

冲绳海槽伊平屋海底热液活动区的生物群*

BIOLOGICAL COMMUNITIES OF THE HYDROTHERMAL AREA ON THE IHEYA BIDEG OF OKINAWA TROUGH

马军英 翟世奎

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

自从 1977 年首次从加拉帕戈斯隆起水深 2 500m 处,发现生存在现代海底热液喷口周围浓密的生物群以来,现代海底“热液生物学”的研究已有了很大的进展。生存在那里的大型生物与化学合成细菌^[8,12]有共生关系^[3,5],这些生物大部分属于生物学上的新种,它们在热液喷口附近相对高温的环境下能健康地生长^[7]。细菌的生态系统和基本的生产方式是靠化学合成来支配的,而与陆上生物生存所依赖的光合作用无关。大型生物以热液喷口群集,与热液的喷溢活动有着密切的关系。研究

这些生物的物种起源、种属分布、生态习性和与现代海底热液活动的关系,不仅有助于探讨海底热液活动的规律性和成矿作用机制,更有助于解决地球上生物的物种起源及其发展演化。

冲绳海槽位于琉球岛弧和东海大陆架之间,是自第

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2842 号。
本文得到廖玉麟研究员的指导与斧正,特此致谢。
收稿日期:1995 年 8 月 14 日

四纪才开始扩张的弧后扩张盆地的雏形^[16,17]。日本海洋科技中心于1984年9月在海槽中部发现了热液堆积体和烟囱状热液喷口系统,并且观察到热液喷口附近栖息有巨大的海绵、虾、海星等底栖生物^[16]。在1986~1994年间,日本先后组织了几十个航次针对冲绳海槽海底热液活动的调查采样^[9]。中国科学院海洋研究所也分别于1992年6月和1994年4月两次组织了对冲绳海槽海底热液活动区的调查。在上述调查中,除了对海底热液的喷溢过程进行了详细的现场观察取样和海底热液沉积物取样之外,还调查研究了海底热液活动区内的生物群,包括生物的种群分布,摄食及生态习性等。关于冲绳海槽热液沉积及成矿特性已有大量的报道^[13,21]。本文旨在以伊平屋海底热液活动区为例,概括总结冲绳海槽海底热液活动区生物学的研究成果,并试图探讨今后调查研究中的几个重要方面。

冲绳海槽伊平屋海底热液活动区位于伊平屋小海岭东部,主要包括两处热液喷溢点,一处位于27°32.5'N,126°58.5'E,水深1395~1425m,又称伴溢蛤(*Calyptogena* sp.)点;另一处位于伴溢蛤点以北200m处,又称金字塔点^[4]。前者是“烟囱”及“摇摆”状热液喷口,海底被沉积物覆盖,这里有高密度的热液性生物群;后者是熔岩出露和热液析出物构成的海底,有喷出200℃以上高温热液的“烟囱”和密集的生物群^[19]。从距离上讲这两点很近。在伴溢蛤点,生物成体有2种,新近铠茗荷占优势;在金字塔处,生物成体以2种虾和深海耳偏顶蛤(*Bathymodiolus*)占优势,生物量以数种海绵为主,并且未发现伴溢蛤、大型大肚须腕虫、新近铠茗荷。

1 生物种类

生物群主要由1种伴溢蛤属、3种蔓足类、1种贻贝类、2种大肚须腕虫和2种长尾类等组成。大肚须腕虫、伴溢蛤和深海耳偏顶蛤是占优势的热液生物种,其湿重量超过20~30kg/m²^[7,18,10]。

伴溢蛤(*Calyptogena* sp.)。迄今在日本周围海域共发现有10多种伴溢蛤,冲绳海槽的2种均与海底热液活动有关,属热水交融型,其他都是冷涌水型。伊平屋热液活动区的伴溢蛤具有丰富的血液、退化的消化管、异常肥厚的鳃。从这些特征和形状来看,它们和生存在东太平洋海隆热液区基岩上的伴溢蛤(*Calyptogena magnifica*)有共同的生态特点。鳃组织内充满共生的细菌,用显微镜可观察到大量的无机硫磺晶体。另外,在伊平屋伴溢蛤壳内有多种桡足类和多毛类等寄生物,其中一种被命名为杂色刺沙蚕,在生物学上也属于新种^[14,15]。

