

放射虫化石及地体对比研究^{*}

张庆龙

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

水谷伸治郎 小 智

(日本名古屋大学地球惑星科学系, 日本名古屋 464-01)

提 要 放射虫是一种分布广、区域对比作用大、具有硅质骨格和外壳的远洋、浮游、单细胞微体动物, 放射虫化石研究的进展, 作为新的地层时代的鉴定标志, 在对构造活动带的研究中发挥了重要作用。北美西部及环太平洋构造带的放射虫研究成果, 明确了这些地区的地层层序和构造发展史, 从而表明, 放射虫化石已不单单是古生物学的研究对象, 而是地层层序学和构造地质学研究的一个不可缺少的重要方法之一。在对中国东北那丹哈达地体和日本美浓地体的对比研究中, 放射虫化石的产出与对比研究, 对分析研究两地体的构造发展史起了关键性的作用。

关键词 放射虫 地体 三叠纪 侏罗纪 那丹哈达 美浓

1 放射虫化石及其在地体研究中的作用

我们通常将直接用肉眼能看到的化石(如贝壳类和脊椎动物的碎片等)称为大化石, 而将借助显微镜才能观察到的称为微体化石, (如有孔虫类和孢子花粉等)。微体化石在借助显微镜观察之前, 还必须用特殊的方法进行处理和制作后才能观察到。虽然微体化石的处理繁琐, 但是它与大化石相比, 有如下优点: (1) 在地层中分布广泛; (2) 个体数量多; (3) 可连续追踪其在各时代的分布。因此, 它能以大化石不可能达到的精度来研究地层的沉积环境和年代划分。

放射虫是微体化石中为数较多的一种, 是一种具有硅质骨骼和外壳的远洋浮游单细胞动物。它所能保存下来的壳体 and 骨骼部分形态多样, 大小约 0.2 mm。它最早出现在前寒武纪, 到了古生代开始分化, 中生代已是属种繁多, 壳体形态也复杂起来。在现代海域, 特别是在赤道附近的低纬度地区非常繁盛, 洋底广泛分布放射虫遗骸组成的放射虫软泥(中世古幸次郎等, 1983)。

由于放射虫的壳体和骨骼是硅质的, 所以它比钙质微体化石容易保存, 除了砾岩和粗粒砂岩外, 大部分海相沉积岩中都含放射虫化石。同时, 因为它是浮游性生物, 在海相地层中分布十分广泛, 所以具有国际对比意义。

由于放射虫化石多赋存于硅质岩等较硬的岩石中, 仅采用岩石薄片在光学显微镜下观察已显不够。60年代后期, 人们采用氢氟酸(HF)溶液, 利用它对造岩矿物的溶解度的不

^{*} 国家自然科学基金资助课题(49472153)。

同,将放射虫个体从岩石中分离出来,然后在电子显微镜下观察研究,能比较准确地确定放射虫的种属,从而使放射虫化石的研究得到了极大的发展。

放射虫化石作为地层时代的鉴定标志发挥了重要作用,同时在构造地质学中也具有重要的意义,不少原来从未发现过化石的地方,由于找到了放射虫化石而明确了地质构造特征,特别是在构造活动带,因为此带中常含硅质碎屑岩和硅质岩等,而这些岩石中又含放射虫化石,所以它们的时代及构造特征也随着放射虫化石的研究进展而更加清楚了。美国地质调查所 Jones 教授曾说:放射虫化石的研究对硅质沉积岩(含放射虫岩)的定年功能,打开了人们获取大量地层信息之门,致使现有的地质图和构造模式面临必要的修订,这一新型的年代尺度如同最新的板块构造理论一样,启动了人们对地球各种作用过程中的一场革命(Jones, 1992)。因此,现在的放射虫化石已不仅仅是古生物学的研究对象,而是地层层序学和构造地质学研究的一个不可缺少的重要方面。

研究构造活动带的地质发展史,必须利用化石和同位素年龄测定来弄清地层顺序,在没有大化石的情况下,微体化石,尤其是放射虫化石的研究发挥了重要作用。美国地质调查所的 Jones 等在对北美西部 Chulitna 地体的研究中,利用放射虫化石而决定了地层年代,从而明确了地层层序和地质发展史,对构造活动带的研究做出了重要贡献。在日本, Nakaseko Kojiro、Mizutani Shinjiro 等在过去一直深信不疑的“古生代”地层中,多处发现了侏罗纪的放射虫化石(Nakaseko *et al.*, 1983; Mizutani, 1985)。通过深入研究,使原本复杂紊乱的日本美浓地区的地层层序和构造特征逐渐清楚。

