Ｂ－１２　　平成21年度　土木学会北海道支部　論文報告集　第66号

低平地湿地における蛇行河川の形状

Geometry of Meandering River in a Lowland Moor Area

北海道大学工学部環境社会工学科　　○学生員　田中梢　(Kozue Tanaka)
北海道大学大学院工学研究科　　　正　員　田中岳　(Gaku Tamaka)

１．はじめに

湿原等の低平地における蛇行河川は, 緩いカーブを描くような沖積地等における蛇行形状だけでなく, 湾曲部が直線的で凸凹とした形状に加え, それらが複合した形状を持つものが多くある．**図-1・図-2** は，後者の凸凹とした形状を持つ当幌川と春別川の河道の一部拡大図である. 一方, **図-3・図-4** は，緩やかなカーブ形状をもつ新川とテッパンベツ川の河道形状の一部拡大図である．何れも，北海道道東を流れる中小河川である.

Seminara[1]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, 実験, 理論解析, 数値シミュレーションと, 様々な手法に基づき多くの研究成果によって明らかとされてきている．これらによれば, 沖積河川の蛇行形成機構については, ほぼ解明されつつあると考えられる．しかしながら，一方で，**図-1・図-2** に示すような複雑な形状を有し, 湿原等の低平地にみられる河川の形成機構については，未解明のままである.

本研究の目的は, 低平地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．それを踏まえ本研究では，数値地図情報（GIS）を活用し，この複雑な河川の平面形状の特徴を，古典的なスペクトル解析や，フラクタル次元によって見出そうとするものである.

２．データ整理方法

２．１　使用データ

本研究では，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，解析することとした.

２．２　解析対象河川

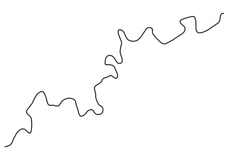

図-1　当幌川河道

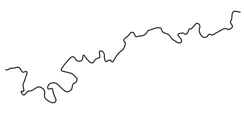

図-2　春別川河道

図-3　新川河道

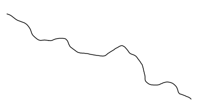

図-4 テッパンベツ川河道

表―1　解析対象河川

	河川名	市町村
1	当幌川	野付郡別海町, 中標津町, 標津町
2	コッタロ川	川上郡標茶町
3	オモシロンベツ川	川上郡標茶町
4	シラルトロエトロ川	川上郡標茶町
5	サロベツ川	天塩郡幌延町, 豊富町
6	ツルワツナイ川	阿寒郡鶴居村
7	アシベツ川	阿寒郡鶴居村
8	ポンルシャ川	斜里郡斜里町
9	ルシャ川	斜里郡斜里町
10	テッパンベツ川	斜里郡斜里町
11	マクンベツ川	標津郡標津町
12	下エベコロベツ川	天塩郡幌延町
13	春別川	野付郡別海町, 中標津町
14	床丹川	野付郡別海町
15	ヤウシュベツ川	野付郡別海町
16	ポンヤウシュベツ川	野付郡別海町
17	ケネヤウシュベツ川	野付郡別海町
18	西別川	野付郡別海町, 川上郡標茶町
19	茶志骨川	標津郡標津町, 中標津町
20	琵琶瀬川	厚岸郡厚岸町
21	二番沢川	厚岸郡厚岸町
22	泥川	厚岸郡厚岸町
23	新川	厚岸郡厚岸町
24	風蓮川	厚岸郡浜中町, 野付郡別海町, 根室市
25	別寒辺牛川	厚岸郡厚岸町, 川上郡標茶町
26	チャンベツ川	厚岸郡厚岸町, 川上郡標茶町

