

太平洋西部深海沉积物中有机质、氮、磷的初步研究

鲍根德

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

内容提要: 本文通过对太平洋西部(南纬 2° — 8° , 东径 170° — $173^{\circ}20'$)水深在3800—5200米7个站位柱状样中有机质、氮、磷的含量分析, 并与沉积物中粒度、微古、底栖生物、矿物资料的对比研究, 指出了太平洋西部深海沉积物中有机质、氮、磷的分布规律, 控制因素及地球化学特征。

资料研究表明: 有机质、氮主要来自海水的化学作用及生物作用的沉淀物, 而磷同时又有火山喷发时颗粒无机磷的加入; 有机质、氮的含量分布与沉积物类型密切相关, 在某种程度上, 对太平洋西部的沉积环境起了标志作用。

主题词: 沉积物 有机质 氮 磷 太平洋

第一作者简介: 鲍根德 男 36岁 工程师 海洋地球化学

一、前言

从五十年代初开始, 各国学者对陆架浅海区沉积物中有机质、氮、磷的研究已有不少报道^[1、2、3、6、7、9]。然而, 对于太平洋深海区沉积物中这些元素的详细研究尚为少见, 尤其对在中央太平洋海盆周围深海沉积物中有机质、氮、磷的研究, 至今未见报道。

为此, 笔者利用我国参加“第一次全球大气试验”(FGGE)期间, 在太平洋西部深海区所取得的地质、生物资料, 对调查区沉积物中有机质、氮、磷的含量及其分布规律、控制因素和某些地球化学特征作一探讨。

二、材料和方法

1. 取样及沉积环境

1978年12月—1979年7月, 国家海洋局调查船“实践”号和“向阳红09”号, 在中央太平洋海盆西部, 位于美拉尼西亚海区的东侧, 北临吉尔伯特群岛、瑙鲁岛和大洋岛, 西临埃利斯群岛, 西南为维提亚海沟, 南纬 2° — 8° , 东径 170° — $173^{\circ}20'$ 海区, 用重力取样管共取得水深在3,800米—5,200米, 7个站位的柱状样。沉积物类型主要为有孔虫钙质软泥、放射虫硅质软泥和棕色深海粘土。图1是取样站位和浮游有孔虫分布。

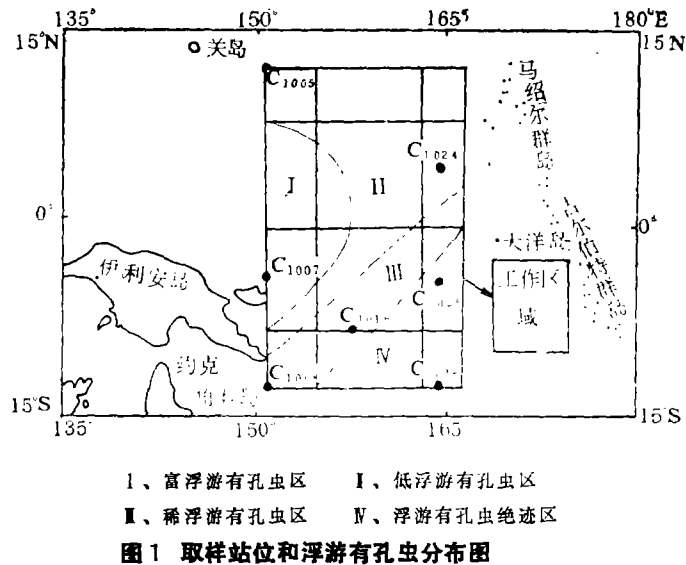


Fig.1 Sampling location and foraminifera distribution in the Pacific western region

2. 样品制备及分析方法

样品取上后，即装瓶低温保存，返航后放置烘箱内加温至80℃左右干燥，经研磨过0.25毫米的筛子。在作各项分析之前再经过105℃左右干燥，最后为实验试样。

有机质按通常的丘林容量法测定，即用氧化剂($K_2Cr_2O_7 \cdot H_2SO_4$ 混合液)将有机碳氧化成二氧化碳，按照氧化剂耗量多少计算出有机质的量，相对偏差为0.83%。

磷的测定采用钼蓝法，即在经消煮处理后的样品中加入一定量的钼酸胺-硫酸混合试剂和1、2、4氨基萘酸磺酸还原剂，产生蓝色 $(NH_4)_2PO_4MoO_3$ 化合物后在721分光光度计上比色，然后计算其含量，相对偏差为6%。

