

豪雨発生の偶然性評価を目的としたスケール相似則モデルの LES への適用
 Application of Scale Similarity Model to Large-Eddy Simulation
 for Investigation on Contingency of Convective Initiation

○河谷能幸・山口弘誠・中北英一

○Yoshiyuki KAWATANI, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA

These days, torrential rainfall disasters such as guerilla heavy rainfall and line-shaped convective systems have become increasingly severe. The mechanism of these heavy rainfall is not fully understood and is related to contingency. In order to accurately represent contingency, in this study scale similarity model scale similarity model is introduced. This is a type of turbulence model in LES. The result of the calculation using this model confirm that energy flow from Sub-grid scale to Grid scale is represented. The influence of this energy flow on the occurrence of heavy rainfall will be analyzed in the future.

1. はじめに

近年、日本では豪雨災害が激甚化している。例えば、短時間のうちに孤立積乱雲が発達するゲリラ豪雨や、バックビルディング現象により自己組織化を伴い、強雨域が比較的長時間停滞する線状対流系が挙げられる。どちらも過去に大きな被害が発生しているため、研究面のみならず社会からも大きな関心が集まっている。本研究では、特に線状対流系に焦点を当てる。

線状対流系において強雨域が維持し、停滞する機構はバックビルディング現象として定性的に解明されている。その一方で、線状対流系がいつどこで発生し、自己組織化するののかについては詳しく解明されておらず、発生の予測は困難なものとなっている。その予想が難しい原因として、地形による強制上昇などの必然的要因と空気の乱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 を改良し、線状対流系の発生に対する偶然性の寄与を検討した。

2. 偶然性評価を目的とした LES の改良

2.1 従来のモデルの問題点

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(SM)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、SM では SGS 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という大きな欠点が存在する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、本研究では逆カスケードが表現可能なスケール相似則モデル(SSM)の導入を行った。

2.2 スケール相似則モデルの概要

本研究では、SSM のうち最初に提案された Bardina モデル(Bardina, 1980)の導入を行った。SSM 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り SGS 成分のモデル化を行う。

SSM では、SGS 応力と GS 変形速度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 へのエネルギーの逆カスケードが表現可能である。これは、SGS の GS への影響という観点から豪雨発生の偶然性を評価するために必要である。

ただし、SSM は十分な散逸性をも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。本研究においても渦粘性モデルである Smagorinsky モデルを併用した。

3. 研究手法

本研究では、山口ら(2016)によって開発された Smagorinsky モデル(SM)を用いた LES に対してスケール相似則モデル(SSM)を適用した。そして 2012 年 8 月に発生した宇治豪雨を対象として数値シミュレーションを行った。

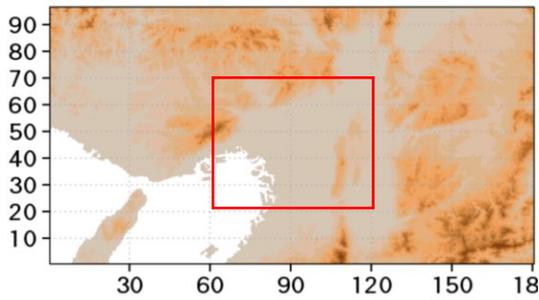


図1 計算領域.

初期・境界値として、汎用気象モデル CReSS による再現実験の出力値を用い、図1に示すような計算領域において SSM を用いた数値シミュレーションを行った。そしてその結果から、逆カスケードの与える効果について、考察する。

4. 数値シミュレーション結果

SSM を用いて数値シミュレーションを行った結果、図2 a)に示すように計算開始後 20,000 秒頃から線状対流系が形成した。赤丸を付けた雨域が形成される際、バックビルディング現象が発生しており、その上昇流が 2 m/s 以上となる高度の下限は約 0.24 km であった(図2 b))。