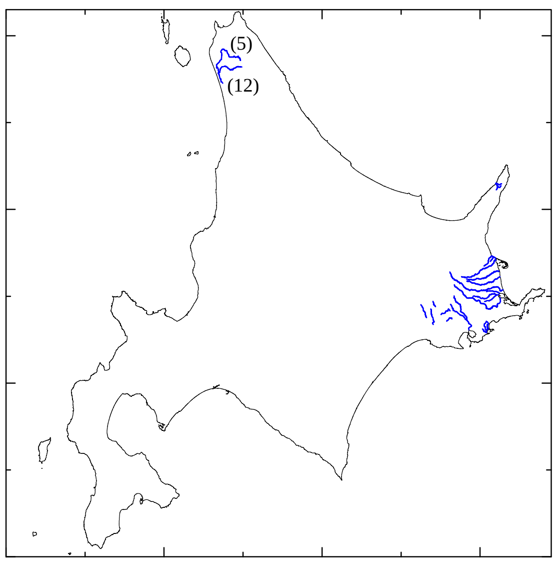

図-5　北海道全体図で見た河川位置

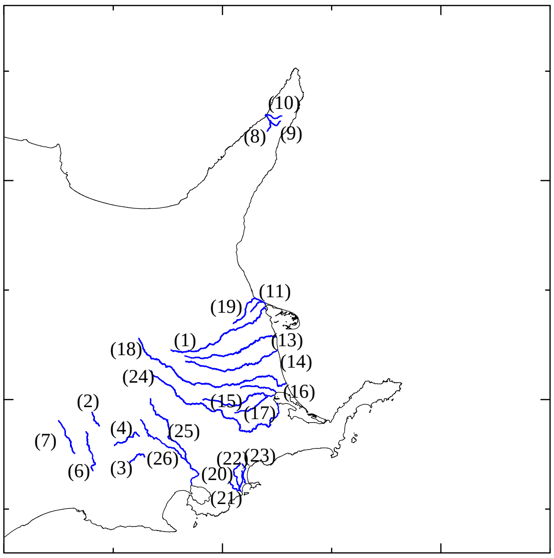

図-6　知床・道東地域拡大図

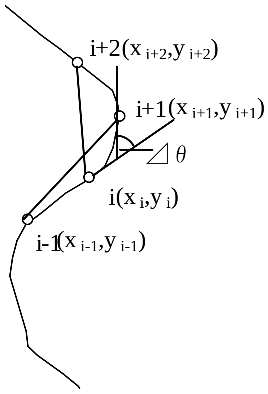

図-7　i 点の偏角

河道の解析を行った北海道内の 26 河川について，**表-1** にまとめる．**図-5** に北海道全体図での河道位置を，**図-6** に知床・道東地域拡大図を示した．なお，図中の番号は，**表-1** にまとめられた河川の番号と対応している．

２．２　データ間隔と曲率

後に解説するスペクトル解析を行うためには, 解析を行うデータが等間隔である方が便利であるが, 数値地図情報での河道位置データは等間隔ではない. 数値地図情報の点データを補間し, 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や，多点を用いたスプライン補完[3]によるものがある．本論文では，前者の単純直線補間を用いて, 等間隔の河道中心位置データ系列を作成した．なお，間隔については，5m，10m，30m，50m，100m とした．

また，山岡・長谷川[4, 5]は，複雑な河川の平面形状を，河道長（ここでは河道中心線に沿った長さ）s と，各点における任意基線に対する方向角 $\theta(s)$ の微分量 $d\theta/ds$ （曲率）によって表現し, その特徴を統計学的に解析している．本論文でも，同様な手法を用いて，上流から下流に向け，式(1)により方向角 θ_i の変化量 $\Delta\theta_i$ を求め, 平面形状を特徴付けることとした（**図-7**）．