氮的测定同样进行消煮处理，使硝酸盐、有机氮素转化为 $(NH_4)_2SO_4$ ，然后加碱使 NH_3 释放，用 H_3BO_3 吸收，最后用标准盐酸滴定计算出氮的含量，相对偏差为0.46%。

三、含量分布及其规律

表1、2是研究区沉积物中有机质、氮、磷的含量分析及与其它海区沉积物中含量的比较结果，表3是沉积物中含量的频率分布。

从表1—3中可以看出，表层沉积物中有机质、氮、磷的含量变化分别为0.37—1.18%、0.0069—0.055%、0.037—0.258%。它们的平均含量分别为0.77%、0.039%、0.141%。有机质含量在0.70—0.90%的样品占40%，氮大多数样品在0.300—0.050%范围内，而磷40%的样品是在0.100—0.200%之间。

表1 沉积物的化学分析一览 单位(%)

Table 1 Results of chemical analysis of sediments (percentage of sediment) the surface layer is 0—2cm, the middle layer 40—65cm and the deep layer 70—100cm

项 目	水 深 (m)	有 机 质			氮			磷		
		表 层	中 层	深 层	表 层	中 层	深 层	表 层	中 层	深 层
C 1005	4040	0.60			0.033			0.058		
C 1007	3800	0.37		0.39	0.0069		0.0078	0.037		0.027
C 1008	5200	0.90	0.81	0.71	0.045	0.040	0.036	0.147	0.196	0.194
C 1016	5000	0.95	1.32		0.046	0.051		0.206	0.134	
C 1024	1100	0.62	1.11	1.25	0.023	0.019	0.012	0.150	0.510	0.605
C 1025	5200	0.72	0.74		0.036	0.037		0.258	0.263	
C 1026	5200	1.18		0.85	0.055	0.020		0.131	0.086	

注：表层指0—25厘米，中层指40—65厘米，深层指70—100厘米。

研究区平均含量同世界其它海区沉积物中这些元素的丰度比较，从表2中显而易见，有机质、氮的含量与物质来源较为贫乏的大西洋西部、南印度洋的沉积物相接近，而磷要比南印度洋高出一倍。同物质来源较为丰富的陆架近岸浅水区等陆源沉积物相比，有机质、氮要比这些海区少得多，尤其是氮，要低一倍乃至6倍，而磷除与东海近岸浅水区相接近外，又要比东海大陆架中部和日本七尾湾高2—3倍。

表2 不同海区沉积物中有机质、氮、磷的含量比较 单位%

Table 2 Comparison of the contents of the organic material, nitrogen and phosphorus in sediments from different areas (percentage of sediment)

海 区 项 目	东海近岸浅水区	日本七尾湾	东海大陆架	太平洋西部	大西洋西部	印度洋南部
	[7]	[3]	1)		[2]	[6]
有机质	0.78	3.13	0.92	0.77	0.69	0.64
氮	0.071	0.21	0.064	0.039	0.044	0.036
磷	0.147	0.079	0.046	0.141		0.071
水深(m)	0—20	5—45	17—135	3800—5200	2720—5400	11—1275
样品数	38	19	37	7	4	6

