

# CReSS を用いた境界層過程の再現実験

玉川一郎（岐阜大学流域圏科学研究センター）、CAPS 観測グループ<sup>1</sup>

## はじめに

自由参加的研究組織フラックス野郎の会と琵琶湖プロジェクト、防災研共同研究など多数の協力で2002年11月と2003年10月に、滋賀県伊香郡高月町井口の水田地帯で乱流計測器を面的に配置した画期的な観測が行われた。これにより、今まで無かった100mあるいは10mオーダの水平解像度をもつ乱流データが得られた。

この観測の問題意識の一つに水平一様な地表面状態で、どれほど不均一な顕熱・潜熱フラックスが生じるか、というものがある。神田ら(2002)の数値計算では、大規模な境界層内の対流構造が、非常にゆっくりとしか移動しないために、同じ地表面条件であっても、計測される乱流フラックスは、場所場所で大きく異なることが示された。このようなことを実際の観測から見てみようということである。

一方、数値気象モデルはどんどん解像度を上げており、実際の地上観測の対象である数10mのスケールに近付いて来ており、今後、領域平均値のみでなく小スケールの現象そのものの再現性も問題となっていくことが予想される。例えば、上記、対流構造は雲の出現にも重要であろうし、各点での観測値の再現性も求められるであろう。

そこで、CAPSの観測データと、雲解像非静力学数値気象モデル CReSS による再現実験および観測値との直接の比較検討を開始した。ここでは、試行的な結果について報告する。

## CReSS

CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) は、名古屋大学地球水循環研究センターの坪木和久氏と財団法人高度情報科学技術研究機構の神原篤志氏により開発された数値モデルであり、非静力学完全圧縮系の力学方程式に雲の微物理過程を組み込んだもので、乱流クロージャはLESになっている。陸地は、熱伝導方程式を多層モデルで解き、地表面は粗度( $z_0$ )、アルベド( $\alpha$ )、蒸発散効率( $\beta$ )の3つのパラメータで表されている。

ここでは、CReSS Ver.2.0 を用い、雲物理過程無し、乱流クロージャ 1.5 次 TKE、10cm 4 層の陸面で計算した。水平一様、周期境界条件の計算を行った。格子は、水平方向に 40m 格子を 50 層 (2km)、鉛直方向には最下層 10m で 80 層取って 1600m までの領域を覆った。

地表面は、 $z_0 = 0.017\text{m}$  (石田の計算による)、 $\alpha = 0.2$ 、 $\beta = 0.2$  と、ほぼ実測に合わせた。計算対象は 2002 年

11月17日とし、初期条件には同日9JSTのゾンデデータから主観的に乱れを取り除いたものを使用した。(図1)

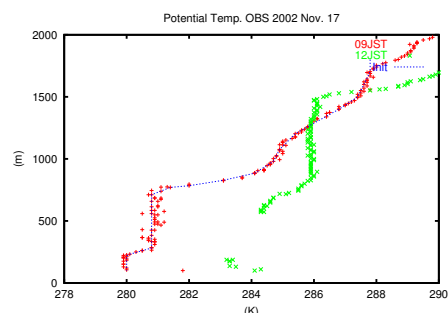


図1. 09,12JSTにおける温位の観測値と、計算に用いた初期値

## 結果

図2に、CReSSで計算された温位のプロファイルを示す。初期状態では、200~300m付近と800m付近に強い安定成層が見られ2段のinversion capとなっている。計算では2時間後には下の安定層が無くなり対流は800m付近にまで届いて境界層全体を加熱している。観測値(図1)では、800m付近の安定層は12JSTでも残っているが、その上でも1200m付近を境に上200mくらいを加熱、下を冷却している。また、境界層全体の加熱量も4K程度と計算の2倍程大きい。

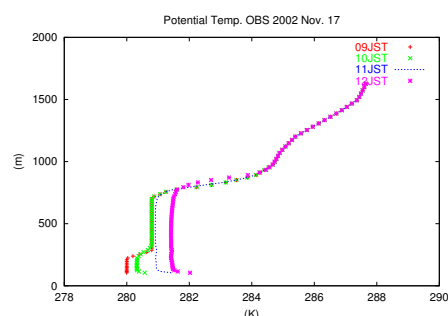


図2. CReSSによる温位の計算値(水平平均値)

初期値に見られる最下層の冷気層は周辺の山と関係があると思われ、また、風向の変化により暖気が移流して来ている可能性も考えられ、水平一様周期境界の計算条件の枠外でさまざまな現象が起こっていることを考えると、本計算はある程度の再現に成功していると言えるのではないだろうか。

<sup>1</sup>メンバーは他の報告を参照

この計算は格子程度以下のスケールを LES で計算し、それ以上の現象を解像して計算するので、境界層内の対流構造は直接計算される。地表面からシート状に上方へ延びる高温上昇流域とその間の下降流域、あるいは境界層上端より上でのオーバーシュートと見られる低温かつ上昇する気塊などが計算されている。

