

用分形方法研究海岸线的长度*

陈霞 王建 朱晓华

(南京师范大学地理科学学院 210097)

提要 通过改变粗视化程度求维数的脚规法,以 1:50000 江苏省地形图为基础,求取了海岸线的分维数。在此研究基础上,不仅用分形理论描述了整个江苏省海岸线的自然弯曲复杂程度,并在此基础上讨论了江苏省海岸线整体分维与局部分维、局部分维之间的相关性以及海岸线分维的意义。

关键词 1:50000,海岸线,分维数,相关性,空间分布规律

分形理论主要研究不规则、处处连续而处处不可微分的具有长程相关性、非平衡性的统计过程,借助于事物内部的自相似性质来洞察隐藏于混沌现象中的精细结构。作为一门新兴的非线性技术,分形理论不断冲击着自然科学、社会科学和思维科学的各个领域,在各个领域都得到了广泛的应用。分形理论为不同学科发现新的规律提供了崭新的语言和定量的描述,为现代科学的深入发展提供了新的思路和方法。

分形理论的出现也为地貌学的发展提供了新的研究方法,在活动断裂、河流形态特征、流域面积、喀斯特洼地等方面都得到了长足的应用和发展。具有多种不同尺度大小岬角海湾的海岸线是分形几何的摇篮^[8]。继 Mandelbrot 1967 年研究之后,有关海岸线的分形研究又有深入。Richardson^[9] 观察到海岸线的测量长度随比例尺的改变而发生规则变化,而且他还发现并计算长度与比例的关系在双对数坐标下近似呈直线;而且海岸线的性质不同,长度随比例尺的变化率也不同。Phillips 1986 年^[10]将分形理论方法应用于海岸线的侵蚀过程研究。王建、朱晓华对江苏省海岸线长度随比例尺变化以及淤泥质潮滩各分带界限的分维值及其空间变化规律进行了研究和探讨^[1]。在海岸线分形研究中,曼德勒布罗特计算出英国西海岸线的分维 $D \approx 1.25$, 澳大利亚海岸 $D \approx 1.13$, 南非洲海岸 $D \approx 1.02$ ^[8], 挪威南部海岸线为 1.52 ^[11]。D.L 特科特用数盒子法求出了 DEAR Is Land 岛的分维为 1.4 ^[2]。渤海(河北天津)海岸线为 $1.0199 \sim 1.1252$ ^[3]。这些都表明了海岸线分形性质。可见,各具不同弯曲程度的海岸线其曲折的复杂性反映在分维值 D 的大小中。

然而到目前为止,关于江苏省海岸线分维分析只

是局限于 1:100000 及其更小比例尺上,并且对于局部与局部、局部与整体分维值之间的差异基本没有人来探讨。本文以江苏省 1:50000 地图为例,应用分形理论,在讨论了江苏省海岸线的自然特征的基础上,讨论了海岸线分维意义以及江苏省海岸线整体分维与局部分维、局部分维之间的相关性。

1 研究的前提条件

1.1 海岸线确定原则

海岸线的定义,是指多年平均大潮高潮位线。基岩和砂质海岸的海岸线,是指沙滩、基岩与海水的界线;对于淤泥质海岸的海岸线采取的是 0 m 等高线,即潮滩与海水的界线。

1.1.1 河口处理 保留大型河口的港湾特征;反映河口处沙嘴、沙洲和泻湖地貌;表现河口的喇叭状形态;不对称河渠视河口形态择定,河口分界线一般在河床最大缩窄处。基岩和砂质海岸,河流入海处多形成沙嘴,连接河口两岸沙嘴为海岸线;淤泥质海岸河流在潮滩出口处明显变宽,连接河口宽度突然发生变化的两岸为海岸线。

1.1.2 潮沟处理 保留大型潮沟的喇叭状形态。

1.1.3 人工岸线 人类在海岸带修筑的向海伸出

* 江苏省“333”工程跨世纪学术带头人基金及教育部“教育振兴计划”青年教师奖励基金资助。

第一作者:陈霞,出生于 1976 年,硕士,从事自然地理研究。

电话:025-3598213, E-mail: chenxia_xiao@263.net

收稿日期:2001-08-08;修回日期:2001-09-10

工程不作为岸线处理,而视原始岸线为海岸线,旨在尽量反映出海岸的原始自然特征。

1.2 分维数的研究方法

测量分维的方法很多:脚规法、盒子法(Box counting)、Mnkwski Beuligand 灌肠维、方差图法、相关函数和功率谱法及它们的各种变化^[1]。本文采用脚规法来计算江苏省海岸线的分维值。假设两脚规张开的长度为 r ,沿着海岸线一步步的测量,量出的步数记为 $N(r)$,则海岸线的长度 $L(r)$ 可以写成