1) 东海大陆架调查资料

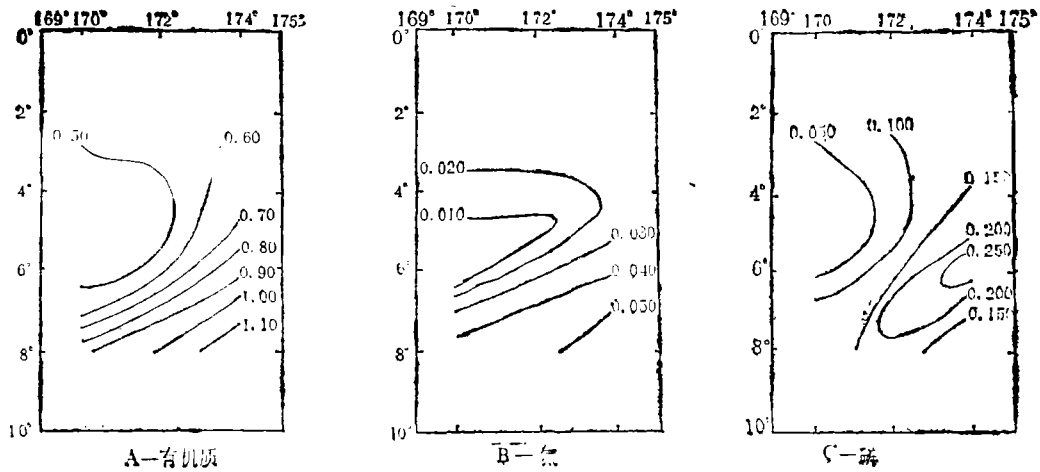


图2 有机质、氮、磷的含量分布

Fig. 2 Horizontal distribution of the organic material, nitrogen and phosphorus (percentage of sediment)

表3 沉积物中有机质、氮、磷、含量的频率分布

Table 3 Frequent distribution of the organic material, nitrogen and phosphorus in sediments

含量范围 %	频数	频率 %	含量范围 %	频数	频率 %	含量范围 %	频数	频率 %
0—0.30	0	0	0—0.010	2	13.3	0—0.100	4	26.7
0.30—0.50	2	13.3	0.010—0.030	4	26.7	0.100—0.200	6	40.0
0.50—0.70	2	13.3	0.030—0.050	7	46.7	0.200—0.300	3	20.0
0.70—0.90	6	40.0	0.050—0.070	2	13.3	0.300—0.500	0	0
0.90—1.10	5	33.3				0.500—0.600	1	6.7
						0.600—0.700	1	6.7

图2 A、B、C是研究区表层沉积物中有机质、氮、磷的平面分布。从图中可以清楚地看出，有机质、氮的分布趋势基本相同，即研究区的东南含量高、西北低。最高为棕色粘土的C₁₀₂₆站，有机质、氮的含量分别为1.18%和0.055%。最低处在研究区中部C₁₀₀₇站，有机质、氮的含量分别为0.37%和0.0069%。磷的分布和有机质、氮相比，既有共同点，又有不同之处，相同的是最低含量也处在C₁₀₀₇站，为0.037%。不同的是最高值处在中部的C₁₀₂₆站的硅质放射虫软泥中，含量为0.258%。而在棕色粘土中处于较低值为0.131%。

有机质、氮上述这些趋势，刚好与沉积环境的水深呈正相关（表1），而与沉积物中浮游有孔虫的数量呈负相关（图1）。

四、控制因素

1. 有机质、氮、磷与物质来源的关系

众所周知,海洋沉积物中有机质、氮、磷的主要来源有两部分:1)来自大陆“三废”的排入;2)海水的化学作用和生物作用的合成。另外磷还可来自火山喷发和海水的物理化学作用沉淀。根据研究区远离大陆、水深大、沉积速率低、沉积环境相对较为稳定,终年温度、盐度变化小等情况分析,有机质、氮、磷主要来自生物有机残体及细粒沉积物对海水中营养物质的吸附。因此,研究区沉积物中有机质、氮的含量较陆架浅水区等沉积物中低,而与大西洋、印度洋相接近(表2)。磷的含量较高,以下的讨论将表明,与研究区长期接受火山物质和底栖生物量少有关。

2. 有机质、氮、磷与生物的关系

现场调查和镜下观察表明,有机质、氮、磷含量低的西北部,沉积物主要为灰色或灰黄色,生物含量大于30%的钙质软泥,生物主要为浮游有孔虫壳体,以红拟抱球虫 *Glaobgedesruber*, 袋拟抱球虫 *G. Sacculifera* 为组合的易溶种,只有少量的深水型介形虫和放射虫。在研究区东南深水区中,沉积物主要为棕黄色,由30%以上的放射虫壳体组成的硅质软泥,主要多见为斜室普林虫 *Pulleniatina Obliqloculota*, 敏纳圆幅虫 *Globorotalia menardii*, 肿圆幅虫 *Globorotalia tumide* 以及杜氏新方球虫 *Neogloguvin dutartrei* 等抗溶种,并见到深水型底栖胶质有孔虫。有孔虫壳体受到强烈溶解,种属和含量都有大幅度的减少。

