

2008 年神戸都賀川豪雨の LES 実験と渦管への介入による気象制御

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○西村 太一
 京都大学防災研究所 正会員 山口 弘誠
 京都大学防災研究所 正会員 中北 英一

1. 研究背景と目的

局所的豪雨（ゲリラ豪雨）は、時間・空間スケールが小さいため、予測困難であり、その結果近年都市に甚大な被害をもたらしている。特に 2008 年神戸都賀川豪雨では短時間で河川流量が増大し、5 名の人命が失われる悲惨な事故となった。この豪雨をきっかけに中北ら（2011）によるレーダーを用いたゲリラ豪雨に関する研究が進められてきた。そのうち、山口ら（2016）がゲリラ豪雨研究のために開発した LES モデルによってゲリラ豪雨の重要な指標である渦管の一部が地表面から立ち上がっていることがわかった。本研究では LES モデルを用いて賀川豪雨の発生・発達メカニズムを解明するとともに渦管を弱体化させるような風速場操作を行い、それが豪雨にどのような影響を与えるのかを評価することで気象制御の実現可能性を検討する。

2. 都賀川豪雨の LES 実験の設定

地形の条件として国土地理院の基盤地図情報のうち、10m メッシュの数値標高モデルを空間平均することで標高データを作成した。計算格子の間隔は水平方向に 480m、鉛直方向にはストレッチさせ、32~480m とした。格子数は東西、南北、鉛直方向に 102×52×75 とした。時間積分間隔として、音波に関する項の計算を $\Delta t = 0.06s$ とし、それ以外を $\Delta t = 0.3$ とした。境界条件は西及び北側を流入境界、東及び南側を放射境界とした。また、事前にメソ気象モデル CReSS で都賀川豪雨の再現を行い、そこで発生した降水帯から発生した冷氣外出流を北側境界に与え、西側境界は瀬戸内海上の一点の鉛直プロファイルを与えた。本研究では、主風向が西風の環境場に対して、北側から冷氣外出流が吹き込んでくる様子を再現するために、境界値の時間変化スキームを新たに導入した。実際の都

賀川豪雨時の最大降水強度に近づけるため、主要メカニズムと考えられる瀬戸内海からの西風、六甲山北側にあった降水帯からの冷氣外出流、地形による対流を一つずつ加えて計算を行った。ただし、地形による対流は温位のバブルによって表現した。さらに初期値の水蒸気混合比を CReSS の計算結果から 12%増した。

3. LES 実験の計算及び解析結果

瀬戸内海からの西風が六甲山北からの冷氣外出流と収束を起こし（図 1 (a)の茶色の丸）、それが紫色のコンターで示す上昇流のうちバブルによって発生した上昇流を強化させ（図 1 (b)茶色の丸）、図 2 に示すように最大雨水混合比 $3.0gkg^{-1}$ （降水強度で $190 mm h^{-1}$ 相当）の雨を発生させることに成功した。このような複雑なメカニズムを LES モデルによって表現できたことは LES モデルによるゲリラ豪雨研究において大きな成果であるといえる。

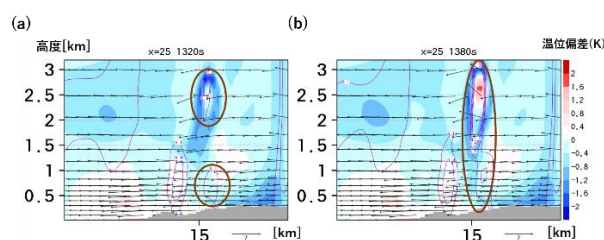


図 1 北からの冷氣外出流と西風の収束によって上昇流が強化される様子。

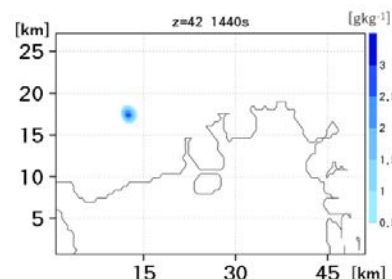


図 2 ピーク時に発生した雨水混合比 $[gkg^{-1}]$ s

キーワード ゲリラ豪雨, LES, 気象制御, 渦管
 連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄防災研究所中北研究室 0744-38-4264