SM 及び SSM の間に存在する相違点として、SGS から GS へのエネルギーの逆カスケードを表現できる点が挙げられる。そこでこの逆カスケードが、雨域やその要因となる上昇流の形成に寄与するかを調べるために SSM における GS から SGS へのエネルギーの輸送率を確認した。その表式は、空間フィルタ操作を施した Navier-Stokes 方程式の両辺に u_i を乗じることで得られ、 τ_{ij} を SGS 応力、変形速度テンソルを \bar{S}_{ij} として、 $-\tau_{ij}\bar{S}_{ij}$ となる。

その結果、図3に示すように SSM では GS から SGS へのエネルギーの輸送率が負になっている領域が存在した。このことから、逆カスケードが表現されていることが確認できる。

ここで、図3 a)は線状対流系の要因となった上昇流の発生時刻、b)は線状対流系の発生後、最初にバックビルディング現象により雨域が拡大した時刻を示している。両時刻において、発生イベントを青丸で囲んでおり、いずれもその付近で逆カスケードが生じていることが確認できた。上昇流及び雨域の付近で逆カスケードが生じていることがわかる。このことは SGS 乱れにより起因する偶然的なふるまいが線状対流系の発生に寄与する可能性があることを示唆している。

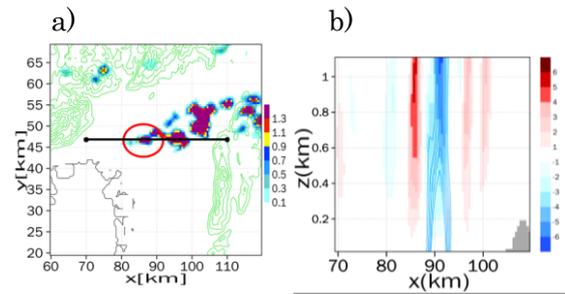


図2 a) 図1に示した領域での計算開始後 22,020 秒における雨水混合比[g/kg]. 緑色の等値線は 100m 以上の標高を示す. b) a)に示した断面での計算開始後 21,600 秒における上昇流[m/s]. 青色の等値線は雨水混合比を示

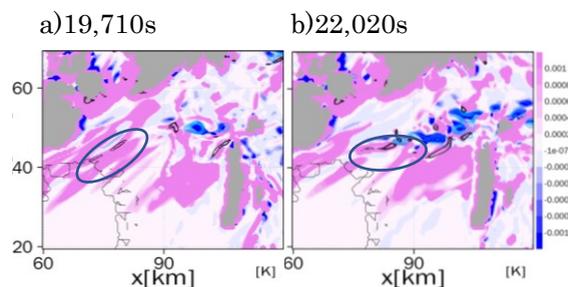


図3 図1に示す領域における GS から SGS へのエネルギーの輸送率. 青色, 黒色の等値線はそれぞれ雨水混合比[g/kg], 上昇流[m/s]を示す.

5. 結論

本研究では、LES の乱流モデルのうち、SGS から GS への逆カスケードを表現するためにスケール相似則モデルを導入し、実地形における線状対流系豪雨を対象とした数値シミュレーションを行った。そしてその発生に対する偶然性評価の最初の段階として、SSM で特有の上昇流及び雨域周辺での逆カスケードの存在を確認した。

今後、この逆カスケードが線状対流系やそれにつながる上昇流の発生に対して具体的にどのように寄与するかを明らかにするため、渦粘性モデルである Smagorinsky モデルとの比較や初期条件を変更した計算等、さらなる解析を行う予定である。

参考文献

- 1) Bardina, J., Ferziger, J.H., Reynolds, W.C.(1980) : Improved subgrid-scale models for large-eddy simulation, AIAA paper, No.80, 1357.
- 2) 山口弘誠・高見和弥・井上実・中北英一(2016): 豪雨の「種」と捉えるための都市効果を考慮する LES 気象モデルの開発, 土木学会論文集, B1(水工学), 第 72 巻, pp. I_205- I_210.