WRF-LES による大気境界層鉛直構造と地表面近傍での乱流生成機構への洞察

*服部 康男(電中研),平口 博丸(電中研),須藤 仁(電中研) 中尾 圭佑(電中研),石原 修二(DCC),杉本聡一郎(電中研)

1. 緒 言

中立条件下での接地層を含む地表面近傍における大気境 界層の乱流生成機構の検討は、数値気象モデルの表現力向 上や高 Re 数条件への壁乱流構造への普遍性への言及など を視野に進められている(Marusic et al. 2010). 主流方向に 伸張した等運動量流体塊による大規模流体運動(Very Large-Scale Motion, VLSM)の乱流生成への寄与を暴いてい る(Hutchins, Marusic 2007). 一方で, VLSM の発生起源に ついては、大気接地層上空の擾乱(detached eddies)の地表 面近傍への侵入による top-down 運動(e.g. Högström et al. 2002)と地表面近傍に発達した縦渦の重畳構造の発達による bottom-up 運動 (e.g. Kunkel, Marusic 2006)といった鉛直構造 に相反する解釈を抱えている. 本研究は, VLSM の発生起源 の解明に資するべく,高解像度を付与した数値気象モデル WRF による LES (WRF-LES) を用いた実気象場の再現を通じ て,中立条件下での大気境界層内鉛直構造と地表面近傍で の大規模流体運動・乱流生成機構との関連を論ずる.

2. セットアップ

強風(中立安定条件)が長時間維持された気象場として、 日本海を発達した低気圧が東進した事例(2012年4月3日 UTC)を対象とした.再現解析には、WRFをコアとする電中研 気象予測・解析システムNuWFAS(橋本・平口 2010)を用いた. 地表面近傍の乱流構造を再現しうるセットアップ(服部ら 2015)を与えた. 解析領域には, 東北地方全域をカバーする 領域 d01 から太平洋側の仙台平野にフォーカスした領域 d05 までの5重のネストを施した(図1). 領域d05の中心近傍に仙 台管区気象台が位置するように調整した.水平方向格子解 像度が大気接地層の厚さに相当する(150 m - 16.7 m)マイク ロスケールシミュレーション(d03 - d05)とそれ以上の大きさと なるメソスケールシミュレーション(d01, d02)からなる. 乱流表 現には、メソシミュレーションでは、PBL スキームを用いた.マ イクロシミュレーションでは、LES(TKE)を用いた.メソシミュレ ーションとマイクロシミュレーションとの間のデータの受け渡し を 10 min.毎に実施した.マイクロスケールシミュレーションで は、2012年4月3日 19:00-2012年4月3日 20:00(UTC) の解析を行った.

3. 結果および考察

図2に, 瞬時風速の鉛直成分変動値w', 水平成分変動値 u', シェア∂u/∂z および Reynolds 応力-u'w'について, 仙台管 区気象台上空での鉛直分布の時間変化を示す. 縦軸は地表 面からの鉛直距離 z である. 地表面近傍での挙動に注視でき るよう,対数スケールで z < 500 m の結果を示した. 横軸は経 過時間である.0.05 hr(180 s)にわたる.時間平均風速 (20ms⁻¹ – 70ms⁻¹)を付与した Taylor 凍結乱流に基づく空間ス ケールとして約3 km - 10 km に呼応する. 大規模流体運動 に注視していることから,変動値はグリッドスケール(Grid scale, GS)のみで算出した. 地表面近傍の風速変動には, 30%程度 のサブグリッドスケール(SGS)成分を含んでいる. 地表面近 傍において, 鉛直成分変動値 w'と水平成分変動値 u'のいず れも±10 ms⁻¹程度である. 時間とともに, 高速流体塊(u'> 0) の地表面近傍への侵入(w'<0)から低速流体塊(u'<0)の上 層への放出(w'> 0)への変遷を観察できる,前者は、地表面 近傍のシェアを強化するが、必ずしも Reynolds 応力の生成に は寄与しない.後者は、地表面近傍のシェアを緩和するもの の Reynolds 応力の生成に寄与する. これらは, top-down 運動

と bottom-up 運動との協調を支持する. 同時に, 局所変数に 基づく乱流表現の限界を示唆する. それぞれの運動は, 0.01 hr 程度の継続時間を有する. この継続時間は, 300 m - 1000 m 程度の主流方向スケールに相当し, 既往の観測と整合する. このような運動の鉛直方向スケールは, 大気境界層厚さ(10² m)程度に及ぶ. 有益な知見を与えるご議論をいただいた Dr. Chin-Hoh Moeng(NCAR), 数値気象解析の実行・結果の分 析にご助力いただいた, 野村光春博士(電中研), 橋本篤博 士(電中研), に深謝いたします.

参考文献

Högström U et al., Boundary-Layer Meteorol 103 (2002) 101-124. Hutchins N, Marusic I, J Fluid Mech 579 (2007) 375-402. Kunkel GJ, Marusic I, J Fluid Mech 548 (2006) 375-402. Marusic I, Mathis R, Hutchins N, Science 329 (2010) 193-196. 橋本,平口,電力中央研究所報告 N09024 (2010). 服部ら, ながれ 34-2 (2015).



Fig. 1 Computational domain for meso-, (a) and micro-scale, (b) simulations.



Fig. 2 Time-series of vertical profile of instantaneous values vertical, (a) and horizontal component, (b) of fluctuating wind-speed, wind shear, (c) and Reynolds shear stress, (d).