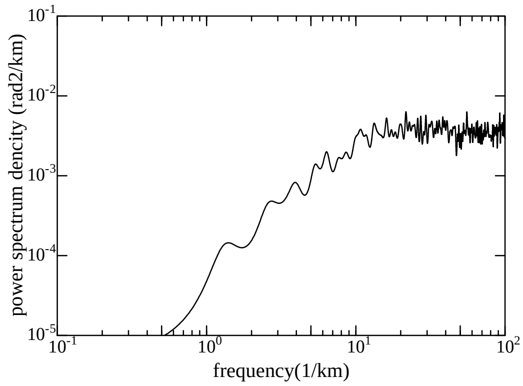

図-8　春別川のスペクトル密度分布

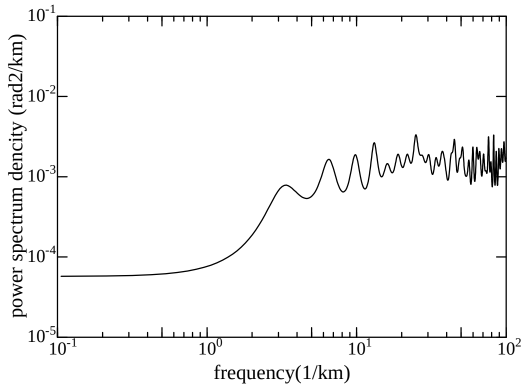

図-9　下エベコロベツ川のスペクトル密度分布

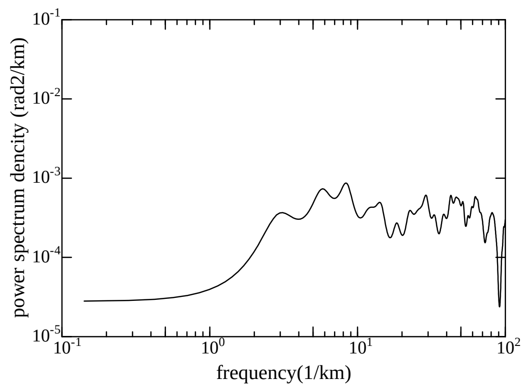

図-10　テッパンベツ川のスペクトル密度分布

$$\Delta\theta_i = \tan^{-1}\frac{y_{i+2}-y_i}{x_{i+2}-x_i} - \tan^{-1}\frac{y_{i+1}-y_{i-1}}{x_{i+1}-x_{i-1}} \qquad (1)$$

ただし，(x_i, y_i) は河道中心位置の座標を意味し，i（整数）を上流側から定めている．なお，先に述べたように，曲率は，方向角の変化量 $\Delta\theta$ を，データ間隔 Δs にて除した，

$$(\text{曲率}) = \frac{\Delta\theta}{\Delta s} \qquad (2)$$

のより表される. 本研究では等間隔データを取り扱うため，曲率と方向角の変化量とは同意である.

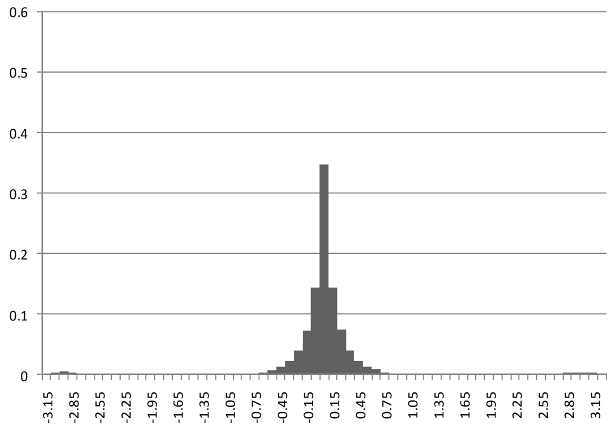

図-11　当幌川のヒストグラム

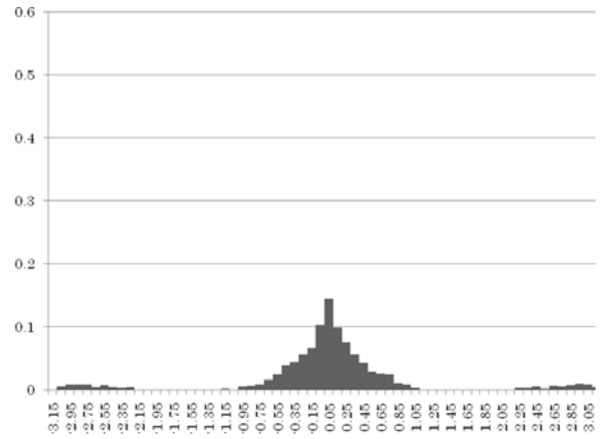

図-12　コッタロ川のヒストグラム

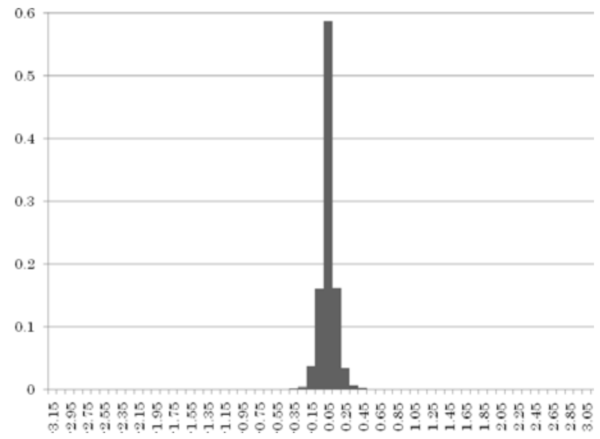

図-13　テッパンベツ川のヒストグラム

3．解析方法と計算結果

3．1　スペクトル解析

スペクトル解析は，主観的な人間の目では判断できない変動するデータ系列に対して，三角関数系の直交性を用いて，周波数領域での特徴を機械的・理論的に判断することができるという特徴を持つ．