在伊平屋热液活动区共发现有3种蔓足类生物,其

中一种是近代普通种,另外2种是保持着原始体形的种类。2种新近铠茗荷与在东太平洋海隆(EPR)采集的新茗荷(*Neolepas* sp.)是近缘种,代表新近铠茗荷类、藤壶类、库氏花笼类等附着性蔓足类生物的祖先型。同属的*Neolepas zeviniae*在EPR并不繁盛,但在此海域不仅个头非常大,而且在数量上属优势种。在马里亚纳弧后盆地热液活动区,*Neoverruca brachylepadoformis*占优势^[17],它接近于库氏花笼类,与*Neolepas* sp.比较都是进化而来的种。使人惊讶的是冲绳海槽是刚开始扩张的弧后张裂带,在这一最年轻的张裂体系中竟保存有这种最古形态的蔓足类。从采自相距很近的伊平屋海穴黑烟囱矿物标本的表面,得到过一些新种蔓足类和笠贝状腹足类标本,这种蔓足类有着与库氏花笼类和藤壶类共同的祖先形态,即所谓的过渡生物,而在伊平屋热液活动区繁盛的*Neolepas*却在伊平屋海域没有发现。在如此近的距离上,生物学上却有如此大的差异是不可思议的。

生存在伊平屋海底热液活动区的2种虾,属十足甲壳类,一种是*Alvinocaris*,另一种是*Rimicaris*(大西洋中脊、马里亚纳海盆和北斐济弧后盆地的长尾类优势属)。伊平屋海域的长尾类是EPR型,但也有布氏新对虾。在生态方面与其他热液喷口附近的Bresiliidae科中的*Alvinocaris*和*Rimicaris*相同。*Alvinocaris*的大龄个体表现出异常的形态,乳白色半透明、白眼球、长额角、细足,体长大约是其其他虾的1.3倍(约7cm~8cm),从胸部长出约有体长2/3、形状象戴着“蓑”的苔,这种“苔”是细菌的纤毛。

在伊平屋小海岭的热液喷口生物群中既有属于深海的星鳗类、异鳞海蜥鱼及银鲛类等鱼种,也有摄食泥表层有机碎屑的大型海参和靠悬浮物质为生的海绵类,并且生存密度很高。这里的海水中可能含有很少对生物有毒的化学成分。

著名的耐高温性生物——多毛类*Paralvinella* spp.是热液喷口生物中分布最广的生物种,几乎见于世界上所有的热液烟囱周围。在伊平屋热液活动区它们附着在“烟囱”上,不同于生活在“烟囱”裙部、属印度光缨虫科的杂色刺沙蚕。这种生物在栖管内部繁殖后代。从稚仔的传播性能来讲,它虽有最不利的机构^[11],但分布最广泛,仍是个未解开的谜。

迄今已发现生活在海底热液喷口周围的大肚须腕虫共有5个科10个种。伊平屋的大型大肚须腕虫属于须腕动物的*Lamellibrachiida*^[22],其鳃突起小,鳃丝也短,栖管向后缩,开口处有几段象喇叭状的褶,从整体看鳃突起象盛开的花一样。体内完全无消化器官,明胶状脆弱的营养体组织内有共生细菌。

耳偏顶蛤的数量较少,个头没有EPR、马里亚纳、北斐齐海盆的耳偏顶蛤大,属于贻贝科,但从其外套膜不覆盖整个软体部分来看,它与典型的深海偏顶蛤(*Bathymodiolus*)属不同。鳃的基本构造属于丝鳃类,但各分泌层异常宽且发达。与伴溢蛤相同,其鳃组织内都有共生细菌。用显微镜观察其消化器官,解剖鳃部组织发现多毛类多寄生在鳃外部。

在此海域还经常见到大型的合鳃鳗类(*Synphobranchus* sp.)及塔形石蟹。另外,还发现两种绵蟹类,一般都集中在海底,很难观察到它们的摄食过程。大型的塔形石蟹体宽达15cm,体色呈淡黄色,足扁平,前后端的棘排成栉齿状,在生物学上属新种。与南奄西海域的石蟹(*Paralomis jamsteci*)^[20]很接近,似有亲缘关系,但不同属一种。它们的动作缓慢,争夺饵料的能力很低。经常出现在热液喷口附近的宽额角深海仿刺螯虾(*Munidopsis* sp.)也是如此。很难从其缓慢无表情的动作来推测这些生物的摄食性质。在岩石露头上还有一些玻璃海绵,及大型的、中部很宽的偕老同穴海绵(*Euplectella* sp.)、大型海葵、印度光樱虫等。朝鲜刺蛇尾在岩石上或小型大肚须腕虫群中游泳,其大小几乎相同。