日本列岛中生代和古生代的地质构造相当复杂,仅靠在野外观察是很难搞清楚的,特别是那些没有大化石产出和放射虫化石层序未确定的地层,要确定其地质年代还是困难的,但是, Shibata 和 Mizutani (1980, 1982)将地层同位素年代测定和放射虫化石群进行综合分析而确定各不同时代的放射虫群体特征,有时还辅以牙形刺化石的研究,最终确定地层年代,然后再在地质构造研究中运用放射虫化石的群体特征来确定地质时代。这一放射虫地层学的研究在环太平洋构造活动带的研究中也得到了良好的应用(水谷伸治郎等, 1989; Kojima, 1989; Mizutani *et al.*, 1986; Yao *et al.*, 1982; Adachi, 1982; Pessagno, 1977, 1984)。

2 那丹哈达地体及所产放射虫化石

那丹哈达地体位于中国东北部,与俄罗斯的 霍特阿林相接。由于其特殊的构造位置和岩石构造特征,早已引起广大地质工作者的兴趣,并开展了岩石、构造、地层古生物、地球物理等各方面的研究,取得了不少有意义的成果(王秀璋, 1959; 李文亢等, 1979; 水谷伸治郎等, 1986, 1989; 王成源等, 1986; 张庆龙等, 1989; Kojima, 1987, 1989, 1991; 杨群等, 1992; 邵济安等, 1991)。

那丹哈达地区主要出露了石炭—二叠纪的石灰岩,三叠纪的层状燧石,中侏罗世的硅质页岩和晚侏罗—早白垩世的砂岩、页岩,另外还有枕状基性熔岩和堆晶杂岩出露。50 年代后期,王秀璋(1959)曾撰文指出,那丹哈达地区为一“中生代褶皱带”,认为该区地层时代属晚三叠世及早、中侏罗世,并将区内出露的砂岩、页岩、硅质页岩、石灰岩等统称为二道河子

插图 1 那丹哈达地体的放射虫化石

(转引自 Mizutani 等, 1986)

Radiolaria of the Nadanhada Terrane (From Mizutani *et al.*, 1986)

1. *Archaeospongoprunum hellenicum*, $\times 100$, 三叠纪。2. *Yeharaia annulata*, $\times 200$, 三叠纪。3. *Yeharaia elegans*, $\times 200$, 中、晚三叠世。4. *Triassocampe deweveri*, $\times 200$, 中、晚三叠世。5. *Poulpus curvispinus*, $\times 200$, 三叠纪。6. *Livarella* sp., $\times 150$, 晚三叠世。7. *Vinassaspongos* sp., $\times 100$, 三叠纪。8. *Ristola*? sp., $\times 300$, 中侏罗世。9. *Archaeodictyomitra primigena*, $\times 200$, 中侏罗世。10. *Hsuum* sp., $\times 200$, 早、中侏罗世。11. *Guexella nudata*, $\times 300$, 中侏罗世。12. *Eucyrtidiellum unumaensis*, $\times 300$, 侏罗纪。13. *Eucyrtidiellum ptyctum*, $\times 380$, 中侏罗世。14. *Tricolocapsa tetragona*, $\times 200$, 中侏罗世。15. *Tricolocapsa*? *fusiformis*, $\times 300$, 侏罗纪。

群,为一套海相中生代地层。到了 70 年代,李文亢等(1979)根据在那丹哈达地区石灰岩中采得的 和珊瑚化石等,将此区地层划归上古生界,认为本区是一海西晚期褶皱带,其中所产化石有中石炭世的 (*Fusulinella eopulchra*, *F. subpulchra submesopachis*) 和珊瑚 (*Donophyllum* sp. 和 *Koninckocarinia* sp.)。Mizutani Shinjiro 等(1986)和张庆龙等(1989)经研究后认为,该区上古生界的石灰岩、三叠系层状燧石层、下中侏罗统的硅质页岩均是作为外来岩块而被包含于晚侏罗一早白垩世的碎屑岩之中的。在区内饶河楚窑山有基性枕状熔岩、杏仁状玄武岩、细碧岩,在关门嘴子、大顶子山一带也见有堆晶杂岩及枕状熔岩,区内除未见变橄榄岩外,其他堆晶杂岩、辉绿岩墙、基性枕状熔岩、含放射虫硅质岩等均有出露,说明该区有蛇绿岩套的存在,它是古洋壳的标志。而且在饶河大坝北山的杂色砂页岩中,含有锰质结核,其性质类似于现代大洋中的锰结核,它也是远洋深海沉积的标志之一。

