物分解時の PO_4-P の再生量と酸素の消費量との関係より，堆積物からの PO_4-P の供給が重要な要因となりうることが推測された。

謝　　辞

この研究を行なうにあたり，水温に塩分量に関する資料の引用ならびに有益な助言をいただいた大谷清隆助教授に謝意を表します。また，試料採取に御協力を賜わりましたうしお丸乗船員一同に深く感謝の意を表します。本研究の一部は文部省特定研究「北方海域の生態系と化学物質の挙動との相互作用に関する研究」研究代表者，川村輝良教授によった。

文　　献

1) 日高考次外 (1934). 噴火湾海洋観測報告. 海洋時報 **6**, 209–239. 海洋気象台.
2) 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. 北大水産彙報 **20**, 303–312.
3) 大谷清隆 (1971a). 同上 II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性. 同誌 **22**, 58–66.
4) 大谷清隆・秋葉芳雄・吉田賢二・大槻知寛 (1971b). 同上 III. 親潮系水の流入・滞留期の海況. 同誌 **22**, 129–142.
5) 大谷清隆・秋葉芳雄・伊藤悦郎・小野田勝 (1971c). 同上 IV. 津軽暖流水の流入・滞留期の流入・滞留期の海況. 同誌 **22**, 221–230.
6) Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1968). A practical handbook of seawater analysis. 311 p, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
7) 木戸和男 (1976). 噴水湾の水塊交替と底層水の滞留・流出. 昭和50年度北海道大学水産学部修士論文, p. 81.

8) 米田義昭・築田　満・内田正文 (1975). 噴水湾の海況 VI. 基礎生産量と有機物の挙動, 昭和50年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, p. 139.
9) Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. p. 26–77. In Hill, M.N. (ed), The sea. 2nd Ed. 554 p. John Wiley & Sons, New York.
10) 築田　満・米田義昭・松永勝彦・門谷　茂 (1976). 噴火湾の堆積物に関する研究 I. 間隙水の栄養塩濃度と有機物含量について. 昭和49年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p. 162.