4

黃海和东海浮游有孔虫生态的研究*

郑执中 郑守仪

(中国科学院海洋研究所)

要了解海洋过去的沉积过程、环境条件和闡明海洋发展的历史过程,首先必须对古海 洋的物理的、化学的和生物的特征进行重建研究。这是需要借助于海洋古生态学知識的。 而海洋古生态学的基础,却是建立在以現代海洋生态学的知識来对海洋古生物及古海洋 环境的推断上。虽然,这种从現代海洋来推断古海洋的性质与情况,并不一定都是完全正 确的;但是,我們可以相信,在現代海洋与古海洋所发生相同性质的物理的、化学的和生物 的現象及其变化过程,是具有共同点的。

任何一类海洋生物,要是种属的变化多、数量大、分布广和对环境因子变化的反应比 較敏感,都是研究海洋生态学,同时也是研究古海洋学的良好材料。有孔虫就具备了这些 优越条件。因此,Phleger 曾指出:有孔虫的研究对海洋学和古海洋学是具有特殊价值 的^[24]。但是,过去絕大部分的有孔虫研究工作,都是偏重于分类和标准化石的描述与地层 对比方面,对有孔虫的生态,尤其是对联系到海洋学方面的研究做得极少。一、二十年来, 尤其是最近几年来,这方面的研究才引起了各国学者的普遍重視。美国在这方面的工作 做得比較多。新近,Phleger 还从海洋学与古海洋学的观点,总結了最近一、二十年来各 国在有孔虫生态研究方面所获得的一些成果,編写了一本"現代有孔虫的生态与分布"的 专著^[24]。苏联 1953 年开始在远东諸海及北太平洋进行了有孔虫的生态調查研究^[12]。总 的看来,有孔虫的生态学研究,在目前还只是一个开端,无疑地,它将会更进一步地迅速发 展,并有可能为解决海洋学上和古海洋学上的一些关键問題,提供所需要的資料。

本文是黃、东海浮游有孔虫研究生态部分(分类部分見本刊3卷3期)^[4] 着重討論浮 游有孔虫的数量分布与环境因子的关系,并試图根据有孔虫的分布来探索黑潮流系在东、 黃海的分布途径。

关于本文的材料来源、調查区的范围和样品的处理等等,前文已有叙述^[4],这里就不 再重复,仅对定量分析方法作些补充說明:定量分析系以烘干沉积物 50 克为标准,用孔目 0.15mm³标准銅篩将沉积物样品篩洗,置烘箱里烘干后,用四氯化碳(比重 1.54),将有孔 虫标本从沉积物中分离出来。一般对标本数量不太多的样品,計数全数,对标本特別多的 样品,仅計数全样品的 1/2、1/3 或 1/4,然后按比例換算其总数。

图1所示为黄海和东海的調查范围。

一、种类組成与分布概况

前文已报导过黄、东海的浮游有孔虫計有 10 属,23 种及 1 变种^[4]。 这次,我們在进行定量样品分析过程中,又鉴定了 2 种,即远洋矛棘虫[Hastigerina pelagica (d'.Orbigny]]

* 中国科学院海洋研究所調査研究报告第180号。



A = Traverse I; B = Traverse II; C = Traverse III.

和拟抱球虫(Globigerinoides sp. A)。这些种属隶属于圓球虫科(Orbulinidae)的19种,占 全种数73%;圓輻虫科(Globorotaliidae)有4种及1变种,占全种数19%;汉京虫科(Hantkeninidae)有2种,占全种数8%。在数量上,亦是圓球虫科最占优势,計占全調查区浮游 有孔虫总量96%。5个优势种,伊格尔抱球虫(Globigerina eggeri Rhumbler)、泡抱球虫 (G. bulloides d'Orbigny)、紅拟抱球虫[Globigerinoides rubra (d'Orbigny)]、袋状拟抱球虫 [G. sacculifera (Brady)]和斜室普林虫 [Pulleniatina obliquiloculata (Parker and Jones)] 均属这一科,就占总量93%。属于汉京虫种的2种,等边矛棘虫[Hastigerina aequilateralis (Brady)]和远洋矛棘虫[H. pelagica (d'Orbigny)]占3%。属于圓輻虫科的5种,敏納圓 輻虫 [Globorotalia menardii (d'Orbigny)]、曲室敏納圓輻虫 [G. menardii (d' Orb.) var. redunca Cheng & Cheng]、肿圓輻虫 [G. tumida (Brady)]、茸刺圓輻虫 [G. hirsuta (d'Orbigny)]和截錐圓輻虫[G. truncatulinoides (d'Orbigny)]数量都不多,仅占1%。



图 2 黄、东海浮游有孔虫种类百分組成

Fig. 2. Percentage composition of planktonic Foraminifera of the Yellow Sea and the East China Sea. 🛐

上述种类沒有任何冷水种,除泡抱球虫为温带广温性广分布种外,均为热带大洋性暧水种。这些种类在調查区的分布,主要偏于东海調查区东南部及东面外海。种数超过 15种的区域局限于 30°N 以南,125°E 以东;10种以上的区域亦仅限于自 28°N,122°E 至济州島南面(32°N,126°E)联綫以东的外陆棚区。在这条联綫以西及以北的广大内陆棚区,

出現的种类寥寥无几。 从图 18 可以很清楚 地看出,出現种数是自外海向沿岸迅速减少。 另一方面,从表 1 同样可以看出,随着緯度的 增高,种数就显著减少。在 28°30′N 以南,全 部种类均有出現,过了 33°N,即逐渐趋于絕 迹,到了 35°30′N 以北則未見分布。 南北相 距仅 6—7 个緯度,浮游有孔虫的分布,相差 实甚悬殊。 这充分反映了調查海区的南、北 部水文情况是有着很大的差异。

随着緯度的差异和离岸的远近,浮游有

表1 黄、东海浮游有孔虫在各緯度的出現种数

_								
_	緯	度	(北	緯)		出現种数	¢	
	28	3°30′	以南	i		26		
	28	3°30′-	–29°3	so <i>*</i>		17		
	29	€°30' –	-30°3	i01		11		
,	30)°30′-	-31°3	so*	1 2	11		
	31	°30′-	-32°3	i0*	1.	7		
	32	2°30′-	33°3	101		5		
	33°30′—34°30′					2-3 (?)		
	. 34	1°30′.−	-35°3	10*		2		
	35	5°30'Ç	と 北			0		



1-2 期



φ

孔虫不仅在种类上有着明显的差异,而各个种的出現頻率亦有很大的变化。如在調查区南部的三个断面上(图 3A, B, C),南北相距不及三个緯度,各个种的出現頻率則相差很大。

大多数种类如斜室普林虫、普通圆球虫、敏納圓輻虫、共球拟抱球虫、等边矛棘虫和伊 格尔抱球虫等的百分数的变化都有一致的趋势,即南面高、北面低;外海高、近岸低。泡抱 球虫及紅拟抱球虫在三个断面上所占的百分数的变化趋势却与上述各种略有不同,在三 个断面的中段及近岸一端,这两个种的絕对数量,虽仍然是南面高于北面,外海高于近岸。 但由于其他种类的迅速减少,甚至趋于絕迹,这两个种的百分数就相对地提高,而呈現了 与其他种类的百分数变化的不同趋势,即南面低于北面、外海低于近岸。

二、数量分布

I. 各个种的数量分布

在黃、东海浮游有孔虫数量上起主导作用的是伊格尔抱球虫、泡抱球虫、紅拟抱球虫、 袋状拟抱球虫、斜室普林虫等 5 种,其次是共球拟抱球虫和等边矛棘虫 2 种。 其余的 19 种数量都很稀少,仅占总量的 4%。 5 个优势种的分布范围較广,其余种类絕大多数的分 布区都局限于調查区的东面及东南外海。各个种类的数量分布,总的趋势是相当一致的。

