北太平洋の海洋化学的研究 (VI)

赤道太平洋における燐の分布*

北 村 弘 行**

Chemical Oceanography in the North Pacific (VI)

Phosphate in the Equatorial Pacific Ocean

Hiroyuki KITAMURA

Abstract: The distribution of phosphate phosphorus in the Equatorial Pacific Ocean is described for the upper five hundred meters along the meridional section.

The distribution of the phosphate in the vicinity of the equator indicates the current system and shallow upwelling in the divergence area.

Utilizing the combination of phosphate phosphorus and chlorinity values to form a phosphate-chlorinity relationship, the author finds that the relationship is useful to analyse three current systems (North Equatorial Current, Equatorial Countercurrent and South Equatorial Current) in the Equatorial Pacific Ocean. And it seems that phosphate content has been increased during these thirty years when compared with Carnegie survey in 1929.

1. 緒 論

太平洋赤道海域は、北赤道海流、赤道反流、南赤道海流の三者が夫々西、東流しており、これらの構造の解明に中部太平洋赤道海域では近年精力的な調査がハワイにある Pacific Oceanic Fishery Investigations¹⁾ (POFI) によつてなされている。東部太平洋赤道海域は Scripps Institution of Oceanography, U.S. Navy Electronic Laboratory, POFI, Peruvian Navy などによつて 1952 年の春～夏、1955 年の夏～冬に 130°W 以東において協同観測^{2),3)} がなされている。西部太平洋赤道海域をみると組織的な調査はあまりなく、その上 phosphate-P を測定しているのは若干あるにすぎない。近年水産関係の調査船による断片的な観測⁴⁾、海上保安庁⁵⁾による EQUAPAC 及び IGY の観測等が行なわれている状態である。又これらの観測では赤道をまたがつの詳細な鉛直構造はよく調査されていない。筆者はさきにほぼ 135°E 沿いの赤道以北 20°N までの phosphate-P の鉛直

分布について、その概略を紹介⁶⁾した。この小論では太平洋の赤道海域全般における phosphate-P と海流の関連性について若干述べる。

2. Phosphate-P の資料について

用いた資料は第 1 図に示してある観測から得られたもので、各観測線はほぼ北赤道海流、赤道反

Fig. 1. Map shows locations of sectional lines of the oceanographical observations. (C..... CARNEGIE.) Roman numerals: I, Sec. I SHELLBACK; II, Sec. II SHELLBACK; III, Sec. III H. M. SMITH; IV, Sec. IV H. M. SMITH; V, Sec. V TENYO-MARU; VI, Sec. VI SHUNYO-MARU.

流、南赤道海流の三者にまたがっており、且 phosphate-P の測定がおこなわれている。phosphate-P の定量法は観測船によつて異なつたり、

* 1959年9月11日受理。

** 神戸海洋気象台 Kobe Marine Observatory.

採水から分析までの時間に変動があるため厳密な比較は出来ないが、赤道海域に分布する phosphate-P の大勢はつかむ事が出来る。尚往年の観測と比較するため “Carnegie” 号の資料⁷⁾も参照した。

3. Phosphate-P の鉛直分布

第2図(東部及び中部太平洋赤道海域)及び第3図(西部太平洋赤道海域)に示した鉛直断面は夫々位置は第1図によつて知られる。各観測断面は観測の季節が異なっているために、浅層は幾分季節変動の影響が含まれているが、海流別の鉛直構造はよくあらわれている。

a. 東部太平洋赤道海域(第2図 a. b)

南赤道海流は赤道付近で等量線が南に向つて上昇していることによつてみられる。これは Sec. I

Fig. 2. a Fig. 2. b

Fig. 2. Distribution of phosphate-phosphorus ($\mu\text{g-atoms/L}$) in a vertical north-south section in the Equatorial Eastern and Mid-Pacific Ocean. a) Section I, along 100°W . b) Section II, along 120°W . c) Section III, along 140°W . d) Section IV, along 172°W .