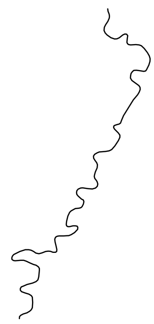

図-14　コッタロ川河道拡大図

沖積河川のスペクトル解析については，これまでにも数多くの研究が発表され，流域や砂州，谷蛇行に結びつける等様々な解釈が得られている．本研究では，これまで沖積河川で行われていた手法であるスペクトル解析を低平地の複雑な河道形状に適用し，スペクトル密度の違い（特性）について考察する．

そこで，河道長 s と，２．２項の(1)式から求めた河道の曲率 $\Delta\theta_i$ のデータ系列に対してスペクトル解析を行い，周波数（距離の逆数）とスペクトル密度について調査した．なお，計算は日野 [6]のプログラムを参考に，MEM により行った．

図-8 に春別川，図-9 に下エベコロベツ川，図-10 にテッパンベツ川についてのスペクトル解析結果を示す．図-4 にて示したテッパンベツ川は，従来盛んに研究が行われてきた沖積地河川のように，湾曲部がカーブを描くような河道を多く持つ河川である．一方で，春別川や下エベコロベツ川は湾曲部にも直線的な部分を持つ河川である．このため，テッパンベツ川の場合には，沖積河川における蛇行形状へのスペクトル解析 [4]でも見られるように，低周波帯，高周波帯ともに明らかなスペクトルピークが現れ，最も大きなピークは低周波帯に位置する（図-10）．しかし，図-8，図-9 のスペクトル密度は，従来の結果とは異なり，高周波帯で高い値，低周波帯では低い値を示している．また，高周波帯において細かい振動を見せ，卓越した周期を見出すことができない結果となっている．この傾向は，他の河川についても同様に見られ，低平地河道の形状は，非常に不規則な変動特性を有し，フラクタル特性を示すことが考えられる．

3．2　曲率の度数分布

ここでは，スペクトル解析の際に求めた式(1)の各点における方向角の変化量 $\Delta\theta_i$ を用いて，ヒストグラムにより検討をおこなう．なお，$\Delta\theta_i$ を-3.15(rad)から 3.15(rad)まで 0.1 間隔の刻み幅で区分し，その区間に該当するデータの個数を調べることにより度数分布を作成した．また，長さの違う河川でも比較ができるように，データ総数で除すことで基準化された分布（確率分布）を求めることとした．

図-11 に当幌川，図-12 にコッタロ川，図-13 にテッパンベツ川のヒストグラムを示す．横軸が $\Delta\theta_i$，縦軸が区間に該当する個数を全体の個数で除したものである．図-13 においては-0.15 から 0.15 の 0 近傍の値が突出している．つまり，テッパンベツ川の場合，河道長に対する直線区間の割合が非常に大きいことを意味している．一方，図-11，図-12 においては 0 近傍の値だけでなく，周辺にも正規分

布に従うような形に値が分布していることがわかる．これらは，当幌川（**図-1**），コッタロ川（**図-14**）のような場合には，湾曲部が凹凸に近いような，細かく折れ曲がる河道形状を有している．特にコッタロ川では細かい凹凸を繰り返すような部分が多い．このことがヒストグラムの分布に広がりを持たせている要因であると考察される．

２．４　フラクタル性 [7)]

海岸線のように複雑に入り組んだ曲線の長さを測る手法にフラクタル次元という考え方がある．これは，求める曲線の長さ S を，Δs の線分で近似し，その線分の数を $N(\Delta s)$ とすると，海岸線の長さの近似値 $S(\Delta s)$ は，式(3)により求められる．

$$S(\Delta s) = \Delta s \cdot N(\Delta s) \qquad (3)$$

Δs を小さくとるほど誤差が少なくなるため，$\Delta s \to 0$ の時, $S(\Delta s)$ は極限をとる．

また, 線分の数 $N(\Delta s)$ は，Δs を小さくすることにより，式(4)のように増加する．

$$N(\Delta s) = F\Delta s^{-D} \qquad (4)$$

ただし， F は定数である．式(3)と式(4)より，曲線の長さは式(5)となる．

$$S(\Delta s) = F\Delta s^{1-D} \qquad (5)$$

以上の式から, 刻み幅－総曲線長を両対数軸により示すことを考えた場合，グラフの傾きは $1-D$ となる．この時の D はフラクタル次元と呼ばれており，直線や円に対しては $D=1$ となる．また，凹凸を多く含む曲線ほど D は 2 に近づく．これを用いることで，凹凸の形状を評価することができる．