在研究区,由于长期接受火山物质,沉积环境大多是氧化环境^[10]。这样西北角尽管有大量的浮游有孔虫,但由于火山喷发时大量CO₂进入水体,使有孔虫壳体CaCO₃迅速溶解,由于溶解氧、金属氧化物的不断作用,导致壳体内的有机残体在细菌的媒介下,迅速分解,从而从沉积物中失去。而抗溶的硅质放射虫、底栖型胶质有孔虫又很少,导致沉积物中生物成因的有机质、氮、磷的含量相对低。

相反,研究区东南角深水区,虽然沉积到海底的有孔虫壳体迅速溶解,但有大量的抗溶硅质放射虫和底栖型胶质有孔虫,由于有壳体的保护,生物残体不易分解,致使沉积物中生物成因的有机质、氮、磷的含量偏高。

为了解释上述这种因素,作者对比了以生物组成来划分的沉积物类型图,如图3所示,不难看出有机质、氮、磷的分布和沉积物类型有关。作者认为,正是生物的这种分布趋势,是太平洋西部深海区沉积物中有机质、氮的分布随着沉积物中硅质含量增加而升高(表4),却与浮游有孔虫的数量呈负相关的重要因素之一(图1)。又因为上述这些生物的分布和数量受水深的影响,导致沉积物中有机质、氮又与水深呈正相关(表1)。

3. 有机质、氮、磷与粘土的关系

通过图2、4的对比分析,不难发现沉积物中粘土(<0.004毫米粒级)含量的多寡与有机质、氮、磷的含量分布有关。毋庸置疑,粘土也是太平洋西部沉积物中有机质、氮、磷含量的控制因素。这是由于沉积物颗粒越细,越容易造成不透气性的嫌氧环境,有利于有机物质的保存。同时也与粘土矿物本身的吸附有关,因为阳离子的存在,

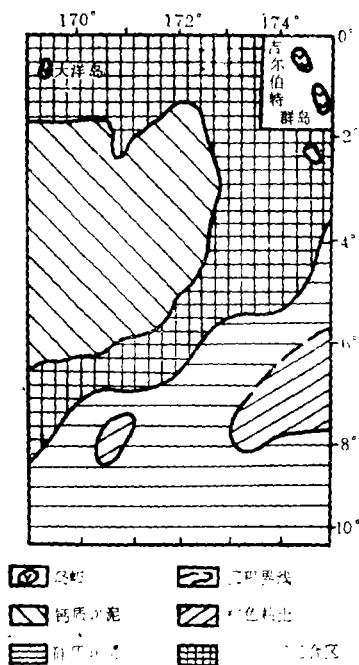


图3 沉积物类型图

Fig. 3 Types of the sediments in the study area

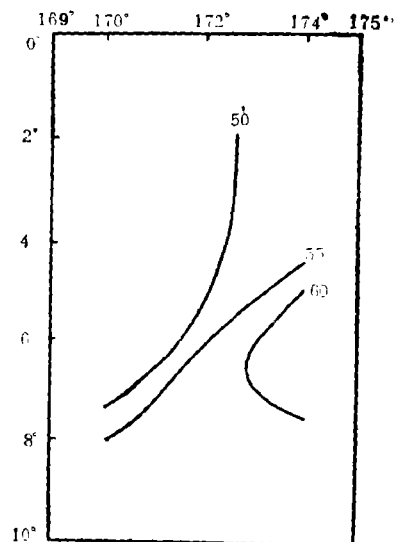


图4 粘土的百分含量分布

Fig. 4 Horizontal distribution of clay ($<0.004\text{mm}$ of sediment)

能与有机颗粒，特别是那些来自浮游生物代谢物——蛋白质、氨基酸、醌类、酚类和类脂物，以及它们的合成产物——腐殖物质牢固的结合^[4]，从而使沉积物中粘土的含量和有机质、氮、磷的含量分布有关。

4. 磷与碎屑矿物的关系

如图2所示，水深处在5200米的棕色粘土 C_{1020} 站，有机质、氮的含量均为研究区最高，而磷的含量较低，相反的 C_{1025} 站磷的含量为研究区的最高，而为什么有机质、氮的含量较低呢？作者认为，这与这两站碎屑矿物的数量多寡有关（指风化长石和氧化铁凝胶占轻矿物总量的百分比分别为25.66%和81.5%）。因为图5的趋势表明，磷的含量分布除受粘土影响外，主要可能受碎屑矿物的控制。原因是研究区处在深海区，由于上覆水体中生存着数量众多的浮游生物，有机磷较有机质、氮先被生物利用所致，这与 C_{1007} 、 C_{1020} 等站发现磷灰石存在相吻合。作者认为，火山喷发时颗粒磷的加入，底栖生物缺乏可能是导致太平洋西部深海区沉积物中磷含量高的重要因素。当然也不能忽视生息于深海之中脊椎动物骨骼遗体的存在影响。