伊格尔抱球虫(Globigerina eggeri)这个种因螺旋部分高低的变化很大,在分类上是比 較紊乱的,許多作者所鉴定的"G. dubia","G. cretacea","G. subcretacea"等,实际上都 是这个种的螺旋部分高低程度不同的形态变异^[4]。 它是黄、东海浮游有孔虫数量最多的 一种。 最多的一站 (27°58'N, 125°59'E) 达 4,110 个/50 克干沉积物 (以下单位从略)。 >1,000—2,500 的密集区局限于 123°E 以东、29°N 以南,500 等量綫未越 30°N, 100 与 10 的等量綫在 124°30'E 以西,仍局限于 31°N 以南,仅在 126°E 左右延伸到 32°N 附近。 值得注意的是,在杭州及长江口东面外海的广大区域,都未見到这个种的分布,而自济州 島西南沿 124°E 綫向北至 35°N 附近則有极少数量連續的分布。这些往北扩布的个体都 是比較幼小的(图 4)。

这种是适温性較广的暖水种,在大西洋、地中海、太平洋、加利福尼亚湾、夏威夷、新西 兰、菲律宾及日本沿岸均有分布。別茲魯柯夫等也記載过"G. dubia"出現于东海北部^[2]; 浅野清所記載的 G. eggeri 及"G. subcretacea"在九州东南及日本沿岸海域均有普遍分 布。在太平洋沿岸向北分布到黑岬及釜石附近 (39°N 附近)。在日本海东岸最北分布到 能登半島 (37°N 附近)^[13]。Bradshaw 訙为,分布在北太平洋的 Globigerina eggeri 有大小 两型,大型的是成体,只分布于暧水区及北太平洋中間水团与"亚寒带"水团之間的过渡带 (Transitional region)。在黑潮与亲潮的交汇区和加利福尼亚海流与秘魯海流的过渡带出 現頻率最高。小型的是幼体,仅分布于"亚寒带"水域^[17]。Parker 报导这种(指大型的)在 150°W以东的赤道区及东南太平洋自 10°N-35°S 均有分布^[24]。从"小型的"地理分布与 "大型的"迥然不同。同一个种的成体与幼体竟截然分布于两个不同气候带海洋。我們怀 疑"小型的"是否真正是 G. eggeri 幼体?也許有可能是与"北方冷水种"相混淆。Bradshaw 自己也指出"小型的"是难于与"北方冷水种"G. pachyderma 和"G. dutertrei"辨別开 的^[17]。因此,在討論这个种的地理分布时,应只考虑"大型的"。

泡抱球虫 (Globigerina bulloides) 这种的数量仅次于 G. eggeri, 分布趋势与 G. eggeri

*6*4

t.



图 4 伊格尔抱球虫的分布(个数/50 克沉积物) + 号表示微量出現 Fig. 4. Frequency distribution of *Globigerina eggeri* Rhumbler in actual number of specimens per 50 grams of sediment.

甚为一致,主要分布区仍局限于 31°N 以南。 密集区略較 G. eggeri 向北扩大。 在浙江 沿岸及杭州湾口低盐水域仍有零星分布。 最北分布到济州島西南 33°—35°N、125°E 以 东。值得注意的是,在調查区温、盐度最高的东南角,数量显著減少(图 5)。 Bradshaw 曾 报导本种在太平洋赤道区数量很稀少,但在温带的分布則很普遍^[17]。

紅扣抱球虫(Globigerinoides: rubra)这种亦是东海优势种之一,数量相当多,等量綫的 分布趋势与泡抱球虫的很一致。在济州島西南(32°—34°N)有少量个体連續分布(图 6)。

这种是分布較广的暖水种,在热带大西洋数量最多。在东海北部、日本沿岸黑潮流域 和太平洋的热带与中央暖水区普遍分布。在赤道水域数量尤多^[1,2,13,17]。

袋状拟抱球虫(Globigerinoides sacculifera)就总的分布趋势来看,这种与上述几种是 很一致的。 最密集区中心出現于 28°N、123°30′E,数量达 3,600 个。 1,000 等量綫限于 29°N 以南 123°E 以东; 500 等量綫限于 30°以南; 100 与 10 的等量綫在 126°E 以西,未 越过 31°N。少数个体最北分布至济州島西南(32°-33°N)(图 7)。值得提起的是,出現



Ï

于調查区东南部密集中心的个体一般都較大, 次壳口显著。 而在稍北水域所采到的标本 一般較小, 次壳口亦較不发达。此种在大西洋主要分布于墨西哥湾流流域, 最北达 40°N, 最南达 35°S^[23,18]。 此种在太平洋的分布局限于暖流区, 在赤道太平洋出現頻率最高^[17]。 它在日本仅出現在黑潮区; 在日本太平洋沿岸向北分布至日立以南 (36°N 附近), 为日本 邻近海域良好的暖流指标种^[13]。



图 7 袋状拟抱球虫的分布 (个数/50 克沉积物) Fig. 7. Frequency distribution of *Globigerinoides sacculifera* (H. B. Brady) in actual number of specimens per 50 grams of sediment. *

斜室普林虫 (*Pulleniatina obliquiloculata*) 这是一个优越的暖流指标种,在东海 29°N 以南的調查区,数量較多。 与上述几个种一样: 1,000 等量綫限于 28°N 附近, 100 与-10 等量綫在 126°E 以西,未越过 30°30′N。 个別个体出現在 33°N, 125°E 附近。 总的分布 趋势与上述几种无大差别(图 8)。

这种在大西洋、西印度羣島、印度洋、太平洋、菲律宾、夏威夷、新西兰及日本黑潮区普遍分布。据 Bradshaw 报导,此种在夏威夷南面的赤道水团 (Equatorial water mass) 数量 最多,由此向东西两边递减。在日本太平洋沿岸分布至 36°30′N^[17,13]。

共球拟抱球虫 [*Globigerinoides conglobata* (Brady)] 这种的数量远較前述諸种为少。 数量 > 500 个的仅有一站, > 200 个的也只有 3 站, 均位于 123°30′E 以东的 28°N 緩附 近; 100 等量綫止于 29°N, 10 等量綫在西側局限于 30°30′N。 最东端亦未越过 31°N。 32°N 以北未見分布 (图 9)。在日本附近主要分布于南部黑潮影响显著的水域,但最北可 分布到釜石附近 (39°N 附近)^[13]。 此种在太平洋的分布,局限于暖水区,以赤道太平洋数 量最多^[17]。在东太平洋的分布亦局限于赤道区以及东南中央水域(20°N-35°S)^[22]。



4 卷

б8

等边矛棘虫(Hastigerina aequilateralis)这种与共球拟抱球虫的数量差不多,均占总数 量的 3%,这两种的分布情况亦相近似。100 等量綫在西側較前种迫近浙江沿岸;10 等量 綫在 125°E 以西亦較前一种約向北推移半个緯度达 30°30′N。 最北在济州島西南 32°N 附近找到个別的标本(图 10)。东海东北部有分布。至日本沿岸数量已很稀少,仅出現于 日本南部水域^[2,13]。据 Bradshaw 报导,此种在太平洋中央赤道区数量最多^[17]。



Fig. 10. Frequency distribution of *Hastigerina aequilateralis* (H. B. Brady) in actual number of specimens per 50 grams of sediment.

