

从古生物证据探讨日本海的形成

Paleontological evidence-based discussion on the origin of the Japan Sea

孙革^{1,2,3}, 杨涛^{1,2}

(1. 东北亚生物演化教育部重点实验室(吉林大学), 吉林 长春 130026; 2. 吉林大学 古生物学与地层学研究中心, 吉林 长春 130026; 3. 沈阳师范大学 古生物研究所, 辽宁 沈阳 110034)

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)05-0089-04

日本海是西北太平洋水域最大的边缘海, 全长超过 2 000 km, 最宽处约 850 km。日本海两岸呈“反 S”形的“相嵌状”相似一直引起众多科学工作者的兴趣。由于日本海的形成与地史时期亚洲大陆东缘的中、俄、日等幅域的陆地长期而复杂的地质构造变动密切相关^[1-4], 日本海海底又具有丰富的石油及天然气等资源, 因此, 搞清日本海的成因及其地质历程一直是中、日等国地学家探索的科学目标之一。当然, 研究日本海形成的诸多地质学问题需要有大量的古生物化石资料作为基础。

日本海东侧的日本列岛主要分两个构造区: 以本州岛中东部近南北向的“系鱼川—静岡构造线”(Itoigawa-Shizuoka tectonic line)为界, 将日本划分为“西南日本”和“东北日本”两部分。西南日本又以“中央构造线”(median tectonic line; 即赤石山地西缘—纪伊半岛—四国—九州中部的断层线)为界, 划分为“西南日本内带”(近日本海一侧)和“西南日本外带”^[1,2]。

古生物化石是地史时期生物的遗体或遗迹留给大自然的宝贵遗产, 它们为恢复地史时期古海洋及其古生态、古陆地及其河流、湖泊及其动植物的生存与环境变迁等提供了重要信息。其中, 尤其是植物化石, 它们能指示地史时期陆地(陆块)的地质地理分布及其变化, 为板块(地体)构造等研究提供难能可贵的证据^[5]。

就日本列岛而言, 它的形成曾经历了复杂而漫长的地质历程, 包括其主体部分可能在早古生代晚期(距今约 4 亿多年的志留纪或更早)就曾与中国大陆相连、而后经历了构造分离与位移、拼贴与增生等十分复杂的过程^[1-4,6-9]。其中, 中生代和新生代早

期, 特别是晚三叠世时期, 由古生物化石(尤其是植物化石)所展示的有关日本列岛(特别是西南日本内带)与东亚大陆边缘陆地连接的古地理特征较为明显, 这些特征涉及到有关日本海的形成历史的研究^[10]。

距今 2 亿多年前亚洲东部的“中日俄三角区”(指中国吉林、黑龙江两省的东部, 俄罗斯远东南滨海和西南日本)晚三叠世植物群及地层十分发育。以中国吉林天桥岭植物群^[10,11]、俄罗斯南滨海蒙古盖植物群^[12-14]和西南日本成羽植物群^[15-18]为代表的 3 个东亚著名的晚三叠世植物群以其共有的网叶蕨(*Dictyophyllum*)- 格子蕨(*Clathropteris*)- 准苏铁果(*Cycadocarpidium*) 植物组合, 展现了惊人的相似性, 并暗示了上述 3 个植物群的产地在当时可能彼此毗邻、并地处于同一地体^[10](图 1)。其中, 吉林汪清天桥岭与其东邻俄罗斯南滨海蒙古盖现今距离仅约 150 km, 而西南日本成羽植物群的产地(包括成羽和美祢两地)与上述中、俄两地现今距离约 900 km、彼此间又有浩瀚的日本海相隔。这种古植物群特征基本一致、而现今距离却如此遥远的奇特现象, 似乎只能以它们所在的生长地在 2 亿多年前曾彼此邻近、且古生态环境也较为一致来解释。因就现今的植被而言, 靠孢子和花粉等生殖器官传播繁殖的同种植物基本上均生长在其所在林地的周围, 其正常传播距离通常最远也只有几公里或几十公里。结合其他证据(如海

收稿日期: 2010-03-15; 修回日期: 2010-03-26

基金项目: 教育部与国家外专局古生物演化与环境变迁学科创新引智基地项目(B-06008)

作者简介: 孙革(1943-), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向: 古植物学与古地理学, 电话: 13998895209, E-mail: sunge@jlu.edu.cn; sunge@synu.edu.cn

相地层对比、火山岩联系及古地磁等), 笔者等曾提出晚三叠世时期日本列岛(或西南日本)曾与东亚大陆相连、而后从东亚大陆边缘分离、以致形成日本海的认识^[1~4,6,7,10]。