より Sec. II の方が phosphate-P の分布から明瞭にみられる、赤道逆流は等量線が各断面共に北に向つて上昇する状態によつて判明するが、Sec. II の 300 m 以深は Sec. I にくらべて明瞭でない。北赤道海流はこの赤道逆流の北側で等量線が北に向つて下降している状態を示していることによつてわかる。Sec. II においては $15\sim 19^\circ\text{N}$ の間に存在する。

b. 中部太平洋赤道海域(第2図 c. d)

この海域で顕著な現象は、Sec. III にみられる赤道逆流の北縁で “phosphocline” と呼ばれる躍層⁸⁾がある事で、 $10\sim 20\text{m}$ の深度で $0.8\sim 2.4\mu\text{g. at. P/L}$ の増加をみせている。 170°W 附近の分布は Sec. IV に示してあるが、赤道逆流の範囲は

phosphate-P の分布から $2\sim 8^\circ\text{N}$ の間で, Dynamic height, 水温等⁹⁾の分布と一致している。

Fig. 2. c

Fig. 2. d

c. 西部太平洋赤道海流(第3図 a. b)

150°E , 135°E における二つの断面 (Sec. V, VI) からは赤道逆流と南赤道海流の境界は 3°N 附近、赤道逆流と北赤道海流の境界は 7°N 附近になっている。この分布から鉛直方向の海水の流動はほぼ 500 m 程度まで達していると考えられる。

Fig. 3. a

Fig. 3. b

Fig. 3. Distribution of phosphate-phosphorus ($\mu\text{g-atoms/L}$) in a vertical north-south section in the Equatorial Western Pacific Ocean. a) Section V, along 150°E . b) Section VI, along about 135°E .

太平洋赤道海域の鉛直断面によつて phosphate-P の緯度変化状態を述べたが、ここに存在する三つの海流は phosphate-P の分布から明瞭に区別することが出来、北赤道海流と赤道逆流の境界部で upwelling が、赤道逆流と南赤道海流の境界部で sinking が示される。東部太平洋赤道海域は南赤道海流に接して Peru Current が存在するので、phosphate-P が多くなつており、中央アメリカ西方でも zooplankton 量が多く、生産力の大きい事を示して、phosphate-P は多い。深

層の分布をみると、 $3.25 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上含有しているのは Sec. I における 6°N 以北、Peru Current 内で水温が $4\sim 5^\circ \text{C}$ を示す深度に中心を持った水塊である。然しこれは赤道海流となつて外洋遠く流れると 1000m 以浅で $3.0 \mu\text{g. at. P/L}$ を越すところはあまりあらわれない。

4. Phosphate-P と chlorinity との関係

水塊の性質を解明するために水温、塩素量、溶在酸素等の要素を種々組合せて、関係を調べることは古くから行なわれている¹⁰⁾。SEIWELL¹¹⁾ は $\text{O}_2\text{-S}$ 曲線から水塊の水平流動を研究した。これらは定めた組合せの保持性をもとにして水塊の解析を行なつている。組合せの要素に非保存性 (non-conservative) のものを使うことによつて水塊の小さな変動の解析に有効であると考えられる。ここでは phosphate-P と chlorinity の組合せによつて赤道太平洋海域の水塊を調べてみる。赤道太平洋では 100m 以浅は降水、phytoplankton の増減等が影響して局地的な変動をおこすことと、 1000m 以深は chlorinity の変化が少ないため大体 $100\sim 1000\text{m}$ 以内についての関係を求めた。

a. 東部太平洋赤道海域 (第4図)

東部太平洋赤道海域における P-Cl 曲線を海流別に記すと第4図の如くなる。St. Baird 9 (第4図A) は北赤道海流, St. Baird 15 (第4図B) は赤道逆流, St. Baird 21 (第4図C) は南赤道海流を示している。又St. Horizon 51 (第4図D) は中央アメリカ西方海域を代表させてある。

