

# プラズマ乱流輸送と気象現象の突発性とその統計的性質

佐々木真\*、荒川弘之\*\*、杉田暁\*\*\*

\*九州大学応用力学研究所、\*\*帝京大学福岡医療技術学部、\*\*\*中部大学国際 GIS センター

## 1. 導入

台風や集中豪雨等の激しい降雨は、人々の生活に大きな影響を与える[1]。激しい降雨を含む降雨現象の統計的性質を定量的に明らかにすることは、詳細な物理過程の理解や防災指針を策定する上で重要である。激しい降雨は時折突発的であるように感じるが、大規模な突発的降雨がどの程度の確率で起こるのかを定量化することを目指す。突発性を伴う現象は、乱流を伴う系において広く観測されている[2]。特にプラズマ乱流は、突発的現象の宝庫であり、多くの統計的手法が開発されている[3]。そのような乱流の統計解析方法を降雨現象に適用し、降雨現象の統計則を明らかにすることを目指す。

## 2. 方法

高精度降水ノウキャスト[4]におけるリアルタイム実況データを用い、名古屋地区(緯度 136.5~137.9, 経度 34.4~35.8)の降雨情報を用いる。時期としては、激しい降雨が見込まれる夏の時期を選び、2016年8月21日~9月3日を対象とした。今回は、空間的分解能には着目せず、名古屋地域の降雨の統計的性質は同様であると仮定し、空間的平均を行う。時間的分解能は5分のサンプリング周期のデータを全て使用し、時間的突発性に着目した解析を行う。今回対象とした時系列データの様子を図1に示す。このような時系列データを空間平均したデータの時系列解析の結果を次の節にて示す。

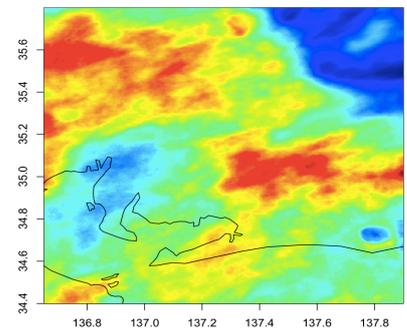


図1 名古屋地区の降雨の様子

## 3. 結果

図2に今回対象とする降雨量の時間発展の様子を示す。黒点線は、気象庁による「非常に激しい雨」の定義に相当する降雨量である。降雨は間欠的であり、弱い雨でも激しい雨でも同様にバースト的であることがわかる。全体の時間発展に加え、一部の発展の様子を拡大した図も示している。図から分かるように100分程度のバーストに加え、ずっと早い高周波の揺らぎを伴っていることがわかる。つまり、降雨量は、 $I(t) = \langle I(t) \rangle + \tilde{I}(t)$  のように表される。ここで、 $\langle I(t) \rangle$  がゆっくりしたスケール (slow 成分) の寄与、 $\tilde{I}(t)$  が高周波の揺動成分である。降雨量はこのように多重スケール揺動を伴っていることがわかった。次に slow 成分、揺動成分のそれぞれの統計的性質を議論する。

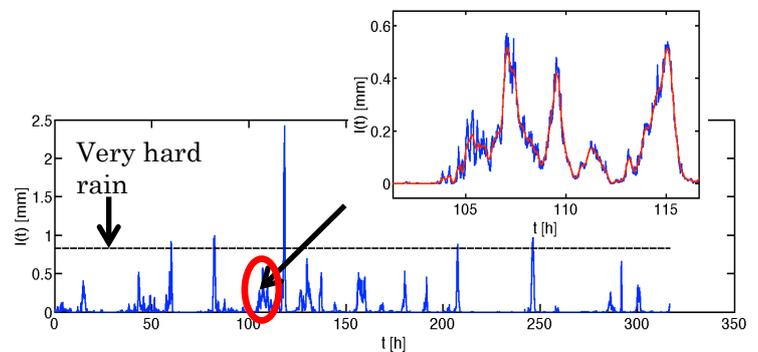


図2 降雨量の時間発展の様子。拡大した図では、slowな変化を示す成分(赤線)に加え、数10分程度で変化する揺らぎ成分を伴

図3に slow 成分の時間発展から計算した確率密度関数 (PDF) を示す。ここで黒点線は気象庁の定義による「非常に激しい雨」の値に対応している。PDFはガウス過程のような単純な確率過程には従っておらず、裾が広がった形状をしている。さらに、瞬時値にして  $\langle I \rangle = 0.35\text{mm}$  のあたりでPDFの傾きが急激に変化している(赤点線)。つまり、瞬時値  $0.35\text{mm}$  を超えるような降雨は稀であり、通常の降雨とは異なる確率分布を示すことが分かった。

