

CAPS2003 の熱電対観測網によるプリューム移動追跡の試み

石田祐宣・荒澤良平 (弘大・理工学部地球環境学科), 他 CAPS2003 観測参加者[†]

1 はじめに

晴天で大気が不安定なとき、地表から大気への熱輸送は組織的な対流によることが様々な観測や数値モデルによって指摘されている。特に上下に長い対流構造を維持し続けるものはプリュームと呼ばれている。強不安定時には、たとえ水平一様な地表面であっても地表からの熱輸送に局所性が強くなる。よって、このプリュームの構造や動態を把握することはとても重要である。

過去の研究において、大気境界層中におけるプリュームの輸送の様子を観測するために、時間応答の良い温度計を鉛直または水平方向に並列に設置し、気温変動の測定が行われてきた。これまでの観測結果から、プリュームの移動速度はその高度における風速よりも速く移動することがわかってきている。しかし、移動速度と風速の関係は、Davidson (1974) は風速の約 2 倍、Wilczak & Tillman (1980) は地上 4m の風速の 1~1.3 倍、CAPS2002 の玉川氏の報告では地上約 2.5m の風速と同程度というようにその特徴は観測例によってまちまちであった。そこで、本研究では CAPS2003 観測期間中に地表面に近