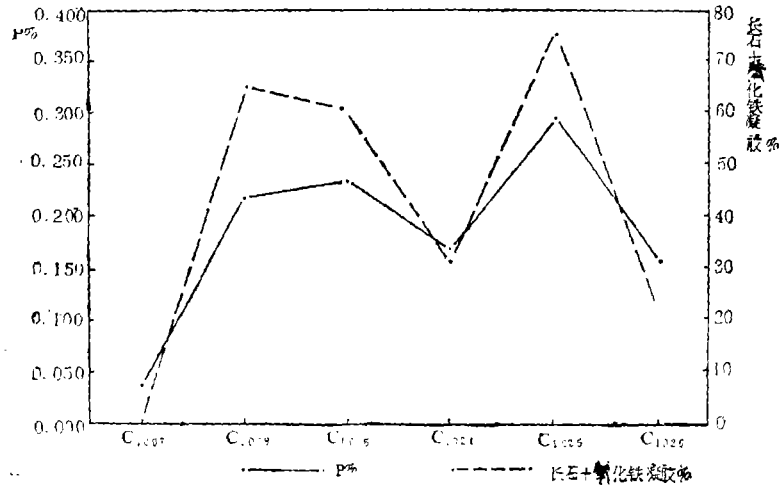


图5 磷与碎屑矿物的关系

Fig. 5 Relationship between phosphorus and clastic mineral

五、地球化学特征

1. 有机质与氮的关系

为了说明有机质与氮的相关程度,作者用最小二乘法原理统计了表层沉积物中有机质与氮的方程为:

$$y_N = 0.0592X - 0.016, r = 0.966, n = 7.$$

式中 y_N 为氮的百分含量, X 为有机质百分含量, r 为相关系数, n 为样品数。

以上统计结果和图6的趋势表明,太平洋西部沉积物中氮主要来自生物有机体中的蛋白质、氨基酸等碳水化合物。这与前述有机质、氮主要受控于生物种属和粘土量是一致的。

为了提供原始有机质的概念,作者对所有沉积物样品中 $C_{\text{有机}}/N$ 比值进行了计算(表4)。计算表明表层沉积物中 C/N 比值的变化在11.26—30.43之间,平均为14.98。这个值比近岸浅水区,陆架和大西洋深海区域都高。这可能与研究区远离大陆,有机物供给缺乏,沉积速率低和部分含氮类碳水化合物的矿化有关。众多的资料研究表明,影响 C/N 比值的变化,主要取决于有机物本身的组成成分和有机物补给和分解的速度〔9〕。

C/N 比值随沉积物厚度的变化,除 C_{1024} 、 C_{1026} 站与大西洋中部沉积变化相似外,其余各站都变化缓慢或基本不变,这表明沉积物中有机质矿化的速度可能相当缓慢。这可能是研究区处于深水区,随着沉积物厚度的增加,细菌的作用减弱或消失所致〔5〕。而 C_{1024} 、 C_{1026} 站 C/N 值的垂直变化可能是由于研究区位于火山喷发区,构造原因(如地震、滑坡)引起的浊流,导致沉积层次变换或钙质有孔虫软泥和硅质放射虫软泥交替的结果〔8〕。

2. 氮与磷的关系

7个站位上表层沉积物中氮和磷的关系见图6,为了进一步说明它们相关的程度,

表 4 沉积物中C/N比值计算一览
Rewlts of calculation of C/N in Sediments

层次 站 位	表 层	中 层	深 层	沉 积 物 类 型
C 1005	11.21			钙质软泥
C 1007	30.43			钙质软泥
C 1008	11.66	11.86	11.45	硅质软泥
C 1016	12.01	14.99		硅质软泥
C 1024	15.93	34.41	58.54	表层为钙质软泥，中、深层为硅质软泥
C 1025	11.26	11.59		硅质软泥
C 1026	12.30		25.10	表层为棕色粘土，深层为钙质软泥