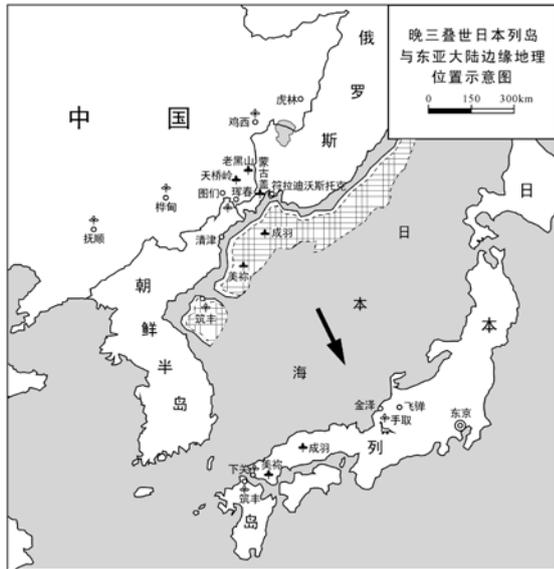


图1 晚三叠世日本列岛与东亚大陆边缘地理位置示意图

动物化石方面, 上述“中日俄三角区”及其相邻地区晚三叠世海相动物化石也联系密切。黑龙江东部那丹哈达地区与日本美浓-飞驒地区发现基本相同的晚三叠世-中侏罗世的放射虫等化石^[3,6,7,19,20], 证明“中日俄三角区”的附近当时曾处于同一深海区。就浅海地区而言, 吉林汪清以北的黑龙江东部宝清—虎林一带^[21]、俄罗斯南滨海^[14,22,23]及日本成羽^[15,24]晚三叠世以 *Monotis (Entomonotis) ochotica*(鄂霍次克髻蛤)等为代表的相同或相近的动物组合反映了“中日俄三角区”当时曾处于同一浅海区。这从一个侧面似也旁证了此区晚三叠世时期曾处于同一地体, 日本列岛(或西南日本)当时尚未从东亚大陆边缘分离。

在晚三叠世及其之后的早-中侏罗世, “中日俄三角区”可能经历了由构造运动引起的、亚洲大陆东缘的大陆拼贴和“增生杂岩带”的形成^[2~4,6,7], 这一地区附近的深海区可能于中侏罗世晚期经陆块拼接后形成地表海, 陆地范围不断扩大^[8,25~30]。侏罗纪-白垩纪时期, 西南日本内带与中国东北东部以及俄罗斯南滨海地区在植物群与陆相地层方面的联系依然十分密切。日本下关地区早-中侏罗世丰浦群植物化石与中国东北早-中侏罗世北票植物群及田师傅植

物群等联系密切^[31~33]。早白垩世时期, 日本手取植物群(Tetori flora)以 *Coniopteris- Neozamites*(锥叶蕨-新似查米亚)组合为代表^[9,34], 显示了典型的西伯利亚植物区特征, 与中国东北的鸡西植物群和阜新植物群等十分相似^[9,35,36]。俄罗斯南滨海早白垩世植物群^[37]以及日本下关地区丰西群的植物化石^[31]与中国东北早白垩世鸡西植物群的联系也较密切^[35]。在陆生动物化石方面, 日本福井地区手取群早白垩世赤岩亚群北谷组(Kitadani Fm)发现的禽龙类(Iguanodontian)恐龙化石与中国东北早白垩世中晚期发现的禽龙类恐龙化石十分相似^[38], 日本飞驒地区石彻白亚群和中国吉林大拉子组及黑龙江的穆棱组等早白垩世同期地层均发现以 *Trigonoides*(类三角蚌)为代表的瓣鳃类化石^[2,30]。晚白垩世时期, 尽管日本列岛幅域曾大部分被浅海所覆盖, 但北海道等地的陆相夹层中的晚白垩世植物化石^[39]与俄罗斯远东及中国东北的晚白垩世植物化石仍属于同一植物区^[8,9,35,40]。上述事实说明, 侏罗-白垩纪时期日本列岛与东亚东部大陆边缘的地理位置仍联系密切, 日本海此时似仍未张开。

