

## LES を用いた線状対流系豪雨に対する乱流による偶然性の影響評価 Effects of Turbulence-Induced Contingency on Line-Shaped Rain Bands using LES

○河谷能幸・山口弘誠・中北英一

○Yoshiyuki KAWATANI, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA

In recent years, heavy rainfall disasters caused by line-shaped rain bands have become frequent. However, predicting their occurrence remains challenging. It is considered that contingency factor is associated. Therefore, in this study, improvements to the Large-Eddy Simulation (LES) model were made to analyze the influence of contingency factor on line-shaped rain bands. As a result, variations in rainfall amount and shifts in the position of rainfall areas were outputted depending on how turbulence was introduced. This suggests that turbulence plays a crucial role in the occurrence of line-shaped rain bands. In the future, we will analyze in detail the mechanism through which turbulence develops. (104 words)

### 1. はじめに

近年、日本で線状対流系による豪雨災害が激甚化している。線状対流系豪雨はバックビルディング現象を伴う自己組織化により、強雨域が比較的長時間停滞し、洪水や土砂災害の被害をもたらす。

線状対流系が発生機構については詳しくは解明されておらず、発生の予測は困難なものとなっている。予測が難しい要因として、地形による強制上昇などの必然的要因に加えて、空気の流れなどの偶然的要因が混在していることが挙げられる。こうした偶然的要因を考慮することを目的として LES モデルの改良を行い、さらに線状対流系の発生に対する偶然性の寄与を検討した。

### 2. 逆カスケードによる降雨量の増加

#### 2.1 偶然性評価を目的とした LES の改良

LES は、格子幅より大きな渦(Grid Scale; GS)は直接計算し、それより小さな渦(Sub-Grid Scale; SGS)のみモデル化を行う。ここで用いられるモデルは SGS モデルと呼ばれ、代表的なものとして、Smagorinsky モデル(Smagorinsky, 1963)がある。これは場所によって渦粘性を変化させるモデルである。しかし、Smagorinsky モデルでは渦粘性係数が常に正であるため SGS から GS へのエネルギーの逆カスケードを表現できないことが指摘されている。これは小スケール成分が重要な偶然的要因を解析対象とするのに適していない。そこで、本研究ではスケール相似則モデルの導入を行った。

本研究ではスケール相似則モデルのうち最初に

提案された Bardina モデル(Bardina, 1980)の導入を行った。このモデルは SGS 成分のうち低波数部を GS 成分の高波数部で近似し、相似であると仮定することによって SGS 成分のモデル化を行う。

Bardina モデルでは、SGS 応力と GS 変形速度テンソルの主軸が一致するという制約が存在しないため、SGS から GS への逆カスケードが表現可能である。これは小さいスケールの偶然性を評価する点で重要である。ただし、Bardina モデルのみでは十分な散逸性を持たず計算が不安定となるため、単独で用いられず Smagorinsky モデルと併用することが多い。本研究においても同様の設定とした。

#### 2.2 逆カスケードと降雨量の関係

前節で改良した LES モデルを用いて実際の線状対流系事例を参考に数値実験を行った。計算領域は京阪神を設定し、改良前後のモデルの結果の比較により逆カスケードの効果について考察した。計算の結果、どちらのモデルでも計算開始後約 21,000 秒頃から線状対流系が形成され、計算終了の 32,400 秒まで継続した一方で、Bardina モデルでは Smagorinsky モデルによる計算より降雨量及び水平収束が増加することがわかった(図-1)。

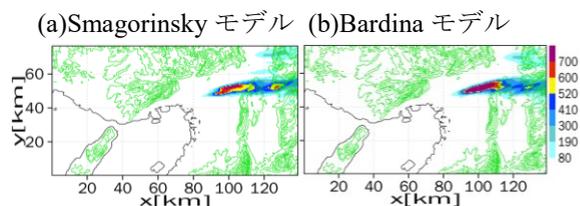


図-1 雨水混合比[g/kg]の積算(21,000-32,400s).