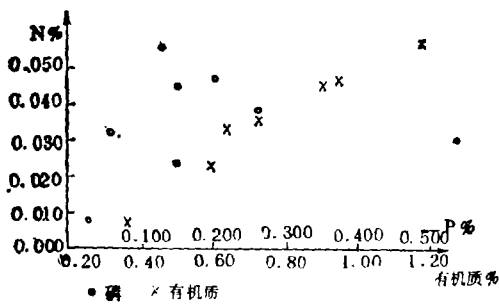


图 6 氮和有机质、磷的关系

Fig. 6 Relationship between phosphorus, organic materia and nitrogen

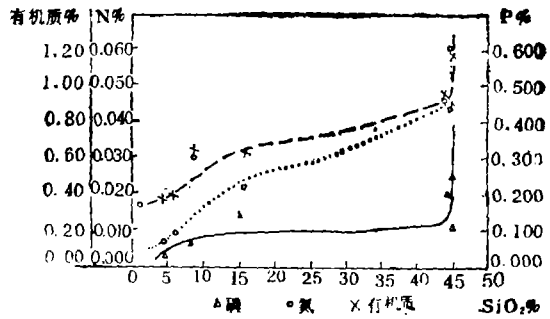


图 7 有机质、氮、磷与二氧化硅的关系

Fig. 7 Relationship between organic material, nitrogen, phosphorus and dioxide silicon

经数学统计它们的方程为：

$$y_N = 0.1036X + 0.0204, r = 0.500, n = 7。$$

式中 y_N 为氮的百分含量， X 为磷的百分含量， r 为相关系数， n 为样品数。

如前所述，研究区沉积物中氮，主要呈蛋白质、氨基酸等碳水化合物形式存在，因此上述磷与氮呈弱正相关表明，磷来自有机残体外，同时又有矿物磷灰石等无机磷存在。这与前所述磷除受矿物控制外，同时又受生物和粘土影响是吻合的。

3. 有机质、氮、磷与二氧化硅、碳酸钙的关系

沉积物中有机质、氮、磷的含量与沉积物中二氧化硅、碳酸钙的关系（图 7、8）表明，沉积物中二氧化硅的含量越高，它们的含量越高，而与碳酸钙呈负相关。值得指出的是，上述这些互为关系，当二氧化硅的百分含量接近45%和碳酸钙的含量5%左右，并且二者的百分含量微小变化时，沉积物中有机质、氮、磷的含量呈直线变化。当

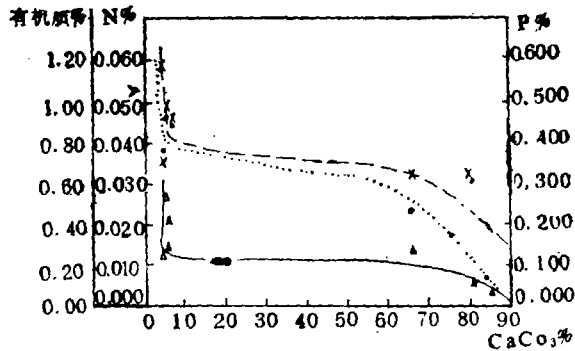


图8 有机质、氮、磷与碳酸钙的关系
Fig. 8 Relationship between organic material, nitrogen, phosphorus and calcium carbonate

二氧化硅的百分含量在15—44%和碳酸钙的百分含量在10—60%范围时,有机质、氮、磷的含量似乎无变化(磷更是如此)。而当二氧化硅含量在0—15%和碳酸钙的含量在65—85%时,它们的比值又接近1(-1)。

本文在写作过程中曾得到金庆明高级工程师,黄德佩、詹玉芬同志帮助和指导,林澄清同志提供沉积物样品,崔淑英、杨懿庄同志参加样品分析,谨此一并致谢。

收稿日期 1984年9月3日

参 考 文 献

- [1] Arrhenius, G., 1950, *Geochemi. Cosmochemi. Acta.*, 1, p.15—21.
- [2] Lew, M., 1981, *Ocean, Chemical Geology*, 33, p.225—235.
- [3] Yamamoto, Y., 1968, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, V. 3, N.24 p.94—102.
- [4] Siezen, R. J., et al, 1978, *Marine Chemistry*, 6, p.215—232.
- [5] Cortecchi, G., 1975, *Mar Geol.*, 5(19), M69—M74.
- [6] 黄德佩、鲍根德等, 1984, 南极考察论文集, 海洋出版社, 189—201页。
- [7] 鲍根德, 黄德佩等, 1984, 东海海洋, 1卷2期, 15—22页。
- [8] 国家海洋局, 1981, 中太平洋西部调查报告, 海洋出版社, 63—73页。
- [9] 黄德佩、崔淑英, 1984, 沉积学和有机地球化学学术会议论文选集, 科学出版社, 189—196页。

