釧路湿原における地下水位変動量のスペクトル解析

Spectral analysis on groundwater level change in Kushiro wetland

室蘭工業大学建設システム工学科　　○学生員　宮本冬馬（Tohma Miyamoto）
室蘭工業大学建設システム工学科　　フェロー　藤間聡　（Satoshi Tohma）

1.　まえがき

釧路湿原は 1980 年に日本国内第一号の登録湿地としてラムサール条約に登録され,1987 年には国内 28 番目の国立公園に指定されるなど重要な湿地として認識されている.しかし,近年の釧路湿原において,湿原の乾燥化などによる湿原面積の減少が問題となっている.

本研究は,湿原乾燥化の抑制のための基礎的研究であり,乾燥化に影響を与える要因の一つとして地下水に着目し,地下水流動特性を把握することを目的とする.

2.　フラクタル

フラクタルとは，1975 年に Mandelbrot[1)]によって生み出された幾何学の概念であり，一般的に図形の全体と部分が自己相似の関係を持ち，視覚的に理解しやすいという特徴を持っている．この関係は自然界においても雲や海岸線，河川の形状に見ることが出来る．

フラクタルを釧路湿原に用いるにあたり，釧路湿原はラムサール条約や国立公園といった湿原保護のための規制が強く，さらに湿原という過酷な地形的制約によって地下水位の観測点が限定されている．この限られた観測点から湿原全体の地下水流動特性を把握する事は非常に困難である．さらに地下水位だけではなくその地層構造･特性を把握するためのデータも非常に限られている．

本研究では限られた地下水位観測データから,フラクタルの概念である小領域から大領域をその自己相似性から見出すという考えに着目し，地下水位変動量を周波数に対する変化として捉え，フラクタル理論を応用することによって釧路湿原の地下水位変動量におけるフラクタル特性を検討する．

3.　ゆらぎとフラクタル次元

解析を進めるにあたり，地下水位変動量がフラクタル特性を示すか否かについて検討する必要がある．フラクタル特性を示す根拠の一つに，ゆらぎという概念があり以下の式で表される．

$$S(f)=1/f^{\beta} \qquad (1)$$

ここに，$S(f)$はパワースペクトル，fは周波数，βはスペクトル数を示す．式(1)は，パワースペクトルを周波数の逆数で表したものであり，$1/f^{\beta}$ ゆらぎと称するものである．上式の両辺に対数をとりグラフにしたものを**図 - 1** に示す．スペクトル分布が同図のように直線関係となるとき，地下水位変動量は全体と部分において自己相似の関係にあることから，フラクタルの特性を示すことを意味している．また，スペクトル数βは同図において傾きを表しており，以下のような関係式が成立する[2)]

$$D_F=2.5-0.5\beta \qquad (2)$$

ここに，D_Fはフラクタル次元を示す．フラクタル次元には（$1 \leqq D_F \leqq 2$）の関係があることからβの範囲は（$1 \leqq \beta \leqq 3$）となる．

上式より，フラクタル次元 D_F が大きい場合，スペクトル数βは小さくなり，**図-1** においてパワースペクトル $S(f)$の取り得る範囲が小さくなる．これは，現象のランダム性が大きくなることを示しており，フラクタル性を用いた推定を行うに際して，その精度が低くなることを示している．

釧路湿原の地下水位変動量が小領域，及び大領域において同一のスペクトル分布となれば，フラクタル的性質を持つ事となり，小領域の性質を大領域に拡大することができる．

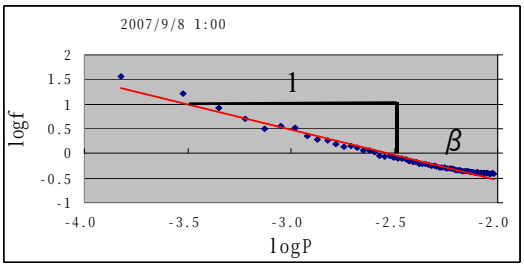

図-1　$1/f^{\beta}$ ゆらぎスペクトル分布

4.　スペクトル解析

スペクトル解析とは，任意の周波数からスペクトル分布を導く手法である．一般的に周波数の次元は時間に依存しているが，本論文ではこの手法を応用し距離を次元とする地下水位の変動成分を定式化し周波数による変化として解析をおこなう．地下水位データからパワースペクトルを求めるものとして様々な手法が提案されているが、本論文では FFT 法を採用する．

釧路湿原における地下水位の観測データを用いてスペクトル解析を行い，スペクトル数及びフラクタル次元を求め,地下水位変動量のフラクタル性について検討する．

ここで，フラクタルの性質を示すためには解析に用いるデータがガウス分布を示していなければならないということがわかっている．そこで，地下水位のヒストグラ

ムを作成したところ，釧路湿原の地下水位におけるヒストグラムはガウス分布を示さず，その変動量がガウス分布を示すことがわかった．以上より本論文では地下水位変動量を用いてスペクトル解析を行う．