西南日本与中国东北东部在陆域上的密切联系至少持续到第三纪早期(古近纪)。始新世-渐新世时期, 上述中、日两地在含煤地层层序及所含生物化石等方面较为一致。日本北九州著名的筑丰煤田^[2]和中国著名的抚顺、桦甸、珲春等煤田^[41,42]均在下部发育以基性为主的火山沉积, 中部煤层巨厚, 日本85%的煤炭储量来自这一时期的煤田; 上述始新世-渐新世几大植物群的组成也十分相近^[43~45]。到中新世早-中期, 从西南日本福井发现的中新世早期植物化石(21.1 Ma ± 0.8 Ma)^[46]和西南日本山口平郡岛发现的中新世中期植物化石^[47]看, 它们与中国东部山东山旺植物群仍较为相似^[45]。而在中新世晚期, 从对水杉植物化石的研究看, 此期日本列岛可能仅有少部分陆域与东亚大陆边缘相连, 到上新世已经完全分开^[48]。

有关日本海形成的地球动力学原因, 中、日等国的科学家曾进行了多年的研究。葛肖虹等^[41]认为, 自晚第三纪(新近纪)开始, 太平洋板块构造活动加剧, 西太平洋洋壳向东亚大陆边缘及东北亚南部大陆边缘俯冲作用的加强使大陆边缘的岩石圈减薄, 造成大陆裂谷向东扩展, 形成东亚—西太平洋巨型裂谷带, 日本海的张开和西太平洋岛弧的形成是这一重要构造事件的具体表现。王五力等^[49]认为, 自早第三

纪起,东亚大陆边缘的构造应力场已经转变为以西太平洋主动大陆边缘作用为主;东亚大陆边缘的东部发生新的裂谷,新第三纪玄武岩喷发更强烈,且有向东迁移和加强的趋势,日本海成为主要的弧后扩张区。就“中日俄三角区”及其相邻地区而言,随着晚中生代以来这里的陆块曾受到由于多次构造事件引起的叠加,至新生代已开始面临来自西太平洋方向新的、更巨大的构造变动。张庆龙等^[7]认为,在日本海形成之前,日本曾与亚洲大陆(包括俄罗斯锡霍特·阿林地区)相连,美浓地体是随第三纪时日本海的扩张才逐渐移动到现今的位置。水谷等^[3]认为,三叠纪中国大陆拼贴作用完成后,所有这些地体在晚侏罗世和早白垩世期间沿着亚洲大陆东缘组成了一个“增生杂岩带”;在日本海扩张(15 Ma)之前,日本西北部的的位置与锡霍特·阿林地区的距离曾很接近;随着晚第三纪日本海的形成,这些地体又重新裂解和位移。总之,日本海的扩张的动力主要来自于太平洋板块的构造运动,晚第三纪“中日俄三角区”及其相邻地区碱性橄榄玄武岩的大规模喷发是太平洋板块构造活动加剧的反映。

近年来地球物理(古地磁等)研究成果表明,日本海的最初张开是自中新世开始。Otofujii 等^[50]对西南日本中生代晚期至新生代初期的古地磁研究表明,西南日本曾顺时针旋转 $58^{\circ} (\pm 14^{\circ})$,在距今 28 Ma 时,日本轮岛(Wajima)至金泽一带曾与中国的图们江口及朝鲜的清津一带靠近;自中新世早期起,日本东北部曾围绕垂直轴逆时针旋转 47° ,而日本西南部曾顺时针旋转 56° ,时间均发生在 21~11 Ma 时期;日本海似以“双门式”(double door)张开,原本呈直线展布的日本岛从此成为弧形^[51]。有关日本海扩张结束的时间,通常认为大约为中新世晚期(即约 5.4 Ma)^[4];但近年来部分日本学者在日本二条山(Nijo Mt.)地区开展的新的古地磁研究认为,日本陆块的位移(即日本海扩张)的停止时间可能较以往的认识要早,大约在中新世中期即已结束^[52]。上述问题似还有待于通过古生物学与地层学等方法进一步深入研究。

志谢:虞子治教授等对文稿提出宝贵建议,沈阳师范大学古生物所张宜博士为本文作图,谨表示衷心感谢。

参考文献:

[1] Okada H, Mateer N J. Cretaceous environments of

Asia[M].Tokyo: Elsevier, 2000.1-255.