曹通圓球虫(Orbulina universa)这是一个分布較广的暖水种。在它出現数量較多时, 可作为良好的暖流指标。在东海,它主要分布于 29°N 以南 125°E 以东的外海。 10 等量 綫止于 29°N 綫上。 与上述多数种类一样,124°—125°E 之間数量特別稀少,而使 10 等 量綫間断为东、西两段;在济州島南面 31°—32°N、126°E 附近仅有微量出現。 长江口外 海及南黄海均未見其踪迹(图 11),而在东海东北部及日本南部水域則普遍分布;在日本 太平洋沿岸向北分布至津輕海峽南面水域^[13]。据 Bradshaw 报导,这个种在太平洋的分 布以夏威夷附近数量最多。在加利福尼亚流流域、赤道带以及黑潮与亲潮的交界,亦有較 高的数量出現^[17]。

敏納圓輻虫(*Globorotalia menardii*)本种的曖水性較为显著,壳体較大,易于鉴別,故 被认为是曖流的优良指标种。 在东海分布偏于調查区东南隅。 100 以上密集区 出現于 28°N, 125°E 以东的几站; 10 等量綫在 126°E 以西,未越过 29°30′N,在浙江沿岸及杭州 湾以北水域均未見其分布。而在 126°E、31°-32°N 之間則有微量出現(图 12)。由此更 往东,苏联勇士号亦有記录,朝鮮海峽及沿日本西岸向北至 38°N 附近均有分布。在太平



٩

海 洋 湖 沼 与

洋西部基本上不越过 40°N, 主要分布于 35°N 以南。 在太平洋东部則限于 30°N 以南, 以赤道区数量最多^[2,13,17]。

眉口展泡虫(*Tinophodella ambitacrena*)此种的数量与敏納圓輻虫相近,均占总量的 1%。在28°N、124°E以东有2个>200的密集点,10等量綫偏于123°E以东,稍越过 30°N。总的看来,这个种的分布范围显然比敏納圓輻虫为广(图13)。估計这种在东海北 部及日本沿岸应有分布。但別茲魯柯夫和浅野凊的报告,均未見記載。 特別是勇士号的 一些与我們的調查区紧相接近的站亦未有出現記录。这可能是有所遺漏。 就 Bradshaw 所发表关于 *Globigerinita glutinata*(Egger)(本种的同物异名)的分布图看来,琉球鞏島和 日本南部沿岸是有这个种的分布(Bradshaw, 1959, Text-fig. 18)。Bradshaw 还指出:此 种在热带数量是比較多的。但它的較小个体分布范围可以伸入"亚寒带"^[17]。



图 13 眉口展泡虫的分布 (个数/50 克沉积物) Fig. 13. Frequency distribution of *Tinophodella ambitacrena* Loeblich and Tappan in actual number of specimens per 50 grams of sediment.

除上述諸种外,以下的 16 种,数量都很稀少,主要出現于 調查 区 平 均 表 层 水 温 > 20℃、盐度 > 34‰的南部及东南部。除个別种在 126°E 以东外海向北分布至济州岛 南面(31°-32°N)附近外,分布范围均局限于 30°N 以南。这 16 种是:

Hastigerina pelagica (d'Orb.), Globorotalia hirsuta (d'Orb.), G. tumida (Brady), G. menardii (d'Orb.) var. redunca Cheng & Cheng, G. truncatulinoides (d'Orb.), Globigerina bradyi Wiesner, G. inflata d'Orbigny, G. rosetta Cheng & Cheng, Hastigerinella digitata (Brady), Globigerinoides sinensis Cheng & Cheng, G. triloba (Reuss), Globigerinoides sp., Globigerinoides sp. A., Sphaeroidinella dehiscens (Parker and

Jones), Orbulina bilobata d'Orb., Candeina nitida d'Orb.

胖抱球虫(*Globigerina inflata*)出現于 28°N 断面上, 123°30′E 以东各站。 稍往北至 29°N 即随年平均 21℃ 等温綫偏于 126°E 以东,在調查区最北的分布仅至 31°30′N 附近 (图 14)。

这种在日本沿岸水域亦有普遍分布,向北可分布至津輕海峽东南[1]。

Phleger 指出,这种在大西洋的分布是中緯度数量較多,低緯度亦有分布^[23]。 Bé 也将 它列为温带种^[15]。 我們初步检查 23°N 以南南海沉积物結果看出,此种在南海普遍有分 布,而且数量还远較东海为多,个体也較发达。它的暖水性质是很明显的。

戳錐圓輻虫(*Globorotalia truncatulinoides*)出現于年平均水温在23℃以上,盐度 > 34‰的調查区东南角125°E以东、29°30′N以南数站。 暖水性质較強,为一良好的暖流指标种。这种在东海出現的个体远比南海的为小(平均直径:东海的0.48毫米,南海的0.68 毫米)。在太平洋20°-40°N間一条东西橫貫整个太平洋的狹带上,数量較多。 偶然也可以分布至北太平洋过渡带水域^[17]。在日本南部沿岸也較常見,最北分布至尻屋岬南面^[13]。可是 Waller and Polski 却記載此种在我国近海的分布只限于24°N 以南(Waller and Polski, 1959, fig. 2)^[25]。这是不够真确的(图 14)。

远洋矛棘虫 (Hastigerina pelagica) (图版 I, 图 1a-c) 据 Bradshaw 的报导,本种在



图 14. 胖抱球虫 (1);指状小矛棘虫 (2); 果裂小球虫(3);截錐圓輻虫(4);玫现抱球虫(5);和 中华拟抱球虫(6)的分布与年总平均表层水温的关系 Fig. 14. Distribution of Globigerina inflata (1), Hastigerinella digitata (2), Sphaeroidinella dehiscens (3), Globorotalia truncatulinoides (4), Globigerina rosetta (5) and Globigerinoides sinensis (6) in relation to the distribution of mean annual surface-water temperature.





Fig. 15. Distribution of Globigerina bradyi (1), Globorotalia menardii var. redunca(2), Globigerinoides sp. A (3), Hastigerina pelagica (4) and Globigerinoides sp. (5) in relation to the distribution of mean annual surface-water temperature. 太平洋广泛分布于热带区及北太平洋中央区。 在夏威夷附近、菲律宾以北、琉球及台湾以东水 域,数量較多^[17],但我們仅在东海調查区东南角 发現一个标本(图 16)。

拟抱球虫(Globigerinoides sp. A)(图版 I, 图 2-3a、b)兼有紅拟抱球虫和共球抱球虫的 特征。 它与紅拟抱球虫所不同者,在于每壳环 具有 4 个房室和壳口穹形較低。它与共球拟抱 球虫也有显著的区別,不但个体远較后者为小, 房室排列亦較明显而有規律。 我們仅在 28°N 断面上东面外海的两站采到几个标本。这些标 本与 Bradshaw 所描写分布于赤道及北太平洋 的 *Globigerinoides* sp. 是完全吻合的,应該是属 于同一种。Bradshaw 认为它可能是共球拟抱球 虫的形态变异^[17]。 我們认为,它在形态特征上 与共球拟抱球虫是有明显的差別。深信今后如 果能采到足够的标本以資比較研究,就可以肯 定它是否是一个新种。



 图 16 肿圓輻虫(1),雅白閃虫(2),茸刺圓輻虫(3),
三叶拟抱球虫(4)和远洋矛棘虫(5)的分布与年总 平均表层水温的关系
Fig. 16. Distribution of Globorotalia lumida(1),

Candeina nitida (2), Globorotalia hirsuta (3)

and *Globigerinoides triloba* (4) in relation to the distribution of mean annual surface-water tem-

perature.

