

湿地を流れる河川の蛇行形状の特性

The Characteristics of Meandering River in a Marsh

北海道大学工学部
北海道大学大学院

環境社会工学科
工学研究院

○学生員
正会員

渡辺伸宙 (Nobuoki Watanabe)
田中岳 (Gaku Tanaka)

1. はじめに

沖積地の河川のように、砂礫の移動に伴い形成され蛇行形状は、大小様々な曲率をもつ湾曲部が多数複合した形状であるのに対して、湿原における河川の蛇行形状は、直線部が連なって屈折したような形状になっている。このことは、河床材料の違い（泥炭土）や河岸植生の繁茂など、湿原環境の特異性にあると考えられる。図-1、図-2 は湾曲した河道形状（当幌川）、直線流路と屈折部が連なった河道形状（チルワツナイ川；釧路湿原）の例であり、いずれも北海道道東付近を流れる中小河川である。図はほぼ同縮尺である。Seminara¹⁾ が詳述しているように、これまでに沖積地等における蛇行河川の流路形状（縦横断河床形状と平面形状）と、水理量や流砂との関係については、実験、理論解析、数値シミュレーションと、様々な手法に基づく多くの研究成果によって明らかにされている。しかしながら、湿原等に見られるような河川の蛇行形状に関しては、未解明のままである。

本研究の目的は、湿地にみられる河川の初期形成と、その発達機構を解明することにある。その最初の段階として本論文は、数値地図情報（GIS）を活用し、河川の平面形状の特徴を河道中心線の曲率という観点から捉えようとするものである。

2. 解析対象河川と河道中心線の作成

2.1 対象河川

2007 年 10 月に国土地理院にて公開された数値地図 25000（空間データ基盤）²⁾ から、平水時の河道中心位置を取り出し解析する。表-1 に示すのは、道東を流れる中小河川、12 河川である。この内湿原に属する部分を流れる河川は 4 河川(表中の*)あり、釧路湿原、別寒辺牛湿原、風蓮湖付近のいずれかに属する。図-3 に示したものは対象河川の位置を示しており、図中の番号は表-1 の番号と対応している。また現在は湿原に分類されないが、かつて湿原に分類されていた地域を流れる河川も今回の 12 河川の内に 3 河川(表中の**)入っている。今回対象とした河川は、衛星画像等から川幅 B を推定できる河川を対象としている。川幅については目視で任意の 10 点を計測し、その平均を川幅として定義した。表-1 にはそれぞれの河川の川幅の値を併記した。尚、地図からの川幅計測が困難な場合には、その近郊の河川の川幅を用いた。コッタロ川はチルワツナイ川、チャンベツ川、オモシロンベツ川は別寒辺牛川の川幅を用いている。