4. 渦管に着目した風速場操作による気象制御

中北ら (2011) によるゲリラ豪雨の研究で、豪雨をもたらすゲリラ豪雨のタマゴは大きな渦度を持つことを示した。これを受け、本研究では都賀川豪雨の LES 計算結果を用いて、渦度を小さくなるよう風を操作し、それが豪雨に与える影響を検討した。具体的には、鉛直渦度をもたらす水平渦管が生成される領域において、東西、南北、鉛直方向の順に $2880\text{m} \times 960\text{m} \times 350\text{m}$ の範囲で 10 分間、 5m^{-1} だった風速を 2m^{-1} に抑える介入実験を行った。その結果、ピーク時の最大雨水混合比が 2.3gkg^{-1} (降雨強度で 140mmh^{-1} 相当) となり、図 2 と比較すると約 27% もの降雨強度の抑制に成功した。以下で、抑制につながったメカニズムについて解析した結果を示す。まず、図 3s で示すように水平渦度が小さくなり、さらにその水平渦度が上昇流によって立ち上がってできた鉛直渦度も小さくなった。鉛直渦度が小さくなったことで鉛直渦度付近の気圧低下が抑制され鉛直気圧傾度力が小さくなり、上昇流の抑制につながった。

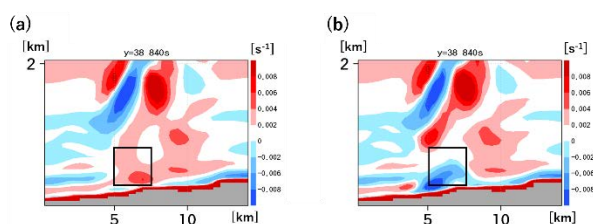


図 3s (a)風速場操作を行わなかった際の水平渦度が、(b)風速場操作を行うと小さくなっている様子

これ以外の抑制メカニズムとして、風速場操作領域内で風速を周辺よりも遅くしたことによって風速場操作領域周辺で水平収束が起こり、上昇流の形状が風速場操作なしの場合と比べて変化し、さらに風速を遅くしたことによってバブルによる正の温位領域の移流が小さくなり、上昇流に取り込まれづらくなった。つまり、温位場と気流場が互いを発達させるいい位置にあったもののバランスを風速場操作によって不均衡にしたことが抑制につながったといえる。さらに、水蒸気の移流も風速場操作によって小さくなっており、さらに風速場操作領域周辺での水平収束によって、風速場操作を行わなかった場合と比べて上昇流が下層の豊富

な上昇流を取り込む前に上空に上がっていたため、水蒸気の取り込みが減少した。図 4s に以上 3 つの抑制メカニズムの概念図を示す。

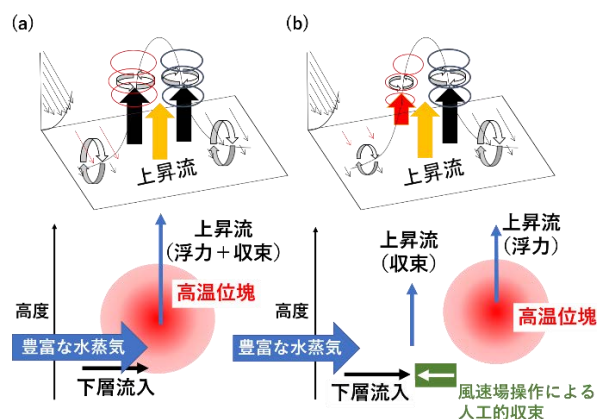


図 4s (a)風速場操作なしの場合と(b)風速場操作ありの場合の概念図

5. 結論と今後の課題

LES モデルを用いて、都賀川豪雨の主要メカニズムである瀬戸内海からの西風と六甲山北側の既成降水帯からの冷氣外出流による収束が、先行して発生した降水セルを強化させることを表現することに成功した。またこの事例を用いた渦管介入による気象制御では、水平渦度を弱めたことでそれが上昇流によって立ち上がり生成した鉛直渦度も弱まり、それによって鉛直気圧傾度力が小さくなり、上昇流が弱まった。さらに、水平渦度の立ち上げに関与した上昇流に対しては、風速場操作領域付近で収束が発生したことで温位場と気流場のバランスが崩れたこと、また移流が小さくなったことで水蒸気の取り込みが少なくなったことで雨の抑制につながった。今後の課題として、都賀川豪雨の CReSS による計算精度をより高めること、また風速場操作をアンサンブル的に行い、制御効果の分岐点となるような箇所を探し、ゲリラ豪雨のメカニズム解明にもつなげていきたい。

参考文献

- 山口弘誠・高見和弥・井上実・中北英一(2016): 豪雨の「種」を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
 中北英一・山邊洋之・山口弘誠 (2011): X バンド MP レーダーを用いたゲリラ豪雨の早期探知と追跡, 京都大学防災研究所年報, 第 54 号 B, pp381-395