II. 总量的分布,

我們检查了渤海及北黃海大量的沉积物样品,均未发現浮游有孔虫的遺迹。 南黃海仅在 35°30′N 以南、124°E 济州島西面出現少数个

体。在东海,特別是在杭州湾以南,浮游有孔虫的数量很多,分布亦相当普遍。从以下东 海調查区南部的三个断面上各站浮游有孔虫的总平均数量可以很明显地看出数量是越往 北越減少。

断面 I——7,290 (个/50 克干沉积物)

断面 II----1,605 (个/50 克干沉积物)

断面 III---- 360 (个/50 克干沉积物)

在断面 III 以北的长江口外围,浮游有孔虫几乎完全絕迹。

图 19 就很清楚地反映了浮游有孔虫的分布情况。 在調查区最南部 123°—124°E 及 125°—126°E 之間各有一个浮游有孔虫的密集中心,数量都在万个以上。 这两个密集中 心均有自南向北伸展的趋势,并显示了愈往北或愈接近大陆沿岸,数量便愈少。及至接近 浙江沿岸低盐水域,数量即突然下降,而趋于絕迹。 如在 28°N 綫上, 122°30′E 以东各站 数量都是 > 3000—10000,但自 122°30′E 往西仅 20—30 浬,数量却減少了数十倍。 更向 近岸,只能找到一、两个标本。 从等量綫的分布可以看出, 10000 等量綫局限于 123°E 以 东、28°N 綫附近范围; 5000 等量綫亦局限于 123°E 以东、29°N·以南; 2500 等量綫不超 过 30°N; 500 等量綫除在調查区的东部向东北外海延伸外,最北也仅伸展到 30°30′N。到 31°N 数量更急陡下降; 10 的等量綫除在 125°E 以东外海向北延伸外, 未能越过 31°N。 再往北即迅速减少。 各等量綫显示了总的分布趋势是在杭州湾口以南,几乎一直是西南 东北走向,先与浙江海岸綫平行,然后东轉,自浙东外海向东北趋向日本九州,10 的等量 綫幷有自济州島南面向南黄海伸展的趋势。 值得提出的是:在上述 28°N 附近两个密集 区之間,124°—125°E,各等量綫一致向南凹陷,幷偏向外海,显示出一个浮游有孔虫稀少 区自北向南突伸;同时,幷自长江口向东海外海扩展。 在长江口至 125°E 的广闊水域,浮 游有孔虫几乎趋于絕迹。

三、浮游有孔虫的分布与环境因子的关系

浮游有孔虫的分布是受着各种环境因子綜合作用的影响;另一方面,这些浮游原生动物死后,它的遺骸以沉积物的形态出現于海底,也正反映着某些环境因子长期作用的規律性。以下就浮游有孔虫的分布与几个主要环境因子之間的关系,加以簡略的討論。

1. 浮游有孔虫的分布与温、盐度的关系

浮游有孔虫适于生活在大洋上层或带有大洋水团特点的水域中。当它随着洋流而分 布至陆棚区或近岸时,它对浅海区温、盐度剧烈变化的反应是比較敏感的。由于各个种对 温、盐度变化的耐受力不同,它們不論是在数量上或种类組成上,都随着温、盐度的变化呈 现了不同程度的差异。

温度一向被认为是影响浮游有孔虫分布的一个很重要的限制因子。由于存留在海底 沉积物中的有孔虫遗骸,所反映的是海洋环境因子在一个比較长期作用的一种平均状况, 而不是反映了某一短暫季节的确切情况。在考虑水温对这些沉积于海底的生物遗骸分布 的影响时,采用多年的平均值是更能比較确切地反映其規律性。因此,在比較浮游有孔 虫的分布与温度的关系上,我們除了考虑現場温度的記录外,还以日本函館海洋气象台 所发表的 1911—1941 年 30 年間平均表层水温的数据为依据^[19]。以 30 年总平均值代表 这个海区表层水温平均状况。以 2 月和 8 月平均值分 別代表冬季 与夏季的平均水 温。

在大洋中,盐度的变化輻度是比較小的,一般并不如温度那样被考虑是一个影响浮游 生物分布的重要限制因子;但在近海,特別是在沿岸与河口区,盐度的变化常是很剧烈的, 在探討影响調查海区浮游有孔虫分布的因子时,盐度是应該加以充分考虑。

从調查資料中,很明显地可以看出,黃、东海浮游有孔虫总量的分布是与高温高盐水的分布呈現了一致的趋势。 高温高盐水是偏于 30°N 以南的調查区的东南隅,水温与盐度是由南向北,自东向西递减。 浮游有孔虫总量的分布也呈現着同样的分布趋势。 浮游有孔虫总量 > 5000 的密集区,偏于 29°N 以南的东南隅,表层水温年平均 > 20℃,2月 > 15℃,8月 > 28℃,盐度 > 34.5‰;总量 > 1000 的分布区,表层水层年平均 > 19℃,2月 > 11℃,8月 > 27.5℃,盐度 > 33—34‰。 在盐度 < 33‰,表层水温 年平均 < 15℃,2月 < 10℃的区域,浮游有孔虫的数量較为稀少。温盐度的梯度区显然成为浮游有孔虫分布的阻障。如在調查期間(1958年2月),杭州湾以南的浙江沿岸等盐綫几乎与海岸綫平行,盐度梯度范围大致与浮游有孔虫的分布界限基本一致。 就 28°N 断面上最面的两个站来看,两站相距不过 30 湮,盐度相差 5.1‰,浮游有孔虫的数量相差达数十倍。在河口与沿岸水域,即使水温适于浮游有孔虫的分布,但因盐度过低,海水的比重減

小,使这些具有鈣貭外壳的大洋浮游原生动物不能維續飘浮而沉沒海底。在这样的情况 下,盐度显然成为比温度更加重要的限制性因子了。

根据各个种的分布与耐温情况, 黄、东海浮游有孔虫, 可以概括地分为三个类犁(图 17):

第一类羣主要是一些狹温性的热带种,分布区局限于調查区东南角,包括两部分种 类,(a)仅出現于28°N附近,表层温度年总平均在21-23℃以上,冬季不低于16℃;(b)向 北可分布至29°N附近,但不越过29°30′N,表层温度年平均也在20℃以上,冬季在14-15℃以上,这一类羣数量都很稀少。

第二类羣也是曖水性显著的热带种,但耐寒能力稍比第一类羣为強,分布也較广些, 主要分布于 30°N 以南,其中有一部分种类向北分布基本上不越过 31°30′N;另一部分种 类数量相当多,主要分布区仍局限于 31°30′以南,但在东面外海向北至 32°—33°N 仍有 零星分布。分布区的表层水温年总平均 > 18℃,2月 > 10℃,8月 > 27℃。

第三类羣包括热带广布种伊格尔抱球虫、紅拟抱球虫和温带广布种泡抱球虫。 这三 种在东海数量特别多,分布范围也最广,最北可分布至南黄海中部 35°N 附近,分布区的表 层水温年总平均 > 15℃左右,2 月平均不低于 5℃,8 月平均 > 25℃。

II. 浮游有孔虫的分布与磷酸盐及浮游植物的关系

Bradshaw 认为,食物(主要是浮游植物)对浮游有孔虫的分布有着明显的影响。他強 調指出,在太平洋,浮游有孔虫丰富的区域与磷酸盐的富集区是一致的。 太平洋赤道附 近,浮游有孔虫特別丰富是与該水域磷酸盐特別富集有关。 盛行风在赤道区引起表层水 的輻散而产生了营养盐丰富的上升流,使浮游植物获得了充分的养料而大量繁殖。 随着 食料的增多,浮游动物,包括浮游有孔虫,也大量出現^[17]。 Bé 也指出,浮游植物是浮游有 孔虫的食物来源,浮游有孔虫的垂直分布主要是在 200 米以上的光照层 (euphotic zone)。 这与浮游植物的分布密切有关^[15]。

在黃、东海,沒有看出浮游有孔虫的分布与磷酸盐的含量和浮游植物的数量有若明显的相互关系。調查海区的磷酸盐含量和浮游植物都是很丰富的,尤其是在东海近岸水域, 磷酸盐含量一般都在 20 毫克-磷/米³以上,有的区域还 > 40 毫克-磷/米³。 浮游植物也 异常丰富,在春初与夏秋之間,常出現大面积 >10⁶—10⁷ 細胞个数/米³ 的密集区。象这样 的大陆边緣海,食物的供应是很充足的,不致影响浮游有孔虫的分布。 事实上,浮游有孔 虫最多的区域是在調查区的东面及东南外海,而磷酸盐富集区和浮游植物的密集区則偏 于近岸水域,正好相互錯开。 根据我們初步的調查結果,南海的磷酸盐远比东海为低,一 般是 <5 毫克-磷/米³,可是浮游有孔虫的数量却远远超过了黃、东海。 Bradshaw 的論断 是否为一普遍的規律性?这在磷酸盐含量很低的大洋中,是值得进一步研究的。 但根据 我們的資料,可以比較肯定地說,在大陆边緣海,磷酸盐的含量与浮游植物的数量并不是 影响浮游有孔虫分布的限制因子。

III. 浮游有孔虫的分布与海底地形和沉积物的关系

这次調查范围內的水深,在黄海方面,自近岸10余米至最大深度90米(济州島西 北)。东海方面,亦自近岸10余米至最大深度150米。等深綫的分布显示出黄海和东海 海底地形的大致輪廓。 在长江口与山东半島所环抱的广大海区的海底地形比較平坦,水



图 17 黄、东海平均表层水温与浮游有孔虫的緯度分布 Fig. 17. Mean surface water temperature and generalized latitudinal distribution of planktonic

Foraminifera of Yellow Sea and East China Sea.