St. Baird 9 における P-Cl 関係は phosphate-P が $2.0 \mu\text{g. at./L}$ までは chlorinity は $19.0\sim 19.1\text{‰}$, $2.0\text{--}2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ で $19.1\text{--}19.2\text{‰}$ に変化し、それ以後は phosphate-P が $3.5 \mu\text{g. at./L}$ に増加して、chlorinity は 19.1‰ に減少していく。St. Baird 15 になると chlorinity が高くなるために phosphate-P が $2.0 \mu\text{g. at./L}$ 程度増加するまでは北赤道海流より約 1.5‰ 程高い関係を示しているが、深度を増して $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上になると北赤道海流と同じ関係を持つようになる。St. Baird 21 は赤道逆流より chlorinity が高い結果 $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ より低いところは図

Fig. 4. Phosphate-chlorinity relations in the Equatorial Eastern Pacific Ocean. Abbreviations: A. $15^\circ\text{--}03' \text{N}$, $116^\circ\text{--}14' \text{W}$; B. $9^\circ\text{--}06' \text{N}$, $115^\circ\text{--}44' \text{W}$; C. $3^\circ\text{--}05' \text{N}$, $115^\circ\text{--}44' \text{W}$; D. $6^\circ\text{--}56' \text{N}$, $79^\circ\text{--}54' \text{W}$.

の様に曲線がづれるが $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上になると前二者と同じところへ走向が達する。St. Horizon 51 は陸地より約 50 哩沖合にあるが、この観測点は phosphate-P が $2.5 \mu\text{g. at./L}$ 以上は前三者より chlorinity が約 1‰ 高い結果図の様にほぼ平行状態となり、上層は chlorinity が低い結果前者とは全然異なつた曲線を示している。これらを総合すると第4図に示す如く、ある幅を持った P-Cl の関係が得られる。

b. 中部太平洋赤道海域 (第5図)

中部太平洋赤道海域は1例として 172°W 沿いの若干の観測点について述べる。St. Smith 7 (第5図A) と St. Smith 12 (第5図B) は北赤道海流であるが St. Smith 7 は北太平洋中層水の影響がみられ phosphate-P で $1.5\text{--}2.5 \mu\text{g. at./L}$ のところで chlorinity が 19.0‰ より低くなつてゐる。St. Smith 12 とは一度 $3.2 \mu\text{g. at. P/L}$ の極大値を示してから合一している。St. Smith 12 の変化は $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ に増加するまでは 19.30‰ から 19.15‰ へと低下しており、 $2.5\text{--}3.3 \mu\text{g. at. P/L}$ になると $19.15\text{--}19.10\text{‰}$ の範囲になつている。赤道逆流、南赤道海流共に phosphate

-P が $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上含有する水は同一系統の水塊を示している。これを総合すると第5図に示した様になる。

Fig. 5. Phosphate-chlorinity relations in the Equatorial Mid-Pacific Ocean. Abbreviations: A. $15^{\circ}-00' \text{ N}$, $171^{\circ}-54' \text{ W}$; B. $9^{\circ}-54' \text{ N}$, $172^{\circ}-02' \text{ W}$; C. $5^{\circ}-00' \text{ N}$, $172^{\circ}-02' \text{ W}$; D. $1^{\circ}-00' \text{ S}$, $171^{\circ}-57' \text{ W}$; E. $4^{\circ}-05' \text{ S}$, $171^{\circ}-56' \text{ W}$. Inset relations shows of the Equatorial Western Pacific Ocean.

c. 西部太平洋赤道海域 (第5図)

西部太平洋赤道海域は phosphate-P の資料が殆どないためここでは 600 m 以浅ではあるが 135° E 沿いの資料⁶⁾によつて傾向を調べた。この海域は赤道反流, 南赤道海流の chlorinity は中部太平洋赤道海域よりも低い値を示すため P-Cl の曲線は中部太平洋赤道海域の北赤道海流系の曲線帯に含有される傾向を示している。その他の詳細な事は断定出来ない。

5. Carnegie 号観測との比較

Fig. 6. Phosphate-chlorinity relations of the CARNEGIE and POFI researches in the Equatorial Mid-Pacific Ocean.