那丹哈达地区硅质页岩和燧石层中发现的放射虫化石,其地质时代为三叠纪一中侏罗世(插图 1)。层状燧石层中产三叠纪的 *Pseudostylosphaera japonica*, *Yeharaia annulata*, *Triassocampe deweveri*, *Eucyrtis* ? sp., *Eptingium* sp., *Livarella validus* 和 *Acanhocircus* sp.; 硅质页岩中产侏罗纪的 *Tricolocapsa plicarum*, *T.* ? *fusiformis* 和 *Eucyrtidiellum unumaense* 等,这些种属也是日本西北部中侏罗世的典型种属。另外,三叠纪的 *Livarella validus* 和 *Parahsuum* sp. 在日本的美浓地区亦有发现(插图 2, 图 3b, 4b)

古地磁研究表明(Zheng *et al.*, 1990);那丹哈达地体晚三叠世时位于北纬 $12^{\circ}20'$, 早二叠世位于南纬 $10^{\circ}30'$, 晚石炭世位于南纬 $19^{\circ}40'$ 。

3 美浓地体及所产放射虫化石

美浓地体位于日本中部,其北面是飞 变质带,南面是领家变质带。主要出露地层是石灰岩、层状燧石、硅质页岩以及砂岩、页岩。过去,由于在石灰岩中发现石炭一二叠纪的 类化石,所以都认为美浓地区是晚古生代沉积杂岩(水谷伸治郎, 1985)。70 年代,人们已经在美浓地区的层状燧石层中发现了三叠纪的牙形刺化石。80 年代,在该区找到了大量的放射虫化石,特别是侏罗纪放射虫化石的发现,对美浓地体有了一个全新的解释(Yamamoto, 1985);有一个以石炭一二叠纪石灰岩为主的海底山脉,在其随板块运动至古大陆边缘时发生了碰撞,海底山脉的岩层与其周围相关的海相沉积岩发生裂解、破碎,并形成各种大小不一的岩块垮塌下来,因而被包裹在尚未固结的沉积岩层之中。因此,美浓地体基本上是由晚侏罗世的沉积岩所组成,其中包括早、中侏罗世的硅质页岩、三叠纪的层状燧石以及石炭一二叠纪的石灰岩,它们多以板状或块状出现,常形成孤立的山丘。

日本美浓地体内三叠纪层状燧石层中放射虫化石丰富,其中代表性属种有 *Yeharaia annulata*, *Eptingium* sp., *Livarella validus* 等(插图 2, 1b, 2b, 3b), 硅质页岩中放射虫化石的代表属种有 *Parahsuum* ? sp., *Archaeodictyomitra* sp., *Tricolocapsa ruesti*, *Eucyrtidiellum ptyctum* 和 *Thanatra* ? sp. 等(插图 2, 4b, 5b, 6b, 7b, 8b), 这些都是侏罗纪的常见属种。

古地磁研究表明(Hattori, 1982),美浓地体在三叠纪时位于北纬(或南纬) $0.7 \pm 3^{\circ}40'$; 晚三叠世时位于北纬 $10^{\circ}90'$ 。



插图 2 那丹哈达地体和美浓地体放射虫化石的对比

Comparison of Radiolaria in the Nanhada Terrane and the Mino Terrane

1a, b. *Yeharaia annulata*, 1a. $\times 110$, 三叠纪, 那丹哈达地体; 1b. $\times 130$, 三叠纪, 美浓地体。2a, b. *Eptingium* sp., 2a. $\times 130$, 三叠纪, 那丹哈达地体; 2b. $\times 100$, 三叠纪, 美浓地体。3a, b. *Livarella validus*, 3a. $\times 130$, 三叠纪, 那丹哈达地体; 3b. $\times 85$, 三叠纪, 美浓地体。4a, b. *Parahsuum*? sp., 4a. $\times 130$, 侏罗纪, 那丹哈达地体; 4b. $\times 110$, 侏罗纪, 美浓地体。5a, b. *Archaeodictyomitra* sp., 5a. $\times 180$, 侏罗纪, 那丹哈达地体; 5b. $\times 180$, 侏罗纪, 美浓地体。6a, b. *Tricolocapsa ruesti*, 6a. $\times 180$, 侏罗纪, 那丹哈达地体; 6b. $\times 160$, 侏罗纪, 美浓地体。7a, b. *Eucyrtidiellum ptyctum*, 7a. $\times 350$, 侏罗纪, 那丹哈达地体; 7b. $\times 300$, 侏罗纪, 美浓地体。8a, b. *Thanatra*? sp., 8a. $\times 250$, 侏罗纪, 那丹哈达地体; 8b. $\times 270$, 侏罗纪, 美浓地体。