図-1 当幌川（中，上流付近）



図-2 チルワツナイ川（釧路湿原）

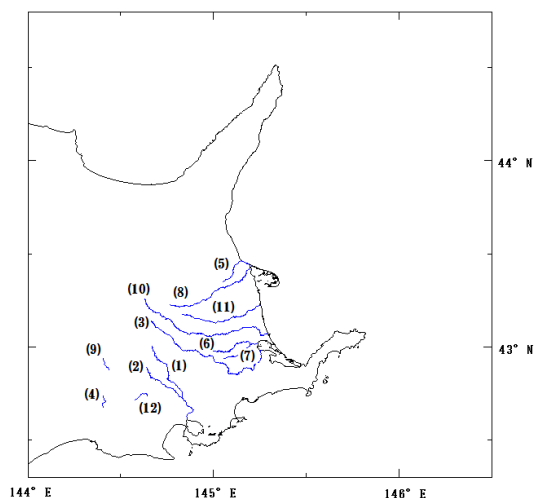


図-3 道東地域拡大図

表-1 解析対象河川データ

No	河川名	市町村名	川幅(m)	曲率			備考
				平均	歪度	尖度	
1	別寒辺牛	厚岸郡厚岸町, 川上郡標茶町	10.8	0.00093	0.234	11.07	*
2	チャンベツ	厚岸郡厚岸町, 川上郡標茶町	10.8	-0.00059	0.021	13.64	*
3	風蓮	厚岸郡浜中町, 野付郡別海町, 根室市	17	0.00096	0.398	16.50	*
4	チルワツナイ	阿寒郡鶴居村	11.3	0.00080	0.312	10.32	*
5	茶志骨	標津郡標津町, 中標津町	5.8	-0.00057	0.785	17.31	**
6	ヤウシュベツ	野付郡別海町	10.3	-0.00019	0.823	13.89	**
7	ケネヤウシュ	野付郡別海町	9.5	0.00144	1.192	28.25	**
8	当幌	野付郡別海町, 中標津町, 標津町	9	0.00013	-0.320	6.39	
9	コッタロ	川上郡標茶町	11.3	0.00061	-0.247	7.47	
10	西別	野付郡別海町, 川上郡標茶町	14.5	-0.10187	-0.220	7.83	
11	床丹	野付郡別海町	11	-0.00216	0.126	8.72	
12	オモシロンベツ	川上郡標茶町	10.8	0.00107	0.516	10.92	

2. 2 河道中心位置データの作成

本研究においては、この数値地図情報を用いて検討していくが、曲率を求める際に座標点が等間隔である方が便利である。しかしこの河道位置データは等間隔ではない為、数値地図情報の点データを補間して任意の等間隔データを得る。方法としては2点間を直線で結ぶ単純直線補間³⁾や、座標を関数で結ぶスプライン補間⁴⁾によるものがあるが、ここでは以下で述べるように、後者のスプライン補間を用いて等間隔の河道中心位置データ系列を作成する。本研究で用いるスプライン関数は3次のスプライン関数である。Inci Guneralp, Bruce L. Rhoads⁴⁾によれば、元の座標データの2点間を直線で結んだ軸(τ軸)上でx座標, y座標をそれぞれ3次のスプライン関数で定義する。

$$CS(\tau) = (x(\tau), y(\tau))$$

その曲線上を等間隔にサンプリングしている。x(τ), y(τ)は下の式(1), 式(2)で表される。j は元の座標データの番号 1~N であり, a,b,c,d はそれぞれの区間での係数を表す。

$$x(\tau) = a_{x,j}(\tau - \tau_j)^3 + b_{x,j}(\tau - \tau_j)^2 + c_{x,j}(\tau - \tau_j) + d_{x,j} \quad (1)$$

$$y(\tau) = a_{y,j}(\tau - \tau_j)^3 + b_{y,j}(\tau - \tau_j)^2 + c_{y,j}(\tau - \tau_j) + d_{y,j} \quad (2)$$