“Carnegie” 号は第1図に示す航路によつて赤道太平洋の調査を行なつたが, phosphate-P と chlorinity との関係は第6図に示してある。この観測結果と POFI が $180^{\circ}-140^{\circ} \text{ W}$ で実施した観測結果とを比較すると, 1) Carnegie は赤道太平洋で $3.0 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上の測定は2測点だけ得ている, 2) POFI に依つて得られた広い範囲に存在する $3.0 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上の含有量は約30年間の時間的経過によつて上層からの沈降によるものであるうか, 等について検討を要するものと思われる。

6. 要約

北赤道海流, 赤道反流, 南赤道海流の三者が, 含有する phosphate-P の鉛直断面における分布構造を説明した。三海流の運動にともなつて, phosphate-P は水温, chlorinity と共に海流の区別をあらわしており, 水平流動と共に鉛直流動の影響によつて長距離の輸送にもかかわらず各海流別に保持する phosphate-P の値はあまり変らない。

Phosphate-P と chlorinity との関係を求めた結果は $100-1000 \text{ m}$ にあつては phosphate-P が $2.5 \mu\text{g. at. P/L}$ 以上の含有量を持つ水は各海流ともに同一系統を示し, それ以下は各海流を特徴づける曲線帯内に含有される。

“Carnegie” 号の観測と比較すると, 近年の観測値は広範囲に $1.0 \mu\text{g. at. P/L}$ 程度含有量が增加しているのがみられる。

文 献

- 1) SETTE, O. E., et al, 1954: Progress in Pacific Oceanic Fishery Investigations 1950-53. U. S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report: Fish. No. 116.
- 2) WOOSTER, W. S. and T. CROMWELL, 1958: An oceanographic description of the eastern tropical Pacific. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif., Vol. 7, No. 3, pp. 169-282.
- 3) Scripps Institution of Oceanography 1952: Data collected by Scripps Institution Vessels EASTROPIC expedition September-December 1955. SIO Reference 56-28.
- 4) FUKAI, R., 1953: On the distribution of nutrient salts in the Equatorial North Pacific. Bull. Chem. Soc.

- Japan., Vol. 26, No. 9, pp. 485-489.
- 5) 吉田昭二, 二谷頼男, 鈴木成二 1959:
赤道海域一斉海流測定について (1958年1~2月)
水路要報 No. 59, pp. 1~30.
 - 6) 北村弘行 1959:
パラオ海域の磷酸塩 科学 Vol. 29, No. 6, pp. 309-310.
 - 7) Scientific results of Cruise VII of the Carnegie during 1928-1929 under command of Captain J. P. Ault, Oceanography I-B.
 - 8) AUSTIN, T. S., 1954:
Mid-Pacific oceanography Part V, Trans-equatorial waters, May-June 1952, August 1952. U. S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report: Fish. No. 136.
 - 9) CROMWELL, T., 1954:
Mid-Pacific oceanography II. U. S. Fish and Wildlife Service Spec. Sci. Report: Fish. No. 131.
 - 10) HELLAND-HANSEN, B., 1918:
Nogen hydrografiske metoder. Fordhandlinger ved de skandinaviske naturforskeres 16 de mote i kristiania 10-15 Juli, 1916. Oslo.
 - 11) SEIWELL, H. R., 1938:
Application of the distribution of oxygen to the physical oceanography of the Caribbean Sea region. Papers in phys. Oceanogr. and Meteorol., Vol. VI, No. 1, 60 pp.