$$L(r) = N(r) r \quad (1)$$

改变 r 的大小重复测量过程, r 越小, $N(r)$ 越大,反之亦然。在无标度区间内, $N(r)$ 与 r 之间有如下关系

$$N(r) = Cr^{-D} \quad (2)$$

式中 C 为常数, D 是量规维数。把(2)代入(1)即得海岸线长度和测量尺度之间的关系

$$L(r) = Cr^{1-D} \quad (3)$$

由此可见, D 较好地描述了海岸线长度测量尺度变化的快慢情况,即海岸线的复杂弯曲程度。在双对数坐标系中,作 $(\lg L(r), \lg r)$ 的散点图,识别出无标度区间,即指明自相似性存在的尺度范围,也就是具有相似性存在的区域,再用最小二乘法回归无标度区间内的点 $(\lg L(r), \lg r)$,有曲线的直线部分的斜率 $R=1-D$,即可得分维 D 值。判定 $\lg L(r)$ 对 $\lg r$ 的图象基本是一直线,对应于该直线的标度 r 的范围内存在着有限层次的分形结构,此时脚规法就可以准确地测定分形曲线的分维数,且这个测度范围内的分维数是有意义的。

1.3 研究范围

本文选取的是苏鲁交界的绣针河口到长江口段南通市的连兴港这一段海岸线。

1.4 资料来源

1980年江苏省测绘的1:50000地形图,由南京师范大学海洋信息系统研究中心提供。

2 江苏省海岸线分维数

在1:50000江苏省地图上,根据上述脚规法,计算出江苏省海岸线分维数,表1为江苏省海岸线分维数计算表。由表1,建立了 $L(r) - r$ 双对数图。根据 $\lg r - \lg L(r)$ 双对数散点,对其进行线性回归分析,结果如下式。各双对数散点的相关系数为0.9918。

$$\lg L(r) = -1.0962 \lg r + 2.8249$$

表1 1:50000江苏省海岸线分维数计算表
Tab.1 Calculation of fractal dimension for Jiangsu Province's coastline

r (km)	$N(r)$	$L(r)$ (km)
0.125	6395.5	799.4375
0.25	3031	757.75
0.5	1449	724.5
1	986	689
2	315.625	631.25
4	145.1	580.2
8	67.1	536.8

由此可见,1:50000江苏省海岸线同样具有分形性质,在一定标度域内其分维数为一常数,即为1.0962。分维数 D 描述了海岸线总长度 $L(r)$ 随测量标度 r 变化的快慢程度,也就是描述了海岸线曲折弯曲的复杂程度。海岸线分维数相对较低,从几何意义上考虑就是说海岸线的弯曲复杂程度较低^[3]。许多学者对世界各地不同岸线进行了研究,所得维数大体在1~1.3之间,其平均值大体为1.24。这数值与 $\ln 4 / \ln 3 = 1.22618 \dots$ 柯曲(Koch)雪花的分维接近。江苏省海岸线和许多学者对世界各地不同岸线进行研究所得的分维数相比较(见表2),其值相对较低,从几何意义上考虑就是说江苏省海岸线曲折复杂程度比较低。

在同一比例尺地图上,随着使用不同的测量标度,其测量结果存在着一定的差异。如表1中,使用0.125 km的标度去近似江苏省1:50000的海岸线和使用8 km的标度去近似同一段海岸线的长度时,两

表2 江苏与其他各地海岸线分维值比较

Tab.2 Comparison of fractal dimension between Jiangsu's coastline and other areas's

地点	英西海岸	英东海岸	澳大利亚	南部非洲	美Dear岛	日本rias	挪威南部	渤海	江苏
维数	1.3	1.2	1.13	1.02	1.4	1.12~1.39	1.52	1.0199~1.1252	1.0962