曲率 k(s)の計算においては、曲線軸(s 軸)上で定義された式(1), (2)のそれぞれの第1次導関数, 第2次導関数から式(3)の式より求める。

$$k(s) = \frac{x'y'' - y'x''}{((x')^2 + (y')^2)^{3/2}} \quad (3)$$

尚、式(3)より求められた曲率はk(s) = 1/C(s) (C(s)は曲率半径)で表され、曲率のC(s)→0の時の極限值を取る

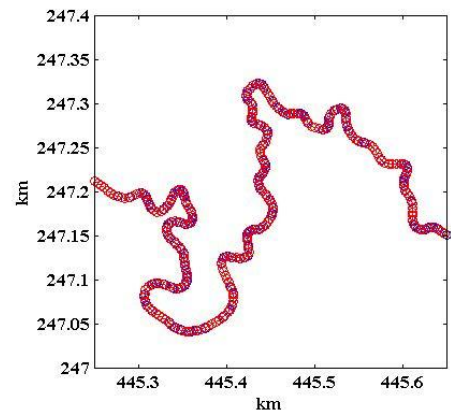


図-4 当幌川 対象区間一部拡大図

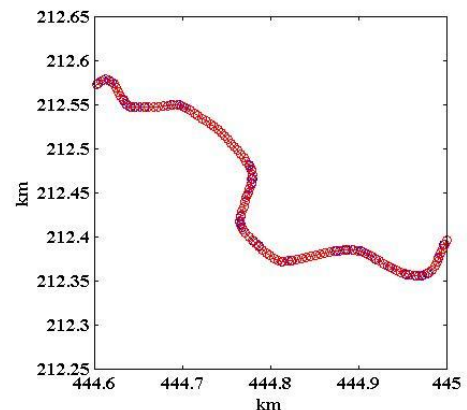


図-5 チルワツナイ川 対象区間一部拡大図

ので、式(3)の値はk(s)→±∞で表される。計算はMATLAB7.9.0(R2009b)を用いて計算を行った。尚、ここで等間隔にサンプリングする際にその間隔によって曲率の値は変わってくる。間隔の決定方法であるが、規模の違う河川を比較するため川幅の半分の間隔(B/2)でサンプリングし、無次元化を行う。

