

都市気象 LES モデル開発による豪雨の「種」を捉えるための基礎研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○高見和弥
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. 背景と目的

近年局地的豪雨（ゲリラ豪雨）はその時間・空間スケールの小ささによる予測の困難さから都市に重大な被害をもたらしている。ゲリラ豪雨をもたらす孤立的に発達する積乱雲は、台風や前線による集中豪雨のものと異なり、気象モデルによる予測が難しい。中北ら（2012）はこの積乱雲の発達過程のうち、気象レーダによって発見できる最早単位を豪雨のタマゴと呼び、平成 21 年度より国土交通省が導入した XRAIN（X バンド MP レーダネットワーク）によってその早期探知を試みてきた。この局地的豪雨に対する予測の新たなステップとして豪雨のタマゴの起源、すなわちタマゴの発生要因や発達過程について注目が集まっている。このタマゴの起源については観測の上でもモデル化の上でもまだまだ未解明な部分が多く、将来の予測の高度化のためにはそのメカニズムの解明に関する基礎研究が重要である。昨今そのゲリラ豪雨の発生の起源となる一つとして都市の影響が盛んに議論されている。上層に寒気、下層に湿潤な暖気がある場合、下層の空気が軽く上層の空気は重いという不安定な状況となる。このような状態の時、何らかのきっかけで上昇気流が生起すると強い浮力が働いて上昇気流の加速が引き起こされる。このきっかけとして都市のヒートアイランド現象の寄与するところが大きいと言われている。本研究では湿潤な暖気の上昇をもたらす都市で発生する熱ブルームや、さらにスケールの小さいわずかな上昇流を豪雨の「種」と呼びその現象を解明するためのモデルの基礎を開発することを目的とする。

2. モデル概要

現在、降水予測を目的として広く用いられているメソ気象モデルでは、乱流モデルとして、ある定常流を仮定した RANS（Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation）モデルを用いて、都市の表現方法として、地表面熱収支モデルや植生モデルのパラメータを都市用に設定する手法を用いて、それぞれの物理過程をパラメタリゼーションによって表現している。この方法でも都市の降水に対する影響を一定の再現はできるが、本研究の狙いである水蒸気を豊富に含んだ空気の上昇について、都市の建物がもたらす乱流による運動量や熱輸送の表現を陽に解くために、上記の物理過程を陽的に表現することが豪雨の「種」の解明につながる都考える。一方、都市の微気象再現を目的として、建物を解像する都市キャノピーモデルが現在盛んに開発されている。こちらでは乱流モデルに LES（Large-Eddy Simulation）を用い、非定常な現象の再現が可能となっている。しかし、これらの多くは境界層内部を対象としているためブシネスク近似を用いている。このため、「種」からタマゴへの成長過程、すなわち降水につながるものの研究はほとんどされていない。本研究では降水の起源となる現象の再現を目的とするため都市内部から境界層上部までを一気通貫に扱える準圧縮の LES モデルの基礎部分を開発する。

座標系は直角直交座標系、格子はスタッガード格子を採用した。準圧縮系では音波の影響を考慮する必要があるため、空間微分は HE-VE, HE-VI, HI-VI と、音波関連項を陽的・陰的に解く方法を選択できるようにした。また、移流項を 1 次精度風上差分、それ以外を 2 次精度中央差分とした。時間積分は HE-VE, HE-VI では音波関連項とそれ以外を分ける時間分割法を用いる。温度の計算は AB2 法、それ以外はオイラー陽解法を用いた。サブグリッドスケールの運動量フラックスは Smagorinsky-Lilly モデル（Smagorinsky, 1963 ; Lilly, 1966）に従いモデル化した。側面境界条件は周期境界、流入境界、放射境界、勾配 0 境界、滑り条件のいずれか、また上部境界は滑り条件、固定壁、勾配 0 条件を選択できるようにした。流出境界、上部境界には波の反射を防ぐためスポンジ層を設けた。地表面、固定壁は壁法則として 2 層モデルを用いた。圧力の計算は、HI-VI には Bi-CGSTAB 法、HE-VI には TDMA を用いた。

都市気象 LES ゲリラ豪雨 ヒートアイランド

京都府宇治市五ヶ庄京都大学防災研究所中北研究室 0774-38-4264

3. 都市を想定した熱輸送と運動量輸送の数値実験

(1) 都市の地表面の顕熱による熱プルームの網目構造の再現

計算領域は水平方向に1km×1km，鉛直方向は2kmとする．格子間隔は20m×20m×20m，時間間隔は0.01sとする．境界条件は水平方向を周期境界とし，上空境界を滑り境界とする．また，重力波の反射を防ぐため上層20層にスポンジ層を設置する．初期条件としては温位勾配0.004K/m，また速度の微小擾乱を与える．熱の計算に関しては本来放射，顕熱などをあわせて熱収支を考えるべきだが，今回は簡易的に地表面最近傍グリッドに0.2K/mの顕熱フラックスを与える．音波の扱いはHE-VE法を用いる．計算結果として2400s後のz=100mにおける鉛直流分布を図1に示す．鉛直流分布の網目状構造が見られ，その結節点上昇流が強くなっている様子が確認できる．これは既往研究でも指摘されているプルームの特徴に合致する．