2 热液生物的分布

在热液喷溢口附近,水深大于1410m的地方被一些粗粒堆积物覆盖,给人一种不毛之地的感觉。水深小于1395m为岩石露头,水深1400~1410m的范围内相当平坦,被一些透明的细粒沉积物覆盖。但是,从悬浮物来推测,在白色的细粒沉积物中有相当多的热液析出物。另外,大型海参科生物非常多,体长达30~40cm,这表明沉积物表面的有机物丰富,还可能生存有很多的化学合成细菌。深海合鳃鳗(*Synphobranchus*)和异鳞海蜥鱼(*Aldrovandia affinis*)等比普通海底的密度高得多。沿着水深1400m等深线是一些呈黑褐色具层状构造的岩石,以及长卵形的枕状熔岩和带皱纹的板状岩石露头,岩性与典型的玄武岩不同,而是富含二氧化硅的喷出岩。在岩石露头上有棒球形的玻璃海绵(*Pheronema iijimai*)、冲瀾斜网海绵、大型海葵类、帚毛头藻类,周围有伴溢蛤死壳,在岩石表面还有白色和黄色碎片。它们分布在距伴溢蛤热液喷溢点约100m的范围内。随着接近热液喷口,伴溢蛤的死壳逐渐增多,在大的岩石露头的缝隙间生存有很细小的大肚须腕虫,在平坦的海底,极个别大的大肚须腕虫垂直地探出身体的前端部位10~15cm左右。看到爬行的塔形石蟹。然后观察到千条以上细小的大肚须腕虫,在营造一些纠缠如发状的团块,其间有大量呈乳白色、半透明体、白眼球、长额角、细足的长尾类

Alvinocaris sp.和橙黄色、黑眼球、短额、细足的莱伯虾属(*Lebbeus* sp.)两种虾。还有赤橙色、长度3~6cm左右的中型深海耳偏顶蛤和深海铠甲虾。在岩石上还生存有Neolepas型的新近铠茗荷。在火成岩出露的地方,随着伴溢蛤死壳数量的增加,可看到一些鸡爪海星(*Henricia*)和角海星科(*Goniasteridae*)等海星类及塔形石蟹,然后便是伴溢蛤热液喷溢区。

伴溢蛤主要生存在沉积物底质区,与加拉帕戈斯的伴溢蛤生存在玄武岩的缝隙间^[6]。在砂质的沉积物海底有2个大小分别为1m×3m和1m×1m的生存密集区,局部可达10kg/m²的量级,大者体长可达15cm左右。它们半身埋藏在沉积物中,从壳的开口处可看到粉红色的外套膜,通过不健全的虹吸管慢慢喷气。伴溢蛤密集点的沉积物厚度在10~15cm之间,而其他地方的沉积物厚度为5cm。

在接近金字塔点的潜航调查中首先发现海底溶岩上有相当数量的*Pheronema iijimai*和伴溢蛤的壳体。然后看到从熔岩缝隙间涌出“摇摆”状热液的喷口,周围有小型的大肚须腕虫、深海铠甲虾和*Alvinocaris*, *Lebbeus*。稍微远一点的地方有一些象深海耳偏顶蛤的生物和仅几毫米大小、象垃圾一样的海绵,还可以看到一些卷起来如土豆状、直径5~10cm的海绵和一些稀有的1.5cm的大型笠贝。基岩上虾的密度可达50个/(50cm×50cm),在2m×2m左右的范围内有20只深海铠甲虾,小的1cm,大的有10cm,占优势的是*Alvinocaris*和*Lebbeus*等。在生物量方面,覆盖裸岩表面的海绵占优势。在金字塔点,几乎无大型的大肚须腕虫、伴溢蛤和新近铠茗荷。在金字塔的上部和中部有摇摆状热液喷出。这些“烟囱”上有*Paratvinella hessleri*,且聚集着额角很宽的铠甲虾,越往金字塔上方铠甲虾数量越多,在烟囱的顶部最为密集。