ここでは，凹凸を多く含むような形状の河川に着目し，データを等間隔化する際の刻み幅と総河道長をこのフラクタル次元の考え方を用いて検討することとした．**図-15** に等間隔に補正した際の刻み幅 Δs とその刻み幅の場合の総河道長 S との関係を両対数グラフにて示した．式(5)のフラクタル次数は約 1.03 であり，ほぼ直線のような形状を示している．その他は刻み幅 Δs が 10m の地点から折れ曲がるような形状とり, それを境にしてフラクタル特性が変化していることが伺える．また，(1)・(13)・(14)の河川（**表-1**）については同じような傾きを示し，フラクタル次元が約 1.14 から 1.13 と近い値となった．同じような勾配を示している(1)・(13)・(14)は当幌川・春別川・床丹川で, 道東に位置し，**図-1**・**図-2** に示すような，凹凸な蛇行形状を持つ河川である．勾配の緩い(5)は，サロベツ川であり, これらの 3 河川のように細かく直線的な蛇行はあまり見られない．3 河川のフラクタル次元が大きく，サロベツ川のフラクタル次元が小さくなっていることから, フラクタル次元には河道形状を表す指標としての効果があると考えられる。

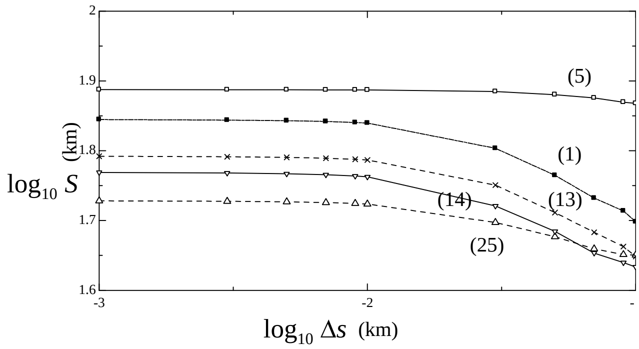

図-15　刻み幅と総河道長の関係図

５．まとめ

本論文にて得られた結果を以下にまとめる．

・湾曲部が凸凹とした形状を多く含む, 低平地の蛇行河川にスペクトル解析を行うと, 高周波帯にピークが集中し, その不規則性から雑音のようなスペクトルとなる傾向にある．これは，沖積地の蛇行河川に対して行われてきた従来の結果とは大きくことなる性質である．

・曲率のヒストグラム（確率分布）については，緩やかなカーブを持つ河川は分布が 0 付近に集中し, 凹凸を有する河川では曲率の変化の幅が広いことが, 定量的に示された．

・カーブの形状の違う河川においてフラクタルの値に差が出たことにより, 河道形状を分類する指標としてフラクタル値を使用できる可能性があることが示唆された．

今後は, スペクトルのピーク位置が何に対応しているか, また，フラクタル次元の大きな河川・小さな河川の違いについてより調査を進めることで, 低平地の蛇行河川の形状の定量化を目指す予定である．

謝辞：本研究を実施するにあたり，道口敏幸技術職員（北海道大学工学部）には，データ収集・整理のご協力，ならびに貴重なご意見を賜りました．また，長谷川和義前教授（北海道大学大学院）にも，貴重なご意見を賜りました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) Giovanni Seminara: Meanders, *J. Fluid Mech.*, 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) 田上龍一: スペクトル解析からみた河川蛇行のモード -MEM による解析の試み-, 北海道大学地球物理学研究報告, pp. 201－209, 1987.
4) 山岡勲，長谷川和義: 蛇行河川の流路形態に関する一考察，北大工学部研究報告，第 68 号, pp. 191-204, 1972.
5) 山岡勲，長谷川和義: 自然河川の蛇行形状に関する資料解析，然災害資料解析, Vol. 3, pp. 89-97, 1976.
6) 日野幹雄: スペクトル解析，朝倉書店, pp. 1-300, 1977.
7) Benoit B. Mandelbrot: *The fractal geometry nature*, W. H. Freeman and Company, 1977.