- [2] 吉林地质科技情报所. 日本的地质与矿产[R]. 长春: 吉林省地质矿产局, 1988.
- [3] 水谷伸治郎, 邵济安, 张庆龙. 那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系[J]. 地质学报, 1989, **63**(3): 204-216.
- [4] 葛肖虹, 马文璞. 东北亚南区中-新生代大地构造轮廓[J]. 中国地质, 2007, **34**(2): 212-228.
- [5] 孙革. 论中国晚三叠世植物地理分区及古植物分区原则[J]. 地质学报, 1987, **61**(1): 1-9.
- [6] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 1-136.
- [7] 张庆龙, 水谷伸治郎. 从板块构造到地体[J]. 江苏地质, 2004, **28**(1): 1-6.
- [8] Kirillova G, Roganov G V, Kiriyanova V V. Sedimentological features and biostratigraphy of the Jurassic-Cretaceous deposits in the continental basins in Priamurie, Far East Russia[J]. **Global Geology**, 2010, **13**(1): 6-17
- [9] Kimura T. The present status of the Mesozoic land floras of Japan[A]. Professor Saburo Kan'no Memorial Volume [C]. Tsukuba: Tsukuba Univ, 1980. 379-413.
- [10] 孙革. 中国吉林天桥岭晚三叠世植物群[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1993. 1-157.
- [11] 孙革, 孟繁松, 钱立君, 等. 三叠纪植物群[A]. 李星学. 中国地质时期植物群[C]. 广州: 广东科技出版社, 1995. 229-259.
- [12] Srebrodolskaya I N. Late Triassic Mongugai flora of South Primorye and its developed stages[J]. **Tr Vses Geol Inst**, 1964, 107: 55-59.
- [13] Shorokhova S A. Late Triassic floras in the Primorye region, Russia. In: Late Paleozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific Events[J]. **Mem Geol Sect Sci Terre Univ Lausanne**, 1997, 30: 109-119.
- [14] Shorokhova S A, Volynets E B, Sun G, *et al.* Atlas of the Late Triassic flora of Primorye[M]. Vladivostok: Far-East State Technological Univ Press, 2009. 1-184.
- [15] Oishi S. The Rhaetic plants from the Nariwa District, Prov. Bitchu (Okayama Prefecture), Japan[J]. **J Fac Sci, Hokkaido Imp Univ, Ser IV**, 1932, **1**(3-4): 257-379
- [16] Kon'no E. *Cycadocarpidium* and *Podozamites* from the Upper Triassic formation in Yamaguchi Prefecture, Japan[J]. **Sci Rep Tohoku Univ, Japan Ser II**, 1961, **32**(2): 195-211.
- [17] Kon'no E. Some coniferous male fructifications from the Carnic formation in Yamaguchi Prefecture, Japan[J]. **Sci Rep Tohoku Univ, Japan Ser II**, Spec. Vol., 1962, 5: 5-19.
- [18] 内藤源太郎. 美祢层群产植物化石[M]. 日本山口县: 大村印刷株式会社, 2000. 1-144.
- [19] Yang Q, Mizutani S, Nagai H. Biostratigraphic correlation between the Nadanhada Terrane of NE China and