3 热液生物的生态习性

冲绳海槽的伴溢蛤大部分埋栖在沉积物里,在生态学上类似于日本周围海域和马努苏海盆的伴溢蛤,后者都生存在沉积层内,而且在某些条件下爬行于沉积物中。在海底由火成岩和热液析出物组成的金字塔点,可以观察到几乎所有的热液生物,但未见到有伴溢蛤。然而,加拉帕戈斯和EPR等海域的伴溢蛤几乎都在岩石缝隙间生存。因此,虽然同是伴溢蛤,它们却适应不同的环境。从生态意义、生物进化和生态习性上,伊平屋的伴溢蛤似乎和生存在日本周围海域的伴溢蛤有一定的亲缘关系。

在细小的大肚须腕虫密集的地方,覆盖着化学析出物和细菌垫,使它们看上去好象被埋在雪里一样。其缝

隙间隐藏着大型的热液性虾,若用手网捕捉,几乎不可能,若用粉碎的伴溢蛤作诱饵,才能采集到。双壳类软体部分的血液可引诱体长5mm到数厘米的端足类生物逐渐集中过来,从其摄食的姿势来看,虽然这些长尾类和端足类体形比较小,但它们是敏捷、凶猛的捕食生物。这些食肉性的长尾类在海底至少可分为2种:一种近似于EPR热液活动区 *Alvinocaris* 的新种,另一种同于南奄西海域的布氏新对虾 (*Hippolytidae-Lebbeus* sp.)。这两种生物对诱饵的反应有细微的差别。从摄饵行为看, *Alvinocaris* 捕食迅速,而 *Hippolytidae* gen. sp. 则动作缓慢。在小型大肚须腕虫的缝隙间,可隐约看到大型的虾类,可用捣碎的伴溢蛤作诱饵来采集这种虾的标本。其他长尾类和端足类可用双壳类作饵料而捕获到,其生存密度可达200个/m²,80~90%为 *Alvinocaris*,其次是 *Lebbeus*。

耳偏顶蛤多附着在岩块及细小大肚须腕虫的栖管内。可以认为这种双壳类靠滤食悬浮在周围海水中的化学合成细菌而生存^[2]。

古体制的新近铠茗荷和厚达10~20cm、缠在一起的细小大肚须腕虫主要出现在被双壳类包围的岩石露头上,组成密集的群落。

新近铠茗荷的生存密度最大,广泛分布在伴溢蛤和大肚须腕虫等密集的地方,大都附着在大肚须腕虫鞘上,这表明大肚须腕虫先生长,新近铠茗荷后附着。

合鳃鳗、塔形石蟹和绵蟹类生物一般都集中在海底,很难观察到它们的摄食状态。用秋刀鱼作饵料可捕捉到合鳃鳗和几种端足类。塔形石蟹多以集群生存,动作缓慢。

在粗砂质海底有大型的大肚须腕虫(开口部直径1cm,体长30~70cm),如同昂起头的蛇一样,将开口部竖起10~20cm。由于此生物分散生存,且基部都固着在沉积物下的岩石上,所以非常难以采集到标本。在其生存密度高的地方可达20个/m²。

Alvinocaris 和 *Lebbeus* 无论在小型大肚须腕虫集群中还是在伴溢蛤点和金字塔点都大量出现。它的主食是什么呢?有可能在大肚须腕虫类伸出软体部分的时候,它们摄取其软体部分作为主食。动作非常缓慢的深海铠甲虾主要密集在“烟囱”上,以耐高温和耐有毒物质为特征,但还不知道它们以什么为食物。

4 今后的调查与研究

在1977年,人类首次在加拉帕戈斯隆起水深2500m处发现了热液喷口周围密集的生物群^[4]。到1986年,著名的美国“ALVIN”深潜器已先后在大西洋中脊和东太平洋海隆等现代海底热液活动区发现了与热

液喷口对应的“热液生物”群。这些发现几乎震动了整个科学领域,尤其是对生命科学和环境科学的影响更大,因为这些生物远离陆地、生活在深水和非光合环境下,甚至是在新形成的中脊洋壳上。总之,这些生物依存于现代海底热液活动,同时又在热液成矿过程中起着重要的作用。目前,海底热液活动及其成矿作用研究已成为国际上多学科交叉性极强的前缘研究领域,而热液生物学研究又是这一领域内的热点之一。这一研究主要包括两个方面的内容,一是热液生物的物种起源、发育过程、生态与摄食习性、及其对海底热液活动的依存性等,二是研究热液生物化石对热液活动的示踪性,即通过提取热液生物化石中保存的热液活动记录来探讨热液活动在时间、强弱、化学成分等方面的规律性。近十几年的工作主要强调了前者,取得了一些重要的进展,但也发现一些新的问题。今后的研究应该加强以下几个方面:

(1) 海底热液活动不仅有起始阶段、发展阶段、鼎盛期和消亡期,而且有强弱、化学成分和温度等方面上的变化或周期性。对应于热液喷溢活动的不同时期,热液喷口周围的生物结构也应有相应的差别。今后的调查研究应重视处于热液活动不同阶段地区的生物组成和生态特征。此外,定点的长期观察是必不可少的。

(2) 生物对环境的反应是灵敏的,热液活动在强弱、断续、及其他物理化学指标上的微小变化会立即影响到周围的海水,而生物壳体的结构、化学元素(尤其是微量元素)及同位素组成会精确地记录下这种变化。所以,通过研究热液生物化石中保存的热液活动记录来探讨热液活动的规律性是今后研究的重要方向之一。

(3) 生存在洋中脊新生洋壳上的热液生物的物种起源问题至今是一个未曾解开的谜。世界上还没有发现直接以热作为能源的生物。所以,深入研究海底热液生物的食物链结构和原始细菌的生成机理将有助于了解地球上生命的起源与进化。

(4) 尽管海上深潜调查是研究海底热液活动及生物学的最直接的方法,但需要先进的技术和昂贵的费用。因此,实验室模拟实验是必不可少的。这不仅有利于热液活动的模式化研究,而且可以再现海底热液生物赖以生存的物理化学条件。在这一工作中尤其应该重视高压热液细菌的培育与生存机理的研究。

参考文献

- [1] 路应贤,1981.冲绳海槽的形成与发展.海洋学报 3(4): 589~600.

- [2] 长沼毅、池本荣子、锄崎俊二、仪人、堀田宏, 1990。1990年度日本海洋学会春季大会讲演要旨集。292。
- [3] Cavanaugh C. M., Gardiner S. L., *et al.*, 1981. *Science* 209, 40-342.
- [4] Dong Sung KIM Suguru OHTA, 1991. *JAMSTECTR Deepsea Research* 7; 221-233.
- [5] Felbeck H., 1981. *Science*, 209; 336-338.
- [6] Hessler R. R., Smithey W. M. Jr., *et al.*, 1985. *Bulletin of the Biological Society of Washington* 6; 411-428.
- [7] Hessler R. R. and Smithey W. M. Jr., 1983. Hydrothermal Process at Seafloor Spreading Centers NATO Conference Series IV, Plenum Press. New York, 735-770.
- [8] Jannasch H. W. and Mottl M. J., 1985. *Science* 229; 717-725.
- [9] Japan Marine Science and Technology Center, 1994. Collected Abstracts for Proceedings of JAMSTEC Symposium on Deep Sea Research. YOKOSUKA, 134.
- [10] Laubier L. and Desbruyeres D., 1984. *La Recherche*. 15; 1506-1517.
- [11] Laubier L. and Desbruyeres D., 1985. *Endeavour* 9(2); 67-76.
- [12] Lilley M. D., Baross J. A. *et al.*, 1983. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers Plenum Press, New York. 411-449.
- [13] Masahiro AOKI & Ko-ichi NAKAMURA, 1989. *Jamstectr Deepsea Research* 5; 197-210.
- [14] Miura T. and Ohta, S., 1991. *Zoological Sciences* 8; 383-387.
- [15] Miura T. and Hashimoto J., 1991. *Proceedings of Biological Society of Washington* 104; 166-174.
- [16] M. kimura *et al.*, 1988. *Tectonophysics* 145(3-4); 319-324.
- [17] Newman, W. A. and Hessler R. R., 1989. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 21(16); 259-273.
- [18] Somero G. N., Siebenaller J. F. *et al.*, 1983. *Deep-Sea Animals* 8; 261-330.
- [19] Suguru OHTA, 1990. *JAMSTECTR Deepsea Research* 6; 145-156.
- [20] Takeda M. and Hashimoto J., 1990. *Bulletin of the National Science Museum* 16; 79-88.
- [21] Toshitaka Gamo *et al.*, 1991. *JAMSTECTR Deepsea Research* 7; 163-184.
- [22] Webb M., 1969. *Bulletin of Marine Science* 19; 18-47.