

II-20 フーリエスペクトルを用いた豪雨の空間分布特性の解析

川崎重工業株式会社 正員 ○林 尚一郎
 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

計画降雨は現在、降雨規模を地点降雨の一雨雨量(1~3日雨量)の統計解析よりT年確率降雨量として算定し、一雨雨量がこの値になる様に実績降雨を引き延ばして決定されている。しかしこの方法は降雨の空間分布を考慮することができないという欠点を持っている。空間分布を再現、予測するためのシミュレーションも数多く提案されているが、これらの方法では降雨規模を組み込むことができない。そこで本研究では降雨規模の導入を念頭においた降雨の模擬発生手法構築の前段階として、気象レーダより得られる降雨の空間分布をスペクトル解析し、降雨分布特性の検討を行なった。

2. 解析手法

降雨場は極めてランダム性の強い場であるが、一方で降雨バンド、降雨セルといった異なったスケールの現象が階層的に存在するという規則性をも合わせ持っている。本研究では、こうした降雨場をフーリエ級数を用いて表現する。これはフーリエ級数が降雨の持つ階層性を表現するのに適すると考えるからである。いま降雨の空間分布特性をより簡潔、明確に捉えるために1次元の降雨場を考えると、地点 x_i における降雨強度 r はフーリエ級数を用いて式(1)で表される。

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

ここに、 $a_0/2$ 、は長さ $2L$ の領域内の空間平均降雨強度、 A_i は振幅、 θ_i は位相角、 k_i は波数である。式(1)の右辺第1項は領域 $2L$ で空間積分すると総雨量を表しており、右辺第2項は空間的に積分するとゼロになるという特性を持っている。すなわち、第1項の直流成分が降雨規模に対応し、この意味で式(1)は降雨規模を陽に表現しようという利点を持つといえる。一方 A_i 、 θ_i による正弦級数の項は総雨量を空間的にいかに配分するかを表現しているといえることができる。本研究では A_i と θ_i の決定論的・確率論的特性について議論する。スペクトルの特性は以下の3つの取り扱いによって検討する。

a) **乱流でのKolmogorovの-5/3乗則を援用した扱い**：乱流現象においては、そのエネルギー・スペクトルの構造にKolmogorovの-5/3乗則がよく適合するといわれている。これは、乱れのエネルギーが長波長の渦から短波長の渦へとカスケード的に伝達され、最終的には粘性による摩擦損失として消散する過程を考慮し次元解析的に得られた関係である。降雨現象においても、雲水量や大気の大擾乱強度などの降雨に関するエネルギーは降雨バンドから降雨セルに伝達され最終的に降雨として系外に排出されるという、乱流と似た構造をしている。そこでKolmogorov的な式(2)によってスペクトル分布の検討を行なった。

b) **降雨の空間自己相関特性を考慮した取り扱い**：フーリエスペクトルは数学的には自己相関関数のフーリエ変換である。降雨分布特性を自己相関関数を用いて検討したものには多くの研究があるが、こうした研究においては降雨分布の自己相関は指数関数的に減少していくとされている。そこで指数関数的な自己相関関数をフーリエ変換した式(3)を用いスペクトル分布特性を検討した。

c) a), b)両方の特性を考慮した取り扱い：3番目の取り扱いとしてa), b)両方の特性含んだ式(4)を新たに提案し、これによってもスペクトル分布の特性を検討した。

$$A_i^2 = \beta k_i^{-\lambda} \quad (2) \quad A_i^2 = \frac{4\gamma \alpha}{\alpha^2 + k_i^2} \quad (3) \quad A_i^2 = \frac{\beta_s}{\alpha_s^2 + k_i^{\lambda_s}} \quad (4)$$

3. 解析結果

降雨データは名古屋地方気象台で観測された気象レーダデータを1時間降雨強度に変換したものである。また解析領域は河川流域の大きさ等を考慮し降雨の中心から100km×100kmの範囲とした。さらにこの領域から東西方向に切り出した1次元データを用いた。図1は解析データの例、図2はフーリエスペ