(2) 建物周りの流れの再現

建物周りの流れは非定常性を持つ複雑乱流となっている．建物の後流域では風が弱まり，時間変動が他の場所に比べて大きいことが既往研究で指摘されている．このため建物が引き起こす風の乱れは熱や水蒸気の輸送効率を大きく変化させ，熱プルームの発生にも深く関わってくるのが予想される．今回作成したモデルにおいて，このような建物周りの風の乱れが再現できるか検証を行う．計算領域は東西に200m，南北に50m，鉛直方向に50mとり，西側の流入境界から46mの地点に一辺46mの立方体を配置する．格子間隔は1m×1m×1m，時間間隔は0.01sとし，東側の流出境界を勾配0条件，上空境界は滑り条件とする．また上端から10層と流出境界から5層にスポンジ層を設置する．初期条件として温位を一定とし，東西方向に一樣流速1m/sを与える．音波の扱いはHI-VI法を用いる．1000s後の計算結果を図2，図3に示す．図2はz=5mでの水平断面図，図3はy=25mでの鉛直断面図である．図2に見られるように建物の後流域で弱風域が形成され変動成分のゆらぎが確認できる．また，図3ではビルの上部での剥離において上空まで乱れが及んでいることが確認できた．

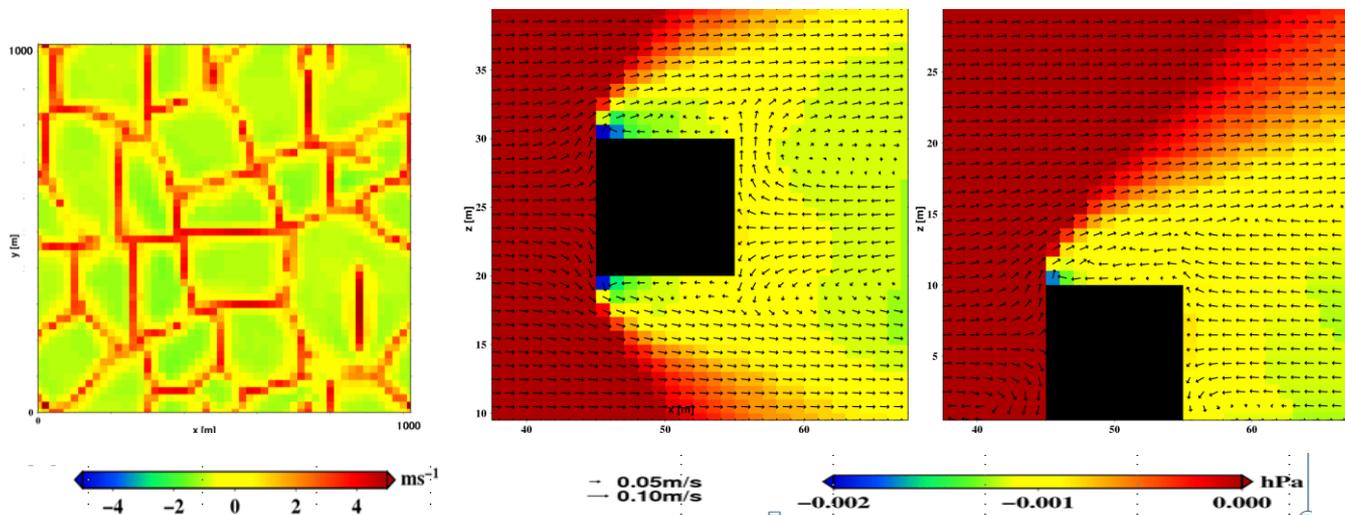


図1 鉛直流分布

図2 水平断面図

図3 鉛直断面図

以上の2つの結果から作成したモデルにおいて建物周辺の流れや熱を扱う計算において十分な再現が得られることが確認できた．これに加え，本研究の目的である豪雨の「種」の解明のため，都市の熱的表現を詳細に扱い，雲物理モデルを含有する水蒸気の式を導入することを今後の課題とする．

4. 参考文献

中北英一，西脇隆太，山邊洋之，山口弘誠：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究，土木学会論文集，B1（水工学），Vol.68巻，pp.427-432，2012．

Lilly,D.K.：On the application of the eddy viscosity concept in the inertial subrange of turbulence，Manuscript No.123，National Center for Atmospheric Research，boulder，CO，1966

Smagorinsky,J.：General circulation experiments with the primitive equations，The basic experiment．Mon.Wea.Rev.，91，1963