A PRELIMINARY STUDY ON ORGANIC MATERIAL, NITROGEN AND PHOSPHORUS IN THE DEEP-SEA SEDIMENTS OF THE PACIFIC WESTERN REGION

Bao Gende

(The Second Institute of Oceanography,
National Bureau of Oceanography)

Abstract

This paper deals with the distribution, controlling factors and geochemical characteristics of the organic material, nitrogen and phosphorus in the Pacific western region (2° — 8° N, 170° — 173° 20'E) by analysing the amount of the organic material, nitrogen and phosphorus of seven core samples and comparing the grain-size, mineralogical and biological data of the sediments.

The result shows that the average contents of organic material and nitrogen in the surface sediments are similar to those in the surface sediments in the Atlantic western part and the south of the Indian Ocean, but the content of phosphorus is double that in the south of the Indian Ocean. The plane distribution of organic material and nitrogen is just the same. The contents in the southeast are both higher than those in the northwest and increase with the amount of silicon increasing in the sediments. The contents of organic material and nitrogen have positive correlation with the depth of the water and negative correlation with the number of foraminifera in the sediments.

The contents of organic material and nitrogen in the sediments are lower than those in the shallow area on the continental shelf. It is because the region is far from land and the sedimentation rate is very low. The sediments come mainly from the synthese of the chemical and biological reactions in sea water. It is suggested that the apatites [$\text{Ca}_5(\text{PO}_2)_3\text{OH}$] added to the sediments during volcanic eruption serve as a reason why the content of phosphorus in the region is higher than that in the shallow water on the continental shelf and in the south of the Indian Ocean. The distribution of the contents of organic material and nitrogen is controlled mainly by the biological type and the amount of clay in the sediments. The amount of phosphorus is controlled mainly by minerals and subsequently by the biological type and the amount of clay in the sediments.

The average value of $C(\text{org})/N$ in the surface sediments in the Pacific western region is 14.98 with a range from 11.21 to 30.43. The $C(\text{org})/N$ ratio of the sediments in the region is higher than that in the Atlantic and the shallow area on the continental shelf. It is apparently caused by the following main factors: 1) the poor source of mineral; 2) the lower sedimentation rate; and 3) the mineralization of some nitrogenous compounds in the surface sediments. However, the ratio of $C(\text{org})/N$ in the sediments from 0—100cm shows a slight change or no change in the some stations owing to the fact that the affect of bacterium in the deep-sea sediments has weakened or disappeared.

There is a positive correlation between the organic material and nitrogen in the sediments. It can be expressed by the equation ($Y_n = 0.0592C - 0.016$, $r = 0.966$). It indicates that the nitrogen in the sediments exists mainly in forms of proteins, amino acids, etc. The correlation between nitrogen and phosphorus can be expressed by the equation: ($Y_n = 0.1036p + 0.0204$, $r = 0.500$). It shows that the phosphorus exists in forms of inorganic compounds (for example, apatites [$\text{Ca}_5(\text{PO}_2)_3\text{OH}$]) besides bio-organic compounds.

The relationship between organic material, nitrogen and phosphorus and dioxide silicon and calcium carbonate in the sediments is influenced by the contents of dioxide silicon and calcium carbonate in the sediments. When the contents of dioxide silicon and calcium carbonate are about 45% and 5% respectively and when the contents of dioxide silicon, calcium carbonate change slightly, the contents of organic material, nitrogen and phosphorus change apparently. When the contents of dioxide silicon and calcium carbonate lie between 15%—44% and 10%—60% respectively, the contents of organic material, nitrogen and phosphorus almost have no change. When the contents of dioxide silicon and calcium carbonate are in the ranges of 0—15% and 65%—85% respectively, $C. N. P : \text{CaCO}_3$ and $C. N. P : \text{SiO}_2$ are about 1 (- 1).