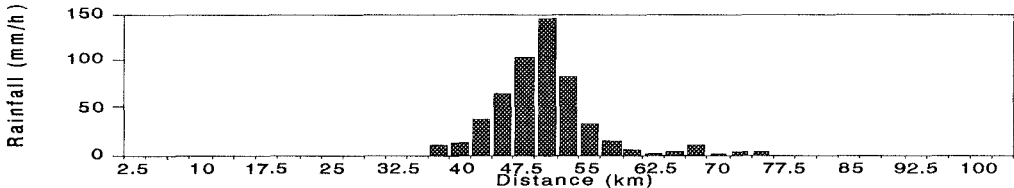


図1 気象レーダで測定された降雨分布（1986.6.29 9:00~10:00）

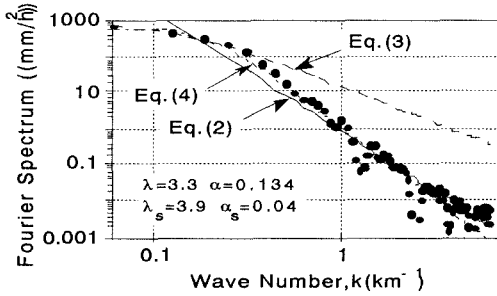


図2 スペクトル分布

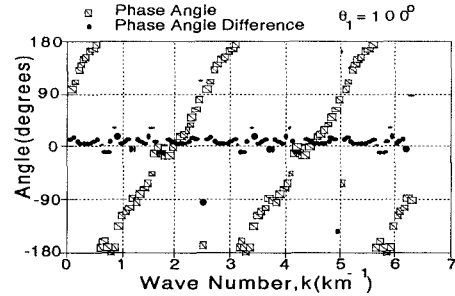


図3 位相角と位相角差の分布

クトル A_i^2 を波数 k_i に対して示したものである。スペクトルは全体としては右下がりの傾向を示し波数の増大とともに急速に減少している。図1のように降雨が集中分布をなす場合にはスペクトルは全体的に大きな値となり、上に凸の分布となる一方、一様降雨では両対数軸上で直線的に減少する特性がある。図1には式(2)、式(3)、式(4)でフィッティングした曲線をそれぞれ実線、破線および点線で示している。式(2)のタイプは、一様な降雨分布のスペクトルに対しては、波数全域に対して適用性が良く、データはこの直線を中心にして分布している。しかし、図1のような集中した降雨に対しては波数の小さな部分で直線は実測値からはずれる傾向がある。また図4は式(2)の λ の値の分布をヒストグラムに示したものであるが、 λ の値は一様降雨では比較的小さく、集中的な降雨では大きな値となる。一方、式(3)のタイプは波数の小さな領域で一致度が高く、波数が大きくなるとはずれる傾向がある。図5は、式(3)のパラメータ α の分布を示したものであり、一様降雨では小さく、集中的な降雨では大きな値をとる傾向がある。式(4)のタイプではほぼ全ての降雨分布に対して波数の大きな領域から小さな領域を通して良く適合する。式(4)中のパラメータ分布は今回は図示していないが、 λ_s の値は λ 、 α_s の値は α の分布と同様な傾向がみられた。図3は位相角と級数の各項間の位相角差 $\Delta\theta_i (= \theta_i - \theta_{i-1})$ の分布を示したものである。降雨の分布パターンとの関係で比較すると、一様降雨の場合は θ はランダムに分布しているが、集中的な降雨の場合には θ_i は k_i に対し直線的に並ぶことがわかる。

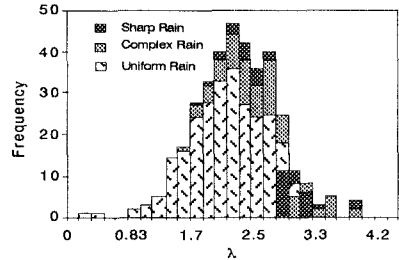


図4 λのヒストグラム

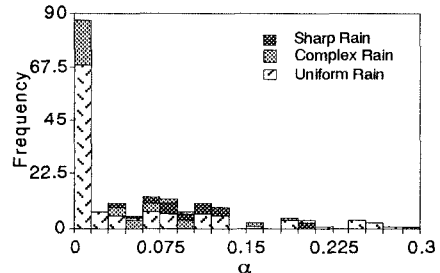


図5 αのヒストグラム

4. 結論

- 1) A_i 、 θ_i は総降雨量を空間的に配分する仕方を決める。
- 2) 一様降雨でのスペクトル分布は平均的にみると乱流におけるKolmogorovの-5/3乗則と同様な関係が認められ、集中的な降雨のスペクトル分布は、指数関数的な空間自己相関特性を内包した関係が見られる。
- 3) Kolmogorov、指数的自己相関の両方を考慮したモデルでは、波数の小さな領域のスペクトル分布は α_s 、大きな領域での分布は λ_s によって特徴づけられ、ほとんどの降雨分布に対し良く適合する。
- 4) 降雨分布が一様に近い場合には位相角差 $\Delta\theta_i$ はランダムに分布するが、集中的な降雨分布の場合には $\Delta\theta_i$ は波数に対し一定値に近い分布をする。