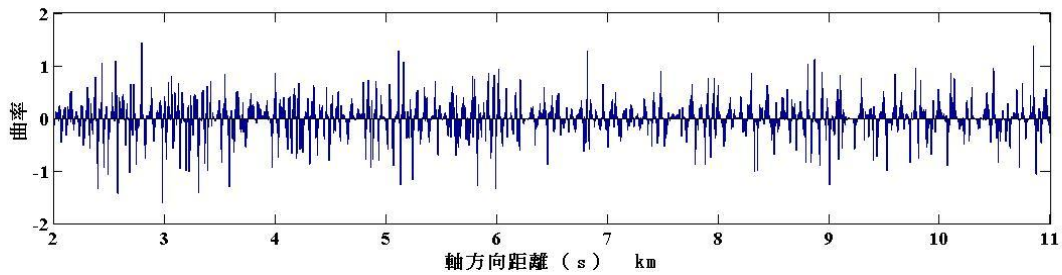


図-6 当幌川の曲率分布

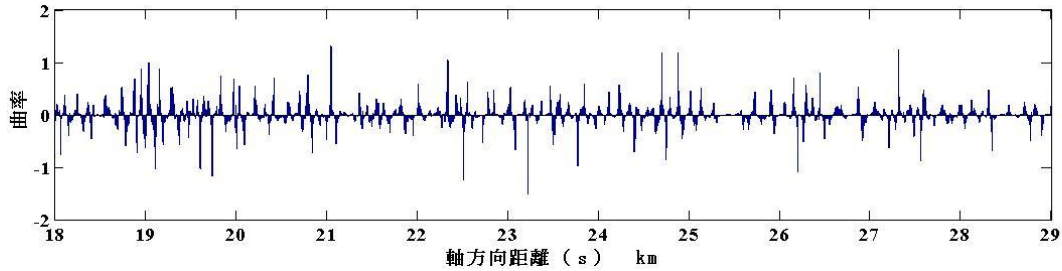


図-7 チャンベツ川の曲率分布

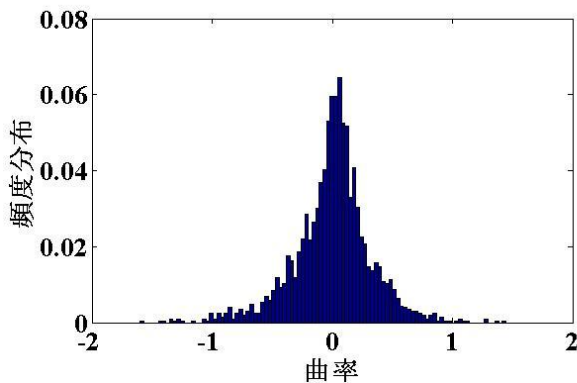


図-8 当幌川のヒストグラム

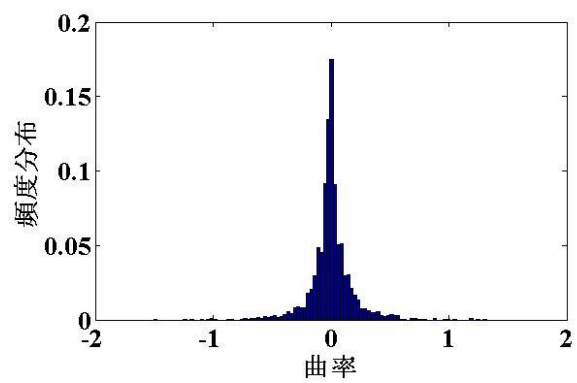


図-9 チャンベツ川のヒストグラム

3. 計算結果

3.1 分布の違い

図-1, 図-2 で示したような蛇行形状の違いが可動中心線の曲率の分布としてどのように現れるのかを検討する。湿原を流れる河川としてチャンベツ川, 湿原以外を流れる河川として当幌川を例に挙げる。図-4, 図-5 は曲率の分布を計算した区間の一部の蛇行形状である。図中の距離は北緯 $40^{\circ} 20'$ 東経 $139^{\circ} 00'$ からの距離である。図-1, 図-2 と同じような形状の違いを有していることが分かる。図-6, 図-7 はそれぞれの河道中心線の曲率の分布を示したものである。図-8 図-9 のヒストグラムはそれぞれ図-6, 図-7 の分布において、曲率の値とその頻度を示したグラフである。図-6 から図-9 の曲率は川幅で無次元化した値である。長さの異なる河川でも比較ができるようにデータ総数で割った確率分布を求めることにした。その区間に該当する座標を取る間隔は図-6 と図-7 で異なるがおおよそ二つは座標点 2000 個を使った曲率の分布になっている。

図-6, 図-7 の違いとして、分布の密度が異なっていることが見て取れる。当幌川の方は曲がりが多いために曲率の変化が連続的であるのに対し、チャンベツ川の方

は直線が連続した蛇行形状になるため、曲がりの部分で値をとるパルス状の離散的な分布になっていることが分かる。この分布の違いは、図-1, 図-2 に示したような蛇行形状の違いを示していることになる。

また図-8, 図-9 に示したヒストグラムを見てみると、その分布の違いがよくわかる。曲率が 0 付近において分布が多くなっているチャンベツ川に対して、それよりも 0 付近の尖がりが小さいが、-2~2 付近の曲率の分布が多くなっている当幌川と、それぞれの特徴がみられた。実際、0 の分布はチャンベツ川が当幌川の約 2 倍の分布を示している。つまり、チャンベツ川の方が当幌川よりも河道長に対する直線区間の割合が非常に多いことを意味している。他の解析対象河川についても同じようなことが言えた。

3.2 歪度と尖度

曲率の分布を見ていく際の着眼点として、分布のひずみと尖がりを見ていく。歪度は分布の平均値を中心とした左右の対称性を示しており、尖度は平均値における密集の度合いを示している。標準正規分布の場合は歪度 0,

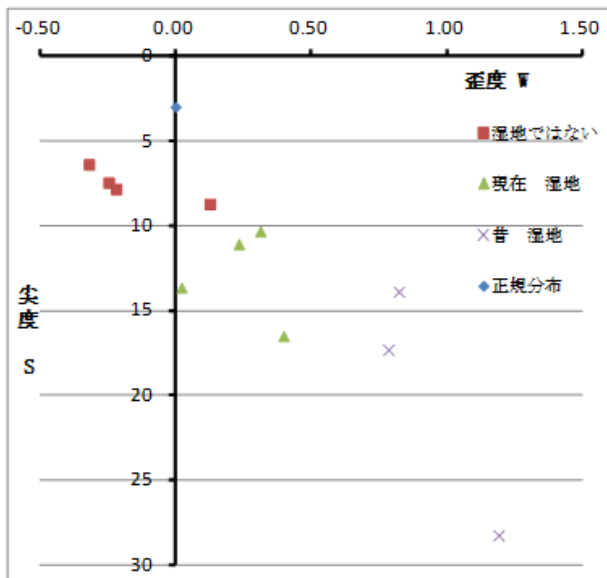


図-10 歪度と尖度のグラフ

尖度 3 という値を示す。歪度と尖度はそれぞれ式(4)と式(5)で求める。尚、 σ は分散の値であり、 $\bar{x}$ は平均、 i は座標の番号である。

$$W = \frac{1}{(\sqrt{\sigma})^3} \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^3 \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{(\sqrt{\sigma})^4} \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^4 \quad (5)$$

