

II-8

豪雨の時空間的分布の特性に関する研究

長野県職員土木部	下平 晃稔
名古屋大学工学部	正員 松林 宇一郎
名古屋大学工学部	正員 高木 不折

1. まえがき

河川計画において、どのような特性を持つ降雨が流出に影響するかといった観点から降雨現象に対する様々な研究がなされ、降雨の時間分布の特性が、流出に様々な影響をもたらすことが示されている。同様に空間分布の特性も流出に影響してくるであろうと考えられるが、降雨のある空間分布が瞬間的なものであるなら、数十時間の降雨から見ればその分布は無視できるであろうし、また流出に対する影響もほとんどないといえるだろう。そのため、時間的な変化を含めた空間分布の特性を把握し、それが流出にどう影響してくるかを明らかにしていかななくてはならない。そこで本研究では、レーダー雨量計より得られた降雨場をフーリエ解析することにより空間的な特性を把握して、その時間的な変化に焦点をあててその特性を検討する。

2. 解析方法

降雨は大気中の水蒸気が上昇気流によって上昇、冷却し、凝結することによって生ずる現象である。こうした降雨現象の過程は、水蒸気や雲水が大きなスケールをもつ降雨バンドから順々に小さなスケールの降雨セルに伝達され最終的に降雨となって消散していくものと考えられる。一方、スペクトル解析による乱流現象の研究では、乱流の過程を乱れのエネルギーが長波長成分から短波長成分へ伝達され、最終的には粘性による摩擦損失として消散するというプロセスで説明しており、降雨現象の過程に類似している。よって、高周波領域のエネルギースペクトルがその波数の $-5/3$ 乗に比例するという、A. N. Kolmogorovの関係式を降雨場のスペクトル解析に援用できると考えられる。こうした事を踏まえて本研究では、降雨場をフーリエ解析し、スペクトルの分布特性、時間変化特性を捉えることにより、降雨の空間的分布の基本特性を明らかにすることを試みた。いま、降雨の空間分布特性をより簡潔、明確にとらえるために1次元降雨場を考えると降雨分布はフーリエ級数を用いれば(1)式のように表される。ここに、 $a_0/2$ は領域(長さ $2L$)内の平均降雨強度、 A_1 は振幅、 θ_1 は位相角、 k_1 は波数である。 A^2_1 は各波数の強さ、エネルギーを表しており、ここではフーリエスペクトルと定義する。乱流現象と降雨現象の類似性により、フーリエスペクトルが高周波領域ではKolmogorov的な式(2)、すなわちスペクトルが、波数のべき乗に比例するという関係式が成立することを確かめた。

$$r(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n A_i \sin(k_i x + \theta_i) \quad : \text{where } k_i = \frac{i\pi x}{L} \quad (1)$$

$$A_i^2 = \beta \omega_i^{-\lambda} \quad (2)$$

そこで本研究では、レーダー雨量計によって得られた25時間分の降雨データに関して各時刻の空間分布をフーリエ解析し、フーリエスペクトル A^2_1 の分布から高周波領域では、式(2)における最適パラメータ β 、 λ を求め、それらの時間的な変化の特性を追い、低周波領域ではそれぞれ一つ一つのフーリエスペクトルに対してその時間変化特性を追った。

3. 解析結果

今回用いた降雨データは建設省御在所レーダより得られた降雨データで、これは御在所山の山頂を中心に半径120km以内において5分毎に極座標系で与えられている。これを北緯34°22'00"、東経136°00'00"を原点に南北、東西方向ともに160kmを対象範囲として2.5km×2.5kmメッシュの直交座標系に変換して用いた。つまり、64×64個のデータが25時間分得られることになるが、現段階では1次元降雨場を考えているため、東西方向に64個のデータを1ラインとし、南北方向に64ラインあるデータを1ライン毎25時間分フーリエ解析を行っている。