者的差异为262.6375 km。在此基础上,如果使用比0.125 km更小的标度,将会获得更多海岸线细节,则相应的量测结果数值会更大,也更接近于所选择的海

岸线的实际长度。目前,所公布的海岸线长度数据的可靠性,乃是取决于公布这些数据部门的权威性^[4,7]。然而,海岸线长度随测量标度变化而变化的性质却仍没

有引起足够的重视。但是尽管如此,由于使用测量尺度的不同而导致的海岸线长度不确定性的问题仍然是客观存在的,因此,在部门决策或是执行的过程中就有可能产生一系列问题和不利的影响。上级与下级部门,由于利用的地图比例尺不同,所测得的同一段海岸线长度不一致,从而为部门以及部门之间决策的制定及顺利实施带来了不利影响。在计算出海岸线分维,知道海岸线分形性质,就可以根据不同的用途,合理规划,达到充分合理利用海岸线资源的目的。江苏省位于我国沿海地区的中部,地理位置优越,战略地位重要,因此江苏省海岸线分维数的测量,对于江苏省沿海滩涂的开发、海岸带的可持续利用、海岸带潜力的发掘,“海上苏东”的发展等有着重要的战略和现实意义。目前用分维法研究江苏海岸线,在开发中还处于理论探索分析阶段,因此对此应用将是一个值得进一步深入研究的领域。

3 海岸线分维空间分布规律

海岸线的分形性质不仅反映了海岸线的弯曲复杂程度,也反映了海岸线的空间分布。为了进一步探讨江苏省海岸线空间分布规律,本文分别计算了江苏省沿海三个地级市连云港、盐城和南通的海岸线分维数,并以此来分析和比较。

连云港市海岸线主要是从绣针河口—灌河口;盐城市海岸线主要从灌河口—新川港;南通市海岸线主要从新川港—连兴港。

3.1 江苏省海岸线空间分布规律

运用计算江苏省海岸线分维数的脚规法,采取相同的标度 r ,通过 $\lg r - \lg L(r)$ 建立双对数散点图(如图1),运用最小二乘法拟合出直线,并用线性回归分析,求出连云港、盐城、南通的海岸线分维值分别是 $D = 1.0531$, $D_2 = 1.0693$ 、 $D_3 = 1.1495$ 。通过分维数,

建立了海岸线长度的线性公式分别是:

$$L = 8.161 r^{-0.0531} \quad (1)$$

$$L_2 = 11.704 r^{-0.0693} \quad (2)$$

$$L_3 = 11.038 r^{-0.1495} \quad (3)$$

其中 L 、 L_2 、 L_3 分别是连云港、盐城和南通的海岸线长度, r 是度量时所采用的不同标度。由建立的(1)、(2)、(3)式,可以计算出不同标度下的海岸线长度,从而为不同的决策和规划部门提供必要的信息。

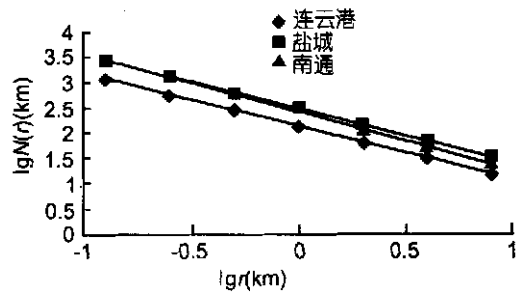


图1 江苏省沿海各市海岸线分形

Fig.1 Fractal dimension of Jiangsu Province's coastline for different cities

比较三者的分维值,我们发现连云港、盐城、南通三者的分维数是渐渐变大的,这反映了江苏省海岸线的弯曲程度由北向南是逐渐变大,也反映了三个地级市海岸线的弯曲程度和分布情况。

3.2 局部分维与整体分维的相关性

冯金良 1999 年讨论了滦河海河水系局部分维值与整体分维值的关系发现,水系的盒子维数符合最大值原则,即整体分维值趋向于局部分维值的最大值^[5]。那么对于海岸线来说,是否也遵循这样的原则呢?在江苏省海岸线以及沿海三个地级市连云港、盐城和南通的海岸线分维数计算基础上,本文把整个海岸线划分成不同层次的若干子区域,又分别建设了其海岸线分维,计算结果见表 3。

表 3 江苏省海岸线整体和局部分维数

Tab.3 Total fractal and part fractal of jiangsu's coastline

D												
1.0962												
D				D ₂				D ₃				
1.0531		1.0693		1.1495								
D ₁	D ₂	D ₂₁	D ₂₂	D ₃₁	D ₃₂							
1.0568	1.0463	1.055	1.0827	1.155	1.1404							
D ₁₁	D ₁₂	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	D ₃₁	D ₃₂	D ₃₃	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	D ₃₂	
1.053	1.059	1.093	1.059	1.012	1.013	1.009	1.185	1.231	1.073	1.121	1.226	1.045