表-1 には河川毎に平均と歪度 W と尖度 S を計算した結果を載せてある。図-10 は横軸に歪度 W 、縦軸に尖度 S を取ってグラフにしたものである。表-1 において、No.1 から No.4 は現在河川が湿地内を流れている河川であり、No.5 から No.7 は大正時代に湿地に属していたと思われる河川、No.8 から No.11 は湿地には属さない土地を流れている河川、No.12 は地図からでは確定できない河川である。湿地を流れているか否かの判断は、現地観測⁵⁾や「北海道の湿原」⁵⁾に示されている図版を元に判断している。また図-3 に示す個々の河川に対して、曲率の分布が一定とみなせる範囲を切り取って歪度と尖度を計算しているが、その範囲を図示することについては紙面の都合上省略している。

表-1 を見ると平均がおおよそ 0 付近に集中し、歪度が 0 に近い値を示していることが分かる。これはヒストグラムに直した際にピークが図-8、図-9 のように 0 付近に集中していることを意味している。表-1 で湿地に属する部分と湿地に属さない部分を比べると、湿地に属さない部分よりも湿地に属しているまたは属していると考えられる部分の方が尖度の値が大きい値を示していることが分かる。この傾向は、W.M.Appels⁷⁾らの報告とも一致する。よって図-1、図-2 でみられた蛇行の特徴を示している。つまり図-1 のような、多数の湾曲が連続するような蛇行形状では直線の分布が少なく、幅広い曲率を有しているのに対して、図-2 のような、直線が組み合わさったような蛇行形状では 0 付近に曲率の分布が

集中し、尖度の値が高い値を示す。ここで取り上げた河川に限っては図-10 で示したように、尖度 10 付近を境にそれよりも小さければ図-1 のような湾曲した蛇行形状、大きければ図-2 のような屈曲した蛇行形状になっていることが分かる。以上より曲率の分布や統計的な特性、特に歪度と尖度の関係は蛇行形状の違いを定量的に示すのに有効と言える。

4. おわりに

本研究は、湿原を流れる河川と湿原以外を流れる河川の蛇行形状の違いを定量的に評価しようとしたものである。以下に本研究のまとめを述べる。

- 1) 曲率のヒストグラムについては、直線流路が連続するような、湿原を流れる河川ではその値が 0 に集中し、湾曲が連続して連なったような湿原以外に多く見られる河川では曲率に幅広い分布がみられ、両者に明確な違いを示した。
- 2) 歪度と尖度を用いた曲率の分布の解析について、本研究に限っては湿地を流れる河川と湿地以外を流れる河川とで尖度 10 区別できると考えられる。

今後はこうした蛇行形状の統計的な特性の違いを地形及び地質的な特性、水理条件などに対応させて考察する予定である。

参考文献

- 1) Giovanni Seminara : Meanders, *J. of Fluid Mech.* , vol. 554, pp. 271-297, 2006.
- 2) 国土地理院：数値地図 25000 (空間データ基盤), CD-ROM, 2002.
- 3) 田中梢, 田中岳：低平地湿地における蛇行河川の形状, 土木学会北海道支部論文報告集第 66 号 B-12, 2009.
- 4) Inci Guneralp and Bruce L. Rhoads : Continuous Characterization of the Planform Geometry and Curvature of Meandering Rivers , *Geographical Analysis*, ISSN (40), pp. 1-25, 2008.
- 5) 田中梢, 田中岳, 長谷川和義：低平地湿地の蛇行河川流路形成機構に関する基礎的研究-釧路湿原チルワツナイ川の水利的特性の実態-, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, I_1177-I_1182, 2012.
- 6) 菅原紀夫：北海道の湿原, 北海道新聞社, pp. 10, 2007.
- 7) W.M.Appels, A.J.F.Hoitink, D.H.Hoekman: Planform geometry of peat meanders , *Rivers, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, pp. 271-277, 2007.