深多在 60 米以內;东部較深,达 90 米左右;苏北沿岸及长江口与济州島之間的所謂长江 滩,水深更浅,50 米等深綫向东凸伸至 124°E 附近。南黄海海底的总的形势是西浅东深, 幷略向东南傾斜。东海海底地形自西北向东南外海急驟傾斜,有一半以上地区深度近200 米,在琉球西側,深度平均在 2,000 米左右^[5]。 在浙江沿岸海底坡度較陡,各等深綫几乎 一致西南东北趋向,与海岸相互平行。 至杭州湾南岸,即急剧东轉,并稍呈曲折,一般至 125°E 长江口东面外海特別向东突出,而后自济州島南面轉向西北伸入黄海。 值得注意 的是,这些等深綫的分布趋势,适与浮游有孔虫的总量和优势种类的等量綫的分布一致。

浮游有孔虫的 500 等量綫有很大部分几乎重复了 70 米等深綫,而 60 米等深綫,正与浮游 ●有孔虫向浙江沿岸方向分布的大致界限相吻合。 两者的分布趋势并不是偶然的巧合,这 是由于海底地形在一定程度上影响了海水运动的方向,海水的运动又直接影响着并制約 着浮游有孔虫和海底沉积物分布的动力。相反的,浮游有孔虫和沉积物的分布,也正反映 了水文状况。 黄海由于它的封閉特点和由于許多河流带来大量細泥,它的海底沉积物大 部分是軟泥和部分的粘土质軟泥。东海沉积物和黄海的有本质上的区別。东海大部分为 砂质泥、泥质砂、砂,几乎沒有軟泥印。不过黄海和东海沉积物的分布,在一定程度上,呈 現了共同的規律性——带状分布。黄海西部苏北沿岸20米以内的区域为砂带,向东面外 海(20-50米)逐漸过渡到砂熕泥,在超过50米水深則为軟泥与粘土质軟泥,其外緣又 出現軟泥带。 东海,在长江口以南的浙东近岸为窄长砂带,在水深20-60米很快就过 渡到粘土质軟泥、这些不同性质的沉积物形成带状。这条細顆粒粘土质軟泥往南沿浙江、 福建和广州海岸延伸到海南島^[21]。其外緣重現軟泥与砂貭泥。再往东在 30°N 以南,水 深超过 90 米以上的部分, 即为砂质。 更向东南, 水深超过 120 米部分, 砂质更粗, 并含 有一些暧水性翼足类的貝壳,这部分砂质沉积物靠近陆棚外緣,自朝鮮分布到海南岛, Niino 等指出,这可能主要是由于黑潮将細顆粒沉积物冲刷走,而将砂质遗留下来^[21]。范 时清、秦蘊珊等对东海外海出現砂质沉积物亦作同样的論断⁵³。进一步对照浮游有孔虫 与沉积物的分布,可以看出两者之間的紧密关系。在外海浮游有孔虫最密的区域,沉积物 是以粗顆粒組合的砂质为主,随着向大陆沿岸的追近,沉积物即自砂质过渡到砂质泥,以 至粘土质軟泥。浮游有孔虫的数量也随着迅速地减少。如在31°-32°N軟泥带与粘土軟 泥带向东面外海推移至125°E以东,浮游有孔虫的分布区的西界基本上止于粘土质軟泥 带的外緣;又如在温州外海28°N断面上(图18)水深大于120米区域,沉积物为粗砂。浮 游有孔虫的絕对数量虽因沉积物組合很粗,在定量計数上,相对減少,但在种类組成上則 以热带性強的种属占最优势。向西至123°30′E 附近,水深在90米左右,即为顆粒較細的 砂质或泥质砂带,浮游有孔虫的数量相当多。自此更向西至水深80米左右为一自砂质至 軟泥与粘土质軟泥的过渡带,沉积物为砂质泥,浮游有孔虫的数量已显著减少。在此带的 西側便是軟泥带与粘土属軟泥带,亦是温、盐度的梯度区,浮游有孔虫向岸分布仅止于此, 成为它的分布区的明显边界。 值得指出的是,在长江口及杭州湾口,浮游有孔虫几乎絕 迹。这可能与长江和錢塘江的径流挾带大量泥沙入海,迅速沉积在江口外海,而稀释了有 孔虫遺骸的累积,有着一定的关系。

从上述浮游有孔虫和沉积物的分布的紧密相关的情况看来,在东海外海黑潮暖流活 跃的区域,顆粒細微的沉积物易被海流带走,而留下較粗的砂粒和有孔虫及浮游貝类等的 還壳。随着暖流向边緣的逐漸減弱,浮游有孔虫的数量便逐漸減少,沉积物也逐漸由粗顆 粒过渡到細顆粒。及至暖流与沿岸流的交汇边緣,流速減小,水中細微顆粒便沉积下来而 成为軟泥带或粘土貭軟泥带,而浮游有孔虫也因受到近岸低盐条件的限制,数量迅速減 少,趋于絕迹。

海洋沉积物中 CaCO₃ 的可能来源有三个方面:含鈣貭有机体碎屑、无机碎屑(陆源物貭,主要是含石灰貭碎屑)和化学沉淀。 有孔虫碎屑常是鈣貭有机体碎屑的主要組成。因此,有孔虫的数量分布与沉积物中 CaCO₃ 的含量和分布,密切相关。

4 笫



图 18 东海(断面 I)浮游有孔虫的分布与平均表层水温、盐度和底质的关系 Fig. 18. Correlation between distribution of planktonic Foraminifera and mean surface water temperature and salinity and nature of sediment in the East China Sea (Traverse I).

渤海和黄海沉积物中 CaCO₃ 含量一般都低于 10%, 仅渤海湾、黄河口、山东沿岸和南 黄海南部稍高些。这些 CaCO₃ 的来源是以陆源物质为主。在东海和南海外海, 自朝鮮南 部至海南島, CaCO₃ 相当富集, 含量 > 20—40%, 部分地区 > 60%。这些 CaCO₃ 的来源 主要是有孔虫遗壳,其次是貝壳、棘皮动物的棘和苔藓虫等^[21]。 值得注意的是, 在东海, CaCO₃ 的 20%等含量綫适与热带性显著的浮游有孔虫, 如敏納圓輻虫分布区的界綫相符 合。在黑潮主流区, 浮游有孔虫的数量更多, CaCO₃ 的含量也随着增高。