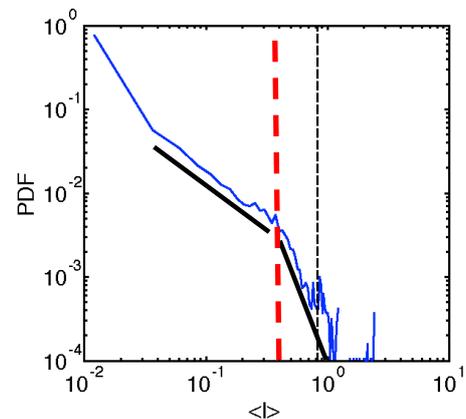


図3 slow成分の確率密度関数

次に、高周波の揺動成分  $\tilde{I}(t)$  について述べる。図4(a)に揺動成

分の周波数スペクトルの時間発展の様子を示す。周波数スペクトルは、降雨イベント毎に異なる周波数を持っている。図 4 (b) で時間変動を拡大した図を示している。どのイベントにおいても、slow 成分を除去しているにも関わらず 100 分程度の slow 成分のピークも出現しており、高周波揺動が slow 成分で変調されていることが分かった。このようにダイナミックに変動する周波数スペクトルの時間平均成分を図 4 (c) に示す。時間平均したスペクトルは、高周波側で周波数の $-5/3$ 乗のコロモゴロフ則に従っていることが分かった。コロモゴロフ則に従うことから降雨揺動は 3 次元的一様乱流の性質を有していることが示唆される。さらに、揺動成分の PDF を計算した (図 5)。揺動強度の PDF はシャープなピークを持っており、小振幅揺動が起きる確率が低く、裾が広がっている。PDF の裾は、stretched Gaussian  $P = C \exp(-\alpha \tilde{l}^\beta)$  でフィットでき、 $\beta = 1$  となり、Gaussian 型に比べ大振幅揺動が頻発していることが分かった。

#### 4. まとめ

本研究では、高解像度ナウキャストを使用し、2016 年 8 月 21 日から 9 月 3 日の降水の統計的性質を定量的に議論した。名古屋地域内で空間的平均を行い、空間平均した降水量の時間発展について解析を行った。降水は非常に間欠的であることが分かった。降水量は多重時間スケールを持ち、100 分程度の時間スケールを持つバースト (slow 成分) と、数 10 分スケールの揺動成分が共存していることが分かった。slow 成分の PDF は、折れ曲り構造を守ることが分かった。降水の瞬時値 0.35mm の値を境に、より大きな降水が起こる確率が急激に低くなる。揺動成分のスペクトル解析も行った。揺動の周波数スペクトルは slow 成分による変調を受けており、より高周波成分はコロモゴロフ則に従っていることが分かった。揺動振幅の PDF は stretched Gaussian 型であり、通常の Gauss 過程に比べ小振幅揺動が起こる確率は低く、大振幅揺動が頻発することが分かった。

#### 6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201631 の助成を受けたものです。

#### 参考文献・データ

1. 海堀正博, 他, 砂防学会, 67, 49 (2014)
2. A. Yoshizawa, S.-I. Itoh, and K. Itoh, *Plasma and Fluid Turbulence: Theory and Modelling*, (IOP Publishing, Bristol, 2002).
3. T. Ido, et. al., Phys. Rev. Lett., 116, 015002 (2016).
4. 高解像度降水ナウキャスト <http://www.jma.go.jp/jp/highresorad/>

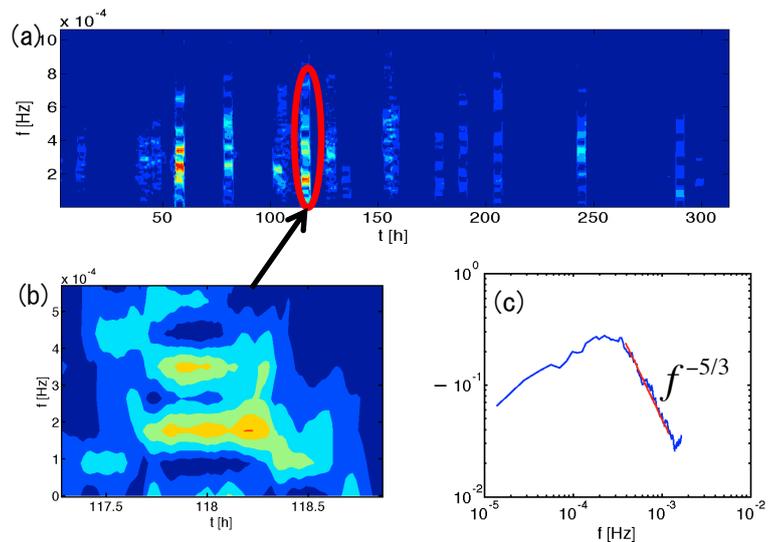


図 4 (a) 揺動成分の時間発展, (b) 1 時間程度での揺動スペクトルの時間変化, (c) 時間平均したスペクトル

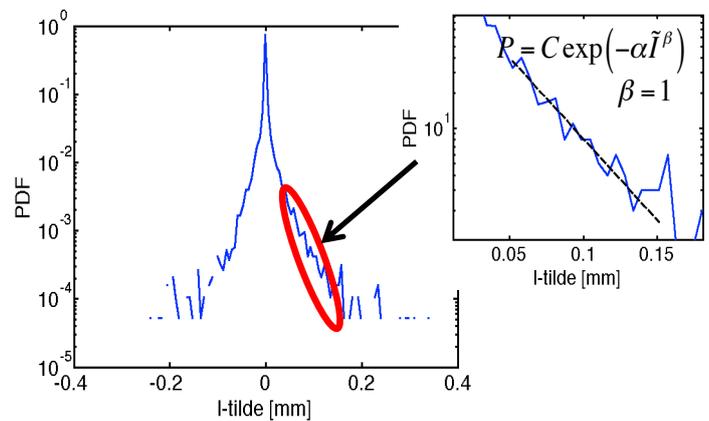


図 5 降雨量揺動の確率密度関数。  
裾部分は stretched Gaussian でフィットできる。