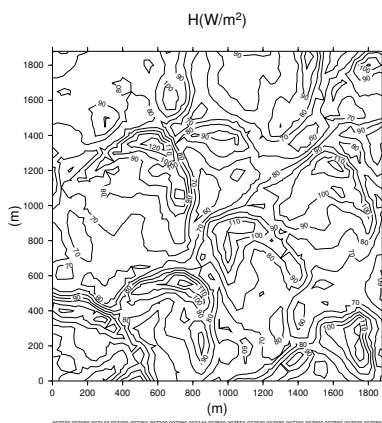


図 3. CReSS による 7000 秒から 3000 秒間の地表面での顕熱フラックスの平均値

境界層内の対流構造は、地上の風速等を場所毎に変化させ、地表面での熱収支に影響を与える。図 3 は、計算開始後 7000~10000 秒で時間平均した地表での顕熱フラックスである。3000 秒にわたる平均を施しても、瞬間値と大差ない大きさの不均一性が見られ、各点での顕熱フラックスは  $60\text{W/m}^2$  から  $120\text{W/m}^2$  と 2 倍程度違っている。確かに、神田ら (2002) と同様の状況が計算されていることが分かる。

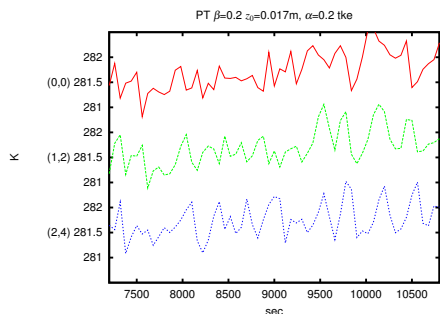


図 4. CReSS による点 (0,0), (1,2), (2,4) での、温位の時系列 (60 秒ごと)

しかし、対流構造は完全に静止しているのではなく移動している。図 4 は、計算上の風 ( $247^\circ$ ,  $0.35\text{m/s}$ ) に沿った 3 点での温位の時系列 (60 秒サンプリング) であるが、各点で見てこのようにプリュームの通過が見られる。地点間の距離約 90m を風速で割ると 250 秒となるが、図ではもう少し速く (例えば 8000 秒付近のピークなど) 伝播しているように見えるが、変形が激しい。

それに対して、実測による図 4 では、南西の風  $1.3\text{m/s}$  と計算よりも大きな風速を持ち、計測機間隔約 200m を考慮すると、ほぼ 150 秒遅れで現象が伝わる。S1 の 80 秒付近、C1 の 200 秒付近、S2 の 380 秒付近などに見られるようにプリュームが風速程度の速度で通過している様子が見えるが、これも変形が激しい。なお、気温振幅自身は計算と同程度である。

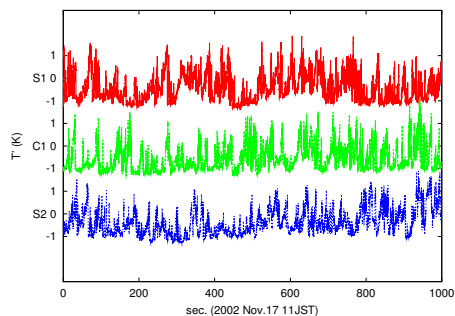


図 5. CAPS2002 観測での風向に沿った観測点の気温時系列このように、違いがあるとは言え、定性的には良く似た状況が再現されている。現時点では、基本的な風速場、あるいは境界層構造の再現が完全ではないので、あまり詳しく調べることができない。

#### まとめ

今回の CReSS による水平一様周期境界条件での再現実験では、神田 (2002) に見られたような境界層内の対流構造に起因する顕熱などの地表面フラックスの不均一性が見られた。その大きさは 2 倍程度に及ぶ。また、プリュームの移動も見られるが、移動速度は地表風よりもかなり速くなっている。一方、観測では、顕熱の不均一性はこの程度ではあるが、一部は水田の水分状態に起因すると考えられ、モデル実験の方が差が大きくなっている。また、プリュームの移動は地表風速度である。これらの違いを詳しく検討することによりモデルの問題点の検討、および計算結果を利用した 3 次元解析が行える可能性がある。

しかし、図 1、2 に見られる境界層構造の違いや、地表の風速の再現性など、まだまだ詰めなければならない問題が多い。地表面パラメータをいくつか変えて実験したが、上記の問題は変化せず、今回の計算 (水平一様周期境界) の枠外の問題があるようである。朝の冷気湖の形成や湖陸風の侵入なども考慮できるように、計算領域を拡大するか他のモデルから境界条件を与えての実験が必要であろうと考えられる。

#### 参考文献

神田 学・渡辺 力・マルコス オリバー レッツェル・ジークフリート ラッシュ (2002): LES による熱収支インバランス問題に対する検討 (第 1 報) 大気境界層スケールの対流構造の影響, 水文・水資源学会誌, 15-3, pp.243-252.