显然的,根据海底沉积物中 CaCO₃ 的来源和含量的分布趋势,在一定情况下,似乎有可能作为判別不同性质水团或海流的分布范围与途径的輔助資料。如 CaCO₃ 的 10%等含量綫一直自渤海湾、萊州湾沿山东北岸,繞过山东高角,延伸到南黄海中部,并在 34°-35°N 之間,向东轉,而与緯度綫相平行。这显然与渤海南部及山东北岸沿岸流有着一定的关系。这条 CaCO₃ 的 10%等含量綫,几乎可以作为渤海南部和山东沿岸水系与黄海中央水系的界綫。同时,它在南黄海向东延伸部分,适与黄海冷水团的南界位置大致相符^[8]。东海陆棚外緣 20%等含量綫显然是界乎黑潮与黄、东海近岸水系之間,似可作为两个来源与性质不同水系的分界綫 (图 19)。

IV. 浮游有孔虫的分布与海流及水团的关系

浮游有孔虫虽然可以分布到深层,但主要是分布在 100—200 米以上的大洋上层。随 着緯度的增高,大洋上层的水温便逐漸降低,尽管变化的幅度不象大陆边緣海那么大,但 对浮游有孔虫分布的影响却很显著。許多种类呈現了与表层等温綫一致的分布趋势。概 括地說,太平洋热带种类主要分布于北緯 30°以內的热带区,形成一条橫貫大洋而与緯度 綫相平行的浮游有孔虫分布带。南、北边緣大致与大洋表面 20℃ 等温綫相当。这两条边 緣界限位置的季节变化輻度,南北偏离 30°緯度綫約 10°,即热带浮游有孔虫分布带最大 的位置移动,可达南、北緯 40°¹⁴¹。不过,洋流的影响,可以明显地改变这些分布界綫的位 置。 如 Bradshaw 所报导的,热带区系代表种敏納圓輻虫在西北太平洋,向北分布界限 的位置約在 40°N, 即黑潮与亲潮交汇区的界綫,而在东太平洋,这条界綫即南移到将近



20°N^[17]。这显然是与受到"亚塞带水"及加里福尼亚海流的影响有关。值得注意的是这条 界綫恰好与太平洋表面 20℃ 等温綫位置相符合。 当这些大洋性浮游原生动物随着洋流 而分布到陆棚区,甚至侵入到近岸水域时,常因浅海区的环境条件不适于它們的継續生 存,而停止分布。因此,浮游有孔虫是可以被利用作为大洋环流或水团的标志。它們沉积 在海底的遺壳,是反映着它們自己的分布情況的一面鏡子,同时也是反映大洋环流或水团 的分布范围与路径的历史記录。1959 年,Boltovskoy 首次根据浮游有孔虫的分布,繪出了 分布于阿根廷沿岸及外海的三支海流——阿根廷沿岸流、巴西暖流和馬尔文寒流 (Malvin current)的大致界限^[16]。

在东海調查区东南外海,浮游有孔虫种类多、数量大,热带性強的种属占优势。 就水 文来說, 温、盐度是全調查区最高的。表层水温年总平均 > 22-23℃, 2月平均 > 15℃, 8 月平均 > 28℃; 表层盐度 > 34.5‰。显然这一区域处于黑潮暖流的范围内。在这一 部分的浮游有孔虫各等量綫均一致自西南向东北沿着陆棚边緣等深綫向日本九州方向延 伸。 这正表明与黑潮主流的方向和路径相符合。 在浙江近海,有一个舌状浮游有孔虫密 集区自 28°N 向 30°N 伸展。 該区盐度 > 34‰,表层水温年总平均 > 18℃, 2 月平均 >10℃,8月平均>27℃。这是黑潮暖流在台湾以北最迫近大陆沿岸的一个势力強劲的 分支。这是台湾暖流,亦即所謂"中間暖水"^[9]。这支暖流自 28°N 以南伸展至 30°N 附近, 即受到錢塘江和长江的径流、大陆沿岸流以及自黄海南下的冷水团等势力 所 遏 制。 在 30°一31°N 附近它与这些相对低温、低盐的水团相互交汇,而逐渐失去暖流的高温、高盐 的特性。浮游有孔虫也終止向北分布。浮游有孔虫等量綫的分布,在 30°-30'N 有向 东北偏轉之势,似可說明这个支流的余脉的趋向。 在这支暖流的东方,125°—126°E 之 間,另有一个較小的舌状密集区,温、盐度略高于前一区,表明这是黑潮主流的另一个小分 支。在这两支暖流之間,出現一个方向恰好相反的寬舌状浮游有孔虫稀疏区。 各等量綫 均一致显示了大致沿124°E 經綫向南突伸。这一部分的温、盐度很显著地低于左右两支 暖流。等温、等盐綫的分布与浮游有孔虫等量綫呈一致趋势。表明了有一支低温、低盐水 自北南下,亦即說明了自南黃海侵入东海中央的冷水团势力向南扩展。据辻田的报导,这 股冷水是在"中間暖水"之間南下,其舌端一直伸到台湾釣魚島东北海区的大陆棚斜面,它 可能发生大規模的湍流(cascading)^[9]。从 28°N 断面上(图 18),也可看出上述各水团的大 致位置。如在 122°30′—123°00′E 和 125°00′—126°00′E,浮游有孔虫的总量都 >10,000。 这和上述暖流分支的位置是相符合的。在124°—125°E附近,浮游有孔虫的总量突然下 降,这表明是受着南下温、盐度較低水团的影响。在断面的西端,122°30′E, 浮游有孔虫 总量 > 4,600 多个。 往西相隔仅 30 浬左右的另一站(122°E, 28°N), 总量只有 70 余个, 更往西便趋于絕迹。 在这一区域的温、盐梯度很大,沉积物正是軟泥及粘土质軟泥。 这 一切表明是台湾暖流与浙江沿岸流交汇鋒面的可能位置与范围。 在 125°E 以东, 29°--31°N之間,也出現了一个范围較广的浮游有孔虫稀疏区,各等量綫毫无例外地一致显示 向南与向东凸出,在这个范围内的温、盐度較东、南毗連水域为低,这显然是大陆沿岸水 团向东方及东南外海扩张,而与黑潮主流边緣的高温、高盐水相抗衡。 沿着这个相对低 温、低盐的大陆沿岸水团的东侧,則有較多的浮游有孔虫的分布,数量是由西南向东北递 減,适与黑潮的趋向一致。另有少量浮游有孔虫自济州島南面轉向該島西面分布,并有少

数种类的个别个体連續出現于南黃海东南部,最北分布至 35°N, 124°E 附近。 值得注意 的是,浮游有孔虫分布路径与范围正和温、盐度的分布一致。 在某些季节(尤其是冬季), 高温、高盐水舌也自济州島方向伸张至 34°—35°N、123°—125°E 附近。 就平均温度来 石, 2 月平均温度 10℃ 綫,和年总平均 17.5℃綫分布在济州島西部(32°—33°N), 适与浮 游有孔虫 10 的等量綫相符合。上述浮游有孔虫的分布路径与高温、高盐水舌伸张方向都 显示了黃海暖流,即所謂"西朝鮮暖流"(对馬暖流西分支)的分布路径。 这支暖流到达济

布与黑潮的分布路径和范围是很一致的。

图 19 就是根据上述有孔虫的分布而設想的黃、东海海流分布的示意图。 总的分布 趋势是和須田皖次与宇田道隆等的論断,尤其是与辻田的"东海主要漁場海洋学构造模式 图"基本上是一致的^[9,10,11]。不过,这里还有几点需要进一步商榷的。

州島西部,势力已甚微弱。在126°30′E以东,我們虽沒有进行調查,但根据苏联勇士号和 日本及美国有关調查船在北太平洋及赤道太平洋的調查資料,可以看出浮游有孔虫的分

过去文献一般均仅指出黑潮暖流(台湾暖流)自琉球羣島南端进入东海后,即沿陆棚 斜坡流向日本九州。而沒有記述在邻近浙江沿岸的暖流分支。字田(1947—1950) 論述 了黃、东海海况,明确地闡明了从中国大陆东方外海北上暧水的性质,并称它为"中間暧 水"¹⁹³。 根据浮游有孔虫沉积物以及温、盐度等的分布資料,也充分說明这支暖流分支的 存在,此即本文所指的台湾暖流。在这里必須明确指出的是,过去所沿用的"台湾暧流"名 称实指黑潮在东海的主流^[7],并非指浙江邻近的这个暖流分支。我們认为,若将"台湾暧 流"作为这支自台湾北面延伸至浙江邻近沿岸暖流分支的专称是比較恰当的,以便与黑潮 在东海的主流明确分开。