4 那丹哈达地体与美浓地体对比

那丹哈达地体和美浓地体虽远隔千里,但它们却有极多相似之处,由此可揭示它们之间的内在关系。

首先,那丹哈达地体和美浓地体在沉积岩岩性特征和构造特征方面十分相似,它们均具有石炭—二叠纪的含 和珊瑚的石灰岩、三叠纪的层状燧石层,早、中侏罗世的硅质页岩和晚侏罗世的砂岩、页岩等,并且石灰岩、层状燧石层和硅质页岩等均似大的或巨大的透镜体一样被包裹于晚侏罗世的砂、页岩之中。它们是由侏罗纪滑动沉积杂岩所构成的中生代地体。

那丹哈达地体和美浓地体内产出的放射虫化石有许多属种完全一致(插图 2),如两地体内所产三叠纪和侏罗纪的放射虫化石的个体形态极其相似,应为同时代同属种。研究表明(水谷伸治郎等,1989),在日本海扩张之前,即约 15 Ma 前,日本列岛西北部的位置与霍特阿林地区的距离很接近,亚洲大陆东部和西太平洋岛屿,实际上是构造地层地体拼接的混杂体,这些地体大多数为由晚古生代—晚侏罗世地层所组成的裂解地体,那丹哈达地体和美浓地体即为其中的一部分。上述两地体中相似的放射虫化石的出现,说明在三叠纪至早中侏罗世时,它们都是属于特提斯—泛古洋区。

根据古地磁研究(Hattori, 1982;Zheng, 1990),那丹哈达地体和美浓地体在白垩纪之前处于相近的古纬度,那丹哈达地体晚三叠世时位于北纬 $12^{\circ}20'$,美浓地体晚三叠世时位于北纬 $10^{\circ}90'$;那丹哈达地体早二叠世时位于南纬 $10^{\circ}30'$,美浓地体中三叠世时位于北纬(或南纬) $0.7 \pm 3^{\circ}40'$ 。这表明两地体中三叠世时位于赤道附近,此后继续向北漂移(而在此之前则是从南纬 10° 左右漂移而来)。

因此,不难看出,上述两地体在日本海未拉开之前(早第三纪之前)为一统一的地体,具有共同的岩性构造特征和构造发展史。与此相同的还有俄罗斯的 霍特阿林地体等,它们均是作为增生型复合体沿着亚洲大陆边缘呈狭长条带状分布的,早第三纪以来,由于日本海的微型扩张,日本列岛才逐渐从亚洲大陆分离出来,整个增生、拼贴和离散过程大致如下:(1)晚侏罗世—早白垩世,亚洲大陆东缘发生大陆增生过程,增生体与亚洲大陆边缘发生斜向碰撞,作用力方向大致为北北西—南南东方向;(2)中白垩世,因边界条件限制,随着增生过程的进一步发展而发生了左行水平挤压剪切位移;(3)晚第三纪时,日本海微型扩张以及亚洲大陆东部的北北西—南南东方向的拉张,形成了西太平洋的弧状列岛。日本美浓地体也即在此时从亚洲大陆东北部逐渐漂移到现今的位置上。

参 考 文 献

- 王秀璋, 1959: 中国东北饶河中生代褶皱带内的海相中生代地层. 地质科学, **2**, 50—51.
- 王成源、康宝祥、张海, 1986: 那丹哈达岭三叠纪牙形刺的发现及其地质意义. 中国北方板块构造论文集, 第一集: 208—214 页. 地质出版社.
- 水谷伸治郎、邵济安、张庆龙, 1989: 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系. 地质学报, **63**(3), 204—216.
- 李文元、韩建修、张树新、孟繁义, 1979: 那丹哈达岭北段上古生界基本地质特征. 中国地质科学院院刊, **1**(1), 104—