図-1は、スペクトル分布に式(2)を用いてフィッティングした場合の一例である。降雨によっては、お

およそ全範囲のスペクトルについて式(2)が成立するケースもあるが、どのような降雨に対しても少なくとも第5, 6項以降については式(2)を適用できると考えられる。さらに式(2)のパラメーター β , λ は、ほぼ定常性をもっており、1次の自己回帰モデルすなわち次式で推定できることが分かった。

$$\beta_{(t)} = \pi_{\beta} \beta_{(t-1)} + a_{\beta(t)} + \bar{\beta} \quad (3)$$

$$\lambda_{(t)} = \pi_{\lambda} \lambda_{(t-1)} + a_{\lambda(t)} + \bar{\lambda} \quad (4)$$

ここで π_{β} , π_{λ} は、自己回帰係数であり、 a はwhite noiseである。図-2は、実測降雨から算出された β , λ と式(3), (4)によってシミュレートされた β , λ の時間変化を表したものである。この図より式(3), (4)で十分シミュレートできると考えられる。

式(2)に従わない低周波領域のフーリエスペクトルは互いに独立で3次の自己回帰モデルで推定できることが分かった。第 k 項のフーリエスペクトルは次式で推定できる。

$$A_{k(t)}^2 = \pi_{k1} A_{k(t-1)}^2 + \pi_{k2} A_{k(t-2)}^2 + \pi_{k3} A_{k(t-3)}^2 + a_{k(t)} + \bar{A}_k^2 \quad (5)$$

ここで、 π_{k1} , π_{k2} , π_{k3} は、それぞれlag1, lag2, lag3の自己回帰係数、 $\bar{A}_k^2$ は第 k フーリエスペクトルの平均値である。これらの結果を用いて降雨を模擬発生させたものが図-3である。持続性を保ちながら、空間分布が複雑に変化していく様子が再現されており、本研究で構築したモデルが降雨の時間的空間的特性を内包していると思われる。

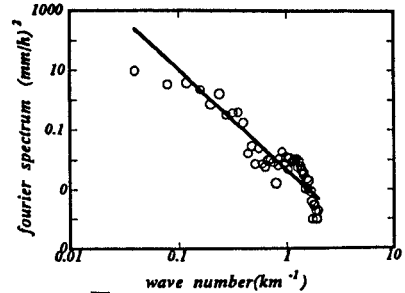


図-1 スペクトル分布とフィッティング直線

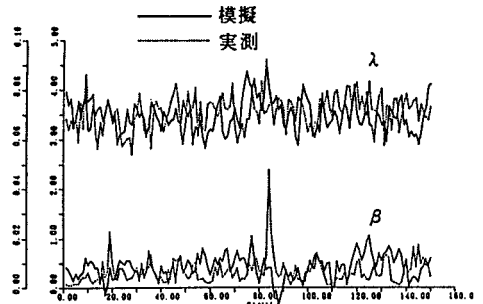


図-2 β , λ の時間変化

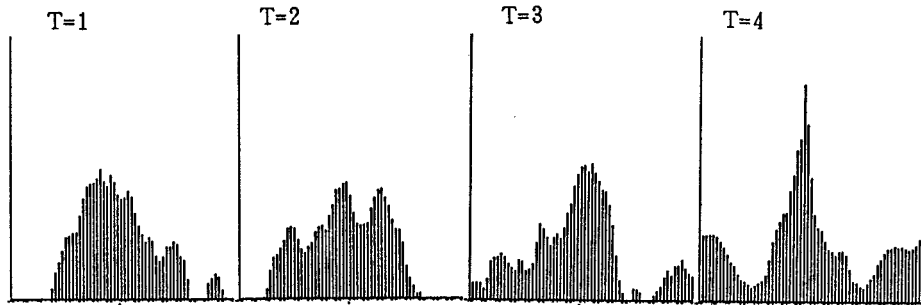


図-3 模擬発生した降雨の1例

4. 結論

- 1) 高周波領域における降雨のフーリエスペクトルは波数との間に、乱流におけるKolmogorov的な関係が成り立つ。
- 2) 高周波領域のフーリエスペクトルには定常性があり、パラメーター β , λ の推定には自己回帰モデルが適用できる。
- 3) 低周波領域のフーリエスペクトルは互いに独立で、非定常性が強い。