据多数文献的記載,对馬暖流在济州島附近分出一支"西朝鮮暖流"(卽黃海暖流)沿朝 鮮西岸外海北上,在东南风及西南风盛行的夏季,这支暖流势力加強,迫近山东半島东岸, 向北迈进,分为两支:一支紧貼朝鮮西岸南下,一支直迫辽东半島,轉进渤海^[7,10,11,20]。但 根据我們历年来在黃、渤海进行浮游生物調查和从事海底沉积物的生物性分析所获得的 資料看来,在黃海北部及渤海,不仅沒有浮游有孔虫的分布,亦从未发現任何典型的暖流 指标种。 浮游有孔虫向南黃海的分布,最北仅达123°—124°E,35°N 黃海中央冷水团的 前緣附近。其他暖水性浮游动物的分布也都止于 35°N 以南^[3]。 自济州島南面伸向南黄 海 33—34‰ 的高盐水舌 (棄有高溫)的方向和范围也适与浮游有孔虫和其他暖水性浮游 动物的分布相符合。因此,我們认为,黃海暖流自济州島方向侵入南黃海,与該海的低溫、 低盐水相遇,卽逐漸失去了暖流的高溫、高盐属性。 另一方面,終年存在于黃海中央的冷 水团所能扩展到的最小緯度 (卽南边界限)33°—35°N^[8] 适与浮游有孔虫和其他暖水性 浮游动物向黄海分布的北面界限相符。显然的,这个分布范围相当广的冷水团,对黄海暧 流余脉的北上是会起着阻障作用的。 因此,我們认为黃海暖流与黃海中央冷水团交汇区 的大概范围是在 33°—35°N。

至于所謂"西朝鮮暖流"夏強冬弱的說法,根据暖水性浮游动物的分布以及水文的資料,我們认为这个論断是很值得怀疑的。事实上,暖水性浮游动物在夏季的分布比在冬季 更向北,許多典型暖流指标种仅在冬季才出現于南黃海,而南黃海东南部的高温高盐水舌 也是冬季比夏季显著,而且更加向北伸展。这可以說明黃海暖流是冬季比夏季強盛。



图 19 黄、东海浮游有孔虫数量分布与海流及沉积物中 CaCOa 含量的关系 1.浮游有孔虫的数量(个/50 克干沉积物); 2.浮游有孔虫微量出現; 3.8月底层平均温度(示黄海中央 冷水团的范围)(据赫崇本等,1959); 4.沉积物中 CaCOa 等含量綫(根据 Niino & Emery, 1961); 5.暖流; 6.黄海冷水。

Fig. 19. The relation between the quantitative distribution of planktonic Foraminifera and the distribution of prevailing currents and CaCO₃ of the sediment.

Total number of planktonic Foraminifera (per 50 grams of dried sediment);
Rare occurrence of planktonic Foraminifera;
Mean bottom temperature for August (showing the area of the Yellow Sea cold water mass);
Isopleth for CaCO₈ content of sediment;
Warm current;
Yellow Sea cold water.

此外,还应提出的是,在黃、东海浮游有孔虫中,沒有发現任何里門寒流的指标种,如 北方抱球虫(*Globigerina borealis* Brady)。 根据日本浅野清的报导,这种冷水性有孔虫的 分布,仅止于 35°30′—36°00′N 朝鮮东岸外海,正位于典型的暖流指标种——敏納圓輻虫 分布区的前緣^[13]。 这个界限較曾呈奎等^[6] 所提出的北太平洋西部海藻区系中,受里門寒 流显著影响的"日本海西北区"的南界略为偏南。 朝鮮东南沿岸、朝鮮海峽和对馬海峽垮 未发見北方抱球虫的分布。这些資料說明了里門寒流幷未越过朝鮮海峽或对馬海峽侵入 黃海和东海。它和黃海中央冷水团幷无联系。

参考文献

- [1] 克里諾娃 M. B., 1958. 海洋地质图. 海洋与湖沼 1(2): 243-254.
- [2] 別茲魯柯夫 Π. Π. 等, 1958. 論中国东海北部的沉积物及其底栖动物区系. 海洋与湖沼 1(3): 269—315.
- [3] 郑 重、郑执中, 1959. 十年来我国海洋浮游动物的研究. 海洋与湖沼 2(3): 214-222.
- [4] 郑执中、郑守仪, 1960. 黄海和东海的浮游有孔虫. 海洋与湖沼 3(3): 125-156, 图版 I-XI.
- [5] 范时清、秦蘊珊, 1959. 中国东海和黄海南部底盾的初步研究. 海洋与湖沼 2(2): 82-85.
- [6] 曾呈奎、张峻甫, 1959. 北太平洋西部海藻区系的区划問題. 海洋与湖沼 2(4): 244-267.
- [7] 管秉賢, 1957. 中国沿岸的表面海流与风的关系的初步研究. 海洋与湖沼 1(1): 95-122, 图 1--6.
- [8] 赫崇本等, 1959. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探討. 海洋与湖沼 2(1): 11-15.
- [9] 辻田时美,1957.中国东海及对馬海峽的漁业海洋学,西海区水产研究所研究报告,第13号(中国科学院上海水产研究所譯).
- [10] 宇田道隆, 1932. 日本海及ひ其邻接海区の海況. 水产武驗場报告,第5号.
- [11] 須田皖灰, 1933. 海洋科学,东京古今书院. 1-726 頁, 图 1-174.
- [12] Сандоба, Х. М., 1958. Новые данные по экологии фораминифер. Природа, Оттиск № 2, 10: 107-110.
- [13] Asano, K., (淺野语) 1957. The Foraminifera from the adjacent seas of Japan collected by the S. S. Soyo-maru, 1922-1930. Part 3—Planktonic Foraminifera. Sci. Rep. Tohoku Univ. 2nd ser., (Geol.), 28:1-26, pls 1-2.
- [14] Bandy, Orville, 1960. Planktonic foraminiferal criteria for paleoclimatic zonation. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser., (Geol.), Spec., 4: 1-8, 2 text-figs.
- Bé, Allan, W. H., 1960. Ecology of recent planktonic Foraminifera. Part 2—Bathymetric and seasonal distributions in the Sargasso Sea off Bermuda. *Micropaleontology*, 6 (4): 373-392, text-figs. 1-9, tables 1-6.
- [16] Boltovskoy, E., 1959. Foraminifera as biological indicators in the study of ocean currents. Micropaleontology, 5 (4): 473-481, text-fig. 1, pls. 1-3.
- [17] Bradshaw, J. S., 1959. Ecology of living planktonic Foraminifera in the north and equatorial Pacific Ocean. Contr. Cushman Found. Foram. Res., 10(2):25-64.
- [18] Brady, H. B., 1884. Report on the Foraminifera dredged by H. M. S. "Challenger" during the years 1873-1876. Rept. Voy. Challenger, Zool., 9:1-814, pls. 1-115.
- [19] Hakodate Marine Observatory, 1958. The charts of the mean surface water temperatures in the neighbouring sea of Japan (1911-1940). Bull. Hakodate Mar. Observatory, 5:67-74.
- [20] Hydrographic Office, United States Navy. Ocean currents in the vicinity of Japanese islands and China coast. 2 pp., 12 pls.
- [21] Niino, H. and K. O. Emery, 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. Geol. Soc. America, Bull., 72(5): 731-762.
- [22] Parker, F., 1960. Living planktonic Foraminifera from the equatorial and southeast Pacific. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser., (Geol.), Spec. 4:71-82, 20 text-figs.
- [23] Phleger, F. B., 1954. Foraminifera and deep-sea research. Deep-Sea Research, 2:1-23.
- [24] Phleger, F. B., 1960. Ecology and distribution of Recent Foraminifera. The Johns Hopkins Press: Baltimore, 297 pp.
- [25] Waller, H. O. and W. Polski, 1959. Planktonic Foraminifera of the Asiatic shelf. Contr. Cushman Found. Foram. Res., 10(4): 123-126.