- the Mino Terrane of Central Japan[J]. **J Earth Planet Sci**, 1993, 40: 27-43.
- [20] 张世红, 施央申. 黑龙江省东部地体运动的古地磁证据[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1992, 28 (2): 297-301.
- [21] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M].北京: 地质出版社, 1993. 168-170.
- [22] Volynets E B, Shorokhova S A, Sun Ge. Early Norian flora from Partizansk River Basin of Primorye, Russia[J]. **Global Geology**, 2006, 9(1): 1-12.
- [23] Volynets E B, Schorokhova S A, Sun Ge. Late Triassic flora of the Partizanskaya River basin (Southern Primorye)[J]. **Stratigraphy and Geological Correlation**, 2008, 16(1): 47-58.
- [24] Suzuki S, Sun Ge. Newly proposed stratigraphy of Triassic Nariwa Group and paleoenvironment of eastern Asia[A]. Sun Ge, Zhang Ying. Proceedings of 2009 Int'l Symposium on Geosciences in Northeast Asia[C]. Changchun: Labor Printing Factory Press, 2009. 8.
- [25] 孙革. 黑龙江东宁老黑山晚三迭世植物[D]. 南京: 中国科学院南京地质古生物研究所, 1982. 1-120.
- [26] Markevich V P, Zakharov D Y. Triassic and Jurassic of the Sikhote-Alin. I[M]. Vladivostok: Dalnauka (Far East Branch of Publishing House of Academy of Sciences, USSR), 2004. 1-421.
- [27] 何承全, 黄冠军. 黑龙江绥滨地区中侏罗世晚期绥滨组沟鞭藻类的发现[J]. 微体古生物学报, 1997, 14(1), 21-40.
- [28] 沙金庚. 黑龙江东部的 *Buchia* 和 *Aucellina* 层[J]. 地层学杂志, 1992, 16(1): 41-48.
- [29] 孙革, 郑少林, 孙学坤, 等. 黑龙江东部侏罗——白垩系界线附近地层研究新进展[J]. 地层学杂志, 1992, 16(1): 49-54.
- [30] Sha Jingeng, Wang Jianpo, Kirillova G, *et al.* Upper Jurassic and Lower Cretaceous of Sanjiang-Middle Amur Basin: Non-Marine and marine correlation[J]. **Science in China (D)**, 2009, 52(12): 1873-1889.
- [31] Yamada T, Ohno T. Revision of the stratigraphy of the Toyora and Toyonishi Groups in the Ouchi-Kikugawa area, Yamaguchi Prefecture, west Japan[J]. **J Geol Soc Japan**, 2005, 111(7): 389-403.
- [32] 米家榕, 孙春林, 孙跃武, 等. 冀北辽西早、中侏罗世植物古生态与聚煤环境[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1-169.
- [33] 郑少林, 张武. 田师傅植物群的基本特征[J]. 辽宁地质, 1990, 4: 322-334.
- [34] Sun Ge, Nakazawa T, Ohana T, *et al.* Two *Neozamites* species (Bennettitales) from the Lower Cretaceous of Northeast China and the Inner Zone of Japan[J]. **Trans Proc Paleont Soc Japan N S**, 1993, 172: 264-276.
- [35] 孙革, 曹正尧, 李浩敏, 等. 白垩纪植物群[A]. 李星学. 中国地质时期植物群[M]. 广州: 广东科技出版社, 1995. 310-341.
- [36] 孙革, 郑少林. 中国东北中生代地层划分对比之新见[J]. 地层学杂志, 2000, 24(1): 60-64.
- [37] Krassilov V A. Early Cretaceous flora from South Primorye and its Significance for stratigraphy[M]. Moscow: Nauka (Publishing House of Academy of Sciences of USSR) 1967. 1-364.
- [38] Fukui Prefectural Dinosaur Museum. Exhibit Guidebook of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum [M]. Fukui: Fukui Prefectural Museum, 2001. 1-207.
- [39] Sai'ki K. *Pinus mutoi* (Pinaceae), a new species permineralized seed cone from the Upper Cretaceous of Hokkaido, Japan[J]. **Amer J Bot**, 1996, 83 (12): 1630-1636.
- [40] 陶君容. 中国晚白垩世至新生代植物区系发展演变[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-282.
- [41] 中国煤田地质总局. 中国含煤盆地演化和聚煤规律[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998. 1-186.
- [42] 刘招君, 孟庆涛, 柳蓉, 等. 抚顺盆地始新统军屯组油页岩地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2340-2350.
- [43] Endo S. Preliminary report of the studies on the Paleogene plant fossils from Fushun Coal Mine[J]. **Geogr Soc Tokyo**, 1926, 38 (453): 627-633.
- [44] 远藤诚道. 日本产化石植物图谱[M]. 东京: 产业图书, 1955. 1-104.
- [45] 中国新生代植物编写组. 中国新生代植物[M]. 北京: 科学出版社, 1974. 1-232.
- [46] Yabe A. Plant megafossil assemblage from the Lower Miocene Ito-o Formation, Fukui Prefecture, Central Japan[J]. **Mem Fukui Pref Dino Mus**, 2008, 7: 1-24.
- [47] 植村和彦. 山口县平郡岛的中期中新世植物[J]. 国立科学博物馆专报, 2000, 32: 39-54.
- [48] Lepage B A, Yang Hong, Matsumoto M. The evolution and biogeographic history of *Metasequoia*[A]. Lepage B A. The Geography and Ecology of *Metasequoia*[C]. Tokyo: Springer., 2005. 3-33.
- [49] 王五力, 郑少林, 张立君, 等. 中国东北环太平洋带构造地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 1-267.
- [50] Otofujii Y, Matsuda T. Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of southwest Japan[J]. **Earth and Planetary Science Letter**, 1983, 62(3): 349-359.
- [51] Otofujii Y, Matsuda T, Nohda S. Opening mode of the Japan Sea inferred from the Paleomagnetism of the Japan Arc[J]. **Nature**, 1985, 317: 603-604.
- [52] Hoshi H, Tanaka D, Takahashi M, *et al.* Paleomagnetism of Nijo Group and its implications for the timing of clockwise rotation of southwest Japan[J]. **J Miner Petrol Sci**, 2000, 95: 203-215.

(本文编辑: 刘珊珊)