地下水位変動量のとり方は**図-2** に示す湿原の全領域を網羅するように設定した．**図-3** に示す 2007 年の降雨量が少なかった 3 月 11 日と降雨量の多かった 9 月 8 日を選び出し，**図-4** にその日の地下水位変動量を示す．同図では 3 月 11 日及び 9 月 8 日の地下水位変動量をそれぞれ黄線・赤線で示している．矢印で示す観測点は久著呂川に隣接しているため，他の観測点の変動傾向とは異なっていると思われる．**図-5** はスペクトル分布を示し線形を呈している．方向③の地下水位変動量においてフラクタルの性質をしている．スペクトル数とスペクトル分布と回帰直線との相関係数を**表-1** に示す．

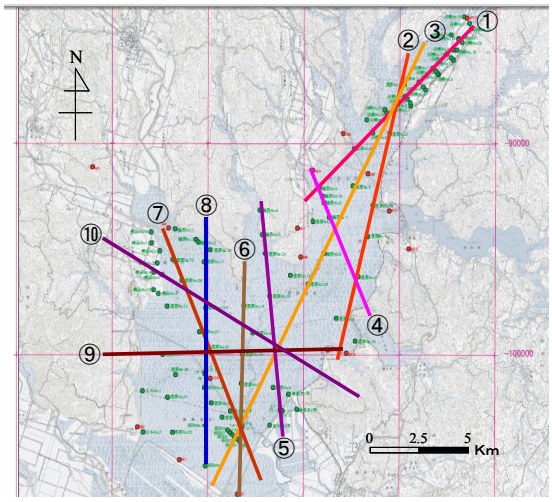

図-2　観測地点と解析方向

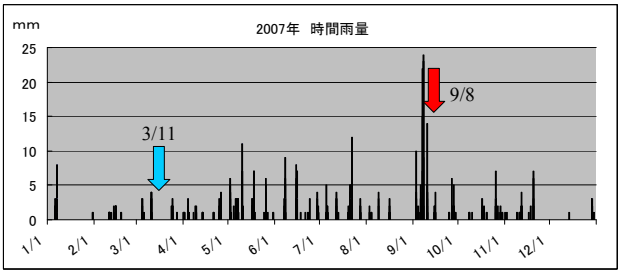

図-3　2007 年　時間雨量

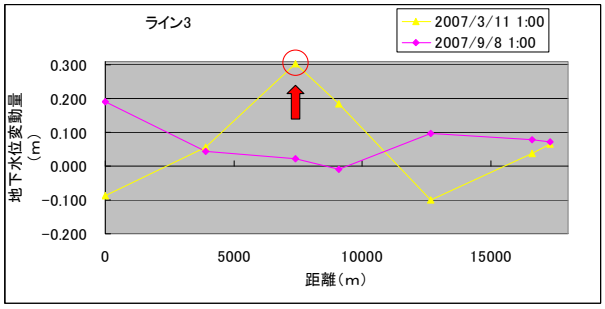

図-4　観測方向③の地下水位変動量

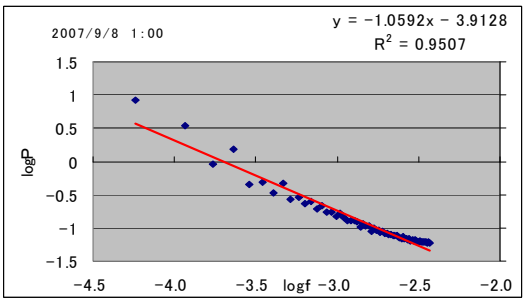

図-5　観測方向③のスペクトル分布

表-1　各方向のスペクトル数と相関係数

測線	スペクトル数		相関係数	
	9/8	3/11	9/8	3/11
1	1.256	2.137	0.912	0.873
2	1.050	0.926	0.901	0.904
3	1.111	1.059	0.920	0.951
4	1.118	0.922	0.924	0.922
5	1.143	1.019	0.910	0.974
6	1.017	1.089	0.967	0.949
7	0.939	1.174	0.987	0.912
8	0.978	1.052	0.961	0.963
9	0.998	1.042	0.979	0.962
10	1.509	1.066	0.873	0.959
平均	1.112	1.149	0.933	0.937
	1.130		0.935	
分散	0.028	0.126		
	0.077			

5.　結論

表-1 から，10 方向でスペクトル数においての解析結果が得られた．実測値と回帰直線との相関係数は，平均で 0.935 と大きく，いずれも直線との高い相関性を示している．スペクトル数は 1 に近く平均で 1.130 という値が得られ，分散値も低く，スペクトル数にばらつきがない事が認められる．よって釧路湿原において地下水位の変動量が，距離及び方向性，雨量に依存せずにフラクタルの特性を示している．このことから小領域の性質を大領域に拡大することができ，今後湿原全体の透水係数，流向，流速を推定することが可能である．

謝辞

本研究を遂行するに当たり，貴重なデータを提供していただいた釧路開発建設部様，記して謝意を表します．

参考文献

1)　高案秀樹：フラクタル，pp.1-31，　朝倉書店，1986．

2)　福士陽子他：釧路湿原における透水係数の空間分布に関する統計的解析，室蘭工業大学修士論文，2003