ON THE ECOLOGY OF THE PLANKTONIC FORAMINIFERA OF THE YELLOW SEA AND THE EAST CHINA SEA

CHENG TSI-CHUNG & CHENG SAU-YEE (Institute of Oceanology, Academia Sinica)

(Abstract)

In the present article, a continuation of our previous report on the planktonic Foraminifera of the Yellow Sea and the East China Sea, an account is given of the quantitative distribution of various species and an attempt is made to correlate the patterns of their distribution with the conditions of the environment in which they occur. All the species discussed here have already been described in our first taxonomic report with the exception of 2 additional species which were found as a result of quantitative analysis of material. Fifty grams of dried sediment from each sample was used for quantitative analysis.

There is on the whole, a basic similarity in the distribution patterns of various species. They are more concentrated south of lat. 30°N., especially in the southeast corner of the area studied, becoming sparsely distributed with increase in latitude. We noted, however, some difference in the distribution patterns of individual species. While some species? are more restricted in their distribution, others appear to be more tolerant of changes in environmental conditions by being more widely distributed. On the basis of the extent of their latitudinal distribution covering different temperature ranges, the planktonic Foraminifera in this region may be divided into three ecological groups: The first group comprises warm stenothermal species, with distribution limited largely to south of lat. 29°N., where the mean annual surface-water temperature is above 20°C and the mean annual surface-water temperature for February and August is above 14°C and 28°C respectively. To this group belong Hastigerina pelagica (d'Orbigny), Globorotalia hirsuta (d'Orbigny), G. tumida (Brady), G. menardii (d'Orbigny) var. redunca Cheng & Cheng, Globigerina bradyi Wiesner, Globigerinoides sp., Globigerinoides sp. A, Orbulina bilobata d'Orbigny, Candeina nitida d'Orbigny, Globorotalia truncatulinoides (d'Orbigny), Globigerina rosetta Cheng & Cheng, Hastigerinella digitata (Brady), Globigerinoides triloba (Reuss), G. sinensis Cheng & Cheng, and Sphaeroidinella dehiscens (Parker and Jones). These species, being mostly the rarer constituents of the group, occur in places with larger total population, particularly in the southeast corner of the region studied. Their restricted distribution may reflect the relation between the frequency of occurrence of species and the size of total planktonic populations; but judging from preliminary results obtained from a study of the planktonic Foraminifera of the South China Sea, some of these species, especially Globorotalia truncatulinoides is comparatively and proportionately more abundant in the South China Sea. It is relatively bigger, having a median diameter of 0.68 mm, as against 0.48 mm. for this region. Thus, their limited occurrence in this region may be due to the effect of some other factors of the environment. The second group comprises warm eurythermal species, more widely distributed and more abundant than those of the first group. They are distributed mainly to the

south of lat. 31°N. and are also found up to lat. 32–33°N. To this group belong Globigerina inflata d'Orbigny, Globorotalia menardii (d'Orbigny), Orbulina universa d'Orbigny, Globigerinoides conglobata (Brady), Tinophodella ambitacrena Loeblich and Tappan, Hastigerina aequilateralis (Brady), Pulleniatina obliquiloculata (Parker and Jones) and Globigerinoides sacculifera (Brady). These species seem to be able to tolerate a slightly wider range of temperature, as the mean annual surface-water temperature for the part of the region covered by their distribution is above 18°C, for February, above 10°C and for August, above 27°C. The third group comprises relatively cold-tolerant, dominant, widely-distributed species—Globigerinoides rubra (d'Orbigny), Globigerina eggeri Rhumbler, and Globigerina bulloides d'Orbigny. They are most densely distributed south of lat. 30°N. and are found in decreasing numbers farther north. They may reach as far north as lat. 35°N. The mean annual surface-water temperature in this part of the region where they occur is above 14°C, for February, above 5°C and for August, above 25°C.

A distinct correlation exists between the quantitative distribution of species with depth, mean surface-water temperature, salinity, grain-size and $CaCO_3$ content of the sediment and prevailing currents.

As a whole, the total number of planktonic Foraminifera per uniform-size sample increases with increasing depth. In this region where depth is an approximate measure of distance from the open sea, the source area of planktonic Foraminifera, it is directly related to the abundance of Foraminifera. However, here, depth is not a direct causal factor limiting the distribution of planktonic Foraminifera. Farther north in the region studied, although depth at certain places is considerable, they are neglegible in number. In these places, the influence of other factors is more apparent.

Denser concentrations of planktonic Foraminifera occur in the outer shelf area where both salinity and temperature are higher. In the inner shelf, where there is a relatively cold coastal current, and in runoff areas such as off the mouths of the Hang-chow Bay and Yangtze River where salinity and temperature are rather low, they are rare or absent. In the outer shelf, where there is an overall abundance of planktonic Foraminifera, the sediment is relatively coarser than in places where they are sparsely distributed. This is due, however, to the winnowing effect of current. The finer-grained sediments are winnowed aside, leaving the larger-grained sediments and planktonic Foraminifera behind.

In the outer shelf where the $CaCO_3$ content of water is high (greater than 20-40%, in some places greater than 60%), planktonic Foraminifera are present in great numbers.

Based on the fact that the source area of planktonic Foraminifera is in the open sea, it may be inferred that the presence of planktonic Foraminifera in this region is due mainly to the influence of the Kuroshio and its branches. The many ecological factors which appear to be correlated with the distribution of planktonic Foraminifera in this region are, in fact, largely associated with the effects of the circulating current. Since they are carried by currents, their accumulation on the surface sediments is, therefore, at least, a reflection of the conditions of the water overlying them. The course of the Kuroshio and its branches in this region can be inferred from the distribution and relative abundance of planktonic Foraminifera. From Fig. 19 it is apparent that the distribution of plank1-2 期

tonic Foraminifera is mainly limited to south of lat. 30°30'N. West of long. 125°E., it stops short off the mouths of the Hang-chow Bay and the Yangtze River where there is high runoff, as well as cold water mass coming down from the South Yellow Sea. The dense concentration of planktonic Foraminifera at long. 123°-124°E. may indicate the presence of a branch of the Kuroshio, the so-called Taiwan warm current. The occurrence of dense population in the southern, particularly, in the southeastern part of the region is an indication of the course taken by the Kuroshio and its branches in this region. Their extended distribution in decreasing numbers farther north, east of long. 125°E., especially in the northwest, may be an indication of a weaker extension of the western branch of the Tsushima current, the so-called Yellow Sea warm current. North of about lat. 33°N. and up to about lat. 35°N, the few scattered occurrence of planktonic foraminifera may possibly indicate that the Yellow Sea warm current, if it ever reaches this part of the region, has undergone much alteration in character. It is noteworthy that the northern boundary of distribution of planktonic Foraminifera coincides rather well with the southern boundary of the cold water mass of the South Yellow Sea. The decreasing values of the isopleths for the total number of foraminifera correspond roughly to the decreasing influence of the warm current with advance to the north.



图 1.	远洋矛棘虫(a,b.侧面覌; c.壳緣現)×70;					
图 2—3.	拟抱球虫(a.背面覌; b.腹面覌) × 70。					
Fig. 1.	Hastigerina pelagica (d'Orbigny) $ imes$ 70					
	a, b. side views; c. peripheral view					
2-3.	Globigerinoides sp. $A \times 70$					
	a. dorsal view; b. ventral view。					