经过分析发现,江苏省海岸线系统中各局域分维之间,局域分维与整体分维之间具有相关性,满足分形地貌中的合并原理^[6]。由严格的数学定义出发,若分形集子集 S 和 S_2 有效地组成分形集 S ,两个分形子集的分维数分别是 D 和 D_2 ,且 $D > D_2$,则分形集 S 分维 D 介于 D 和 D_2 之间,即 $D \geq D \geq D_2$ 。如表 2 所示,江苏海岸线分维值为 1.0962,介于连云港、盐城和南通分维 1.0531, 1.0693 和 1.1495 之间; $D = 1.0692$ 介于 $D_1 = 1.055$ 与 $D_2 = 1.0827$ 之间; $D_1 = 1.055$ 介于 $D_{11} = 1.093$, $D_{12} = 1.059$ 和 $D_{13} = 1.012$ 之间。通过进一步的计算,发现次一层次分维值的平均值接近与上一层次的分维值。如表 2,连云港、盐城和南通三者海岸线分维数的平均值为 1.0906,和整体海岸线分维值 1.0962 近似。再如 D_{11} , D_{12} , D_{13} 三者的加权平均分维值为 1.0547,与 $D_1 = 1.055$ 更接近。可见,较高一层次的分维数可能反映了本区域内海岸线的平均状况。

4 结论

(1) 本文采用脚规法,计算出江苏省 1:50000 海岸线在一定标度域内具有分形性质,分维值为 1.0962。江苏海岸线(0 m 等高线)长度随测量标度变化而变化,变化幅度达数百公里。因此,在海岸线资源利用规划时必须考虑到海岸线这一性质,以达到合理利用海岸线资源的目的。

(2) 江苏省沿海三市连云港、盐城、南通的海岸线同样具有分形特征,分维值分别是 1.0531, 1.0693,

1.1495,由北向南逐渐增大。

(3) 江苏海岸线的分维遵循分形地貌学中的合并原理,即整体分维介于局部分维最大与最小值之间。

参考文献

- 1 朱晓华、王建、陈霞。海岸线空间分形性质探讨——以江苏省为例,地理科学,2001,21(1):70~75
- 2 D.L. 特科特著,陈耦等译。分形与混沌在地质学与地球物理学中的应用。北京:地震出版社,1993。
- 3 冯金良、郑丽。海岸线分维的地质意义浅析,海洋地质与第四纪地质,1997,17(1):45~51
- 4 朱晓华。关于海岸线长度不确定问题的研究,海洋开发与管理,2000,1:23~25
- 5 冯金良、张稳。海滦河流域水系分形,泥沙研究,1999,2:62~65
- 6 艾南山、李后强。从曼德布罗特景观到分形地貌学,地理学与国土研究,1993,9(1):13~17
- 7 Zhu X. H. and Yang X. C. et al. . On spatial fractal character of coastline —— A case study of Jiangsu province, *China Ocean Engineering*, 2000, 14(4):533~540
- 8 Mandelbrot B. . How long is the coast of Britain? statistical selfsimilarity and fractional dimension?, *Science*, 1967, 156(3775):636~638
- 9 Richardson F. . The problem of contiguity, *Gen. Syst. Yearb.*, 1961, 6:139~187
- 10 Phillips J. D. . Spatial analysis of shoreline erosion, Delaware Bay, New Jersey, *Annals of the Association of American Geographers*, 1986, 76(1):50~62
- 11 Feder J. . *Fractal*. New York and London: Plenum Press, 1988. 135~139

FRACTAL ANALYSIS OF THE COASTLINE OF JIANGSU PROVINCE, CHINA

CHEN Xia WANG Jian ZHU Xiaohua

(College of Geographical science, Nanjing Normal University, 210097)

Received: Aug., 8, 2001

Key Words: 1:50000, Coastline, Fractal, Dimension, Pertinence, Spatial distribution

Abstract

The length of coastline of Jiangsu Province is measured on 1:50000 map using different dividers. The fractal dimensions of the coastline are calculated and the relationship between the whole fractal dimensions and ave discussed. It shows that the fractal dimension of the whole coastline of Jiangsu Province is 1.0962, the value of fractal dimension increases from the north to the south, and the whole fractal dimension is in the range of those of the parts. (本文编辑:李本川)