120。

- 邵济安、唐克东、王成源、臧启家、张允平, 1991: 那丹哈达地体的构造特征与演化。中国科学·B 辑, **1991**(7): 744—751。
- 杨群、王玉净、刘荣芝, 1992: 黑龙江省那丹哈达地体的 T/J 界线地层。科学通报, **1992**(6): 547—549。
- 张庆龙、水谷伸治郎、小智、邵济安, 1989: 黑龙江省那丹哈达地体构造初探。地质论评, **35**(1): 67—71。
- 张庆龙、水谷伸治郎, 1996: 地层特征对比研究在地体解析中的意义。地层学杂志, **20**(1): 70—75。
- Adachi, M., 1982: Some Considerations on the Mirifusus Baileyi Assemblage in the Mino Terrain, Central Japan. News of Osaka Micropaleontologists, Spec, **5**: 211—225.
- Hattori, I., 1982: The Mesozoic Evolution of the Mino Terrane, Central Japan: A Geologic and Paleomagnetic Synthesis. Tectonophysics, **85**: 313—340.
- Jones, D. L., 1992: Introduction, In: Significance and Application of Radiolaria in Terrane Analysis. Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., **96**(1/2): 1—2.
- Kojima, S. and Mizutani, S., 1987: Triassic and Jurassic Radiolaria from the Nadanhada Range, Northeast China. Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Jap. N.S., **148**: 256—275.
- Kojima, S., 1989: Mesozoic Terrane Accretion in Northeast China, Sikhotealin and Japan Regions. Palaeog. Palaeoclimat. Palaeoecol., **69**: 213—232.
- Kojima, S., Wakita, K., Okamura, Y., Nata'in, B. A., Zybrev, S. V., Zhang Qinglong and Shao Jian, 1991: Mesozoic Radiolarians from the Khabarovsk Complex Eastern USSR: Their Significance in relation to the Mino Terrane, Central Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, **97**(7): 549—551.
- Mizutani, S., 1985: Mesozoic Radiolarians in the Mino Area, Central Japan. Nagoya Earth Sciences, **47**: 4—11.
- Mizutani, S., Kojima, S., Shao Jian and Zhang Qinglong, 1986: Mesozoic Radiolarians from the Nadanhada Area, Northeast China. Proc. Japan Acad., **62B**: 337—340.
- Mizutani, S. and Kojima, S., 1992: Mesozoic Radiolarian Biostratigraphy of Japan and Collage Tectonics Along the Eastern Continental Margin of Asia. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **96**: 3—22.
- Nakaseko, K., Mizutani, S. and Yao, A., 1983: Radiolarian Fossils and Mesozoic Geology of the Japanese Islands, Kagaku (Science), **53**: 177—183.
- Pessagno E. A., Jr., 1977: Upper Jurassic Radiolaria and Radiolarian Biostratigraphy of the California Coast Ranges. Micropaleontology, **23**: 56—113.
- Pessagno, E. A., Jr., Blome, C. D. and Longoria, J. F., 1984: A Reversed Radiolarian Zonation for the Upper Jurassic of Western North America, Bull. Amer. Paleontol., **87**(320): 1—51.
- Shibata, K. and Mizutani, S., 1980: Isotopic ages of Siliceous Shale from Hida-Kanayama, Central Japan. Geochem Jour., **14**: 235—241.
- Shibata, K. and Mizutani, S., 1982: Isotopic ages of Jurassic Siliceous Shale and Triassic bedded chert in Unuma, Central Japan. Geochem Jour., **16**: 213—223.
- Yao, A., Matsuoka, A. and Nakatani, T., 1982: Triassic and Jurassic Radiolarian Assemblages in Southwest Japan. News of Osaka Micropaleontologists, Spec, **5**: 27—44.
- Yamamoto, H., 1985: Geology of the Late Paleozoic—Mesozoic Sedimentary Complex of the Mino Terrane in the Southern Neo Area, Gifu Prefecture and the Mt. Lbuki Area, Shiga Prefecture, Central Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, **91**: 353—369.
- Yang Qun, 1991: Palaeobiogeographic Analysis of Jurassic Radiolaria. In: Jin Yugan *et al.* (eds.): Palaeoecology of China, **16**: 547—549.
- Zheng, Z., Kono, M., Shao, J. A., 1990: The Amalgamative History of Eastern Asia Inferred from Paleomagnetism of North China. Rock Magnetism and Paleogeophysics, **17**: 1—18.

[1996年9月6日收到]

RADIOLARIA AND CORRELATION STUDY OF TERRANES

Zhang Qing-long

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Mizutani Shinjino and Kojima Satoru

(*Nagoya University, Japan 464-01*)

Key words radiolarian, terrane, Triassic, Jurassic, Nadanhada, Mino

Summary

As a kind of pelagic, planktonic, monocell microfossil with siliceous skeleton and shell, the Radiolaria are widely distributed with a great value in regional correlation. The studies of radiolarian fossils serve as a new way determining the age of strata and have made important contributions to investigation of structural active belts. Researches on radiolarian fossils in western North America and the Circum-Pacific region have defined the strata sequence and tectonic evolution in these areas. Therefore, the study of radiolarian fossil is not only a single subject in palaeontology, but also an indispensable and invaluable method in stratigraphy and tectonics. Especially, the research on characteristics and correlation of radiolarian fossils between the Nadanhada terrane, North China and the Mino terrane, Japan has played a key role in analyzing the tectonic evolution of both terranes.