水平収束が増大する要因として、渦構造に着目した。その結果、線状対流系周辺における渦構造は Bardina モデルでより増大していることが明らかになった(図-2)。増加に至るまでに、(1)逆カスケードの発生、(2)渦構造の強化、(3)水平収束の強化、(4)降雨量の増加、という構造が確認された。

### 3. 線状対流系への偶然性の影響評価

線状対流系に対する偶然性が与える影響について考察を行った。Ctrl 計算に対して偶然性として乱数を風速に与え、アンサンブル計算を行った。

#### 3.1 線状対流系への直接的な影響

線状対流系の周辺における偶然的な乱流の影響を調べた。線状対流系に関連する水平収束を抽出し、その領域に正規乱数を与えた結果、線状対流系の構造に対して大きな影響は見られず、内部要因による偶然性は小さいことが示唆された。

#### 3.2 線状対流系上流側の乱流の影響

線状対流系の上流側における偶然的な乱流の影響について調べた。線状対流系が出来始めるより前の時刻である 18,000s において正規乱数を与えた。その結果、図-3 に示すように線状対流系初期における降雨量がほとんどのメンバーで減少した。

#### 3.3 成長した摂動が与える影響

乱流が成長した結果、線状対流系に対して与える結果について考察を行う。成長した摂動は、BGM 法を用いて作成した。

こうして摂動を与えて計算を行った結果、線状対流系発生初期における降雨量について増加・減少両方のメンバーが見られた(図-4)。

以上の3種類のアンサンブル計算から、線状対流系にとって、偶然性は線状対流系の周辺と比較して上流側がより重要である可能性がある。今後、線状対流系発生前の摂動の成長、そして発生後に摂動が線状対流系に与える影響を解析する必要がある。

### 4. 結論

本研究では、偶然性を捉えるための LES モデルの改良、及び乱流に関する偶然性が線状対流系に与える影響についての考察を行ってきた。

線状対流系の周辺には渦構造が存在し、逆カスケードが渦構造に働きかけることで水平収束や降水量に影響を及ぼすことがわかった。

また、乱流が線状対流系に与える影響については、直前に生じている乱流の場合は降雨量を減少

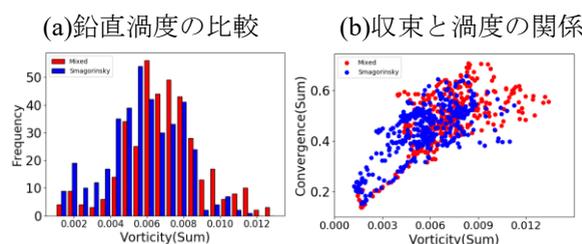


図-2 改良前後のモデル間における鉛直渦度の増加及び収束と渦度の相関関係。

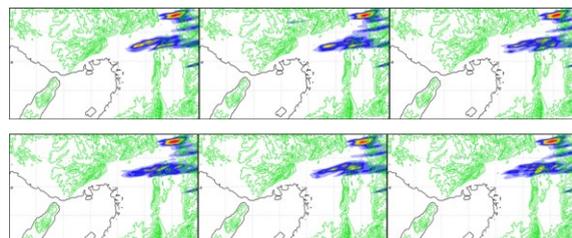


図-3 21,000s~24,000s における地上における雨水混合比[g/kg]の積算. 左上図: Ctrl 実験, その他: 各メンバー(正規乱数).

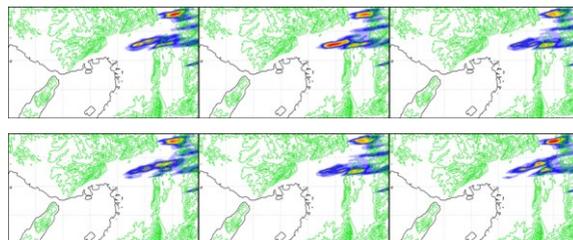


図-4 21,000s~24,000s における地上における雨水混合比[g/kg]の積算. 左上図: Ctrl 実験, その他: 各メンバー(BGM).

させ、成長した摂動の場合、降雨量は増加・減少、位置ずれなどが起こり得る。

今後は上述した降雨量の増加・減少メカニズムと摂動が発達するメカニズムについてさらなる解析を行い、線状対流系に対して偶然性が与える影響について考察を深めていく。

### 参考文献

- 1) Smagorinsky, J.(1963): General circulation experiments with the private equations: I. the basic experiment, Monthly weather review 91.3, pp. 99-164.
- 2) Bardina, J., Ferziger, J.H., Reynolds, W.C.(1980) : Improved subgrid-scale models for large-eddy simulation, AIAA paper, No.80, 1357.
- 3) Toth Z., Kalnay E. (1993): Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbations, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 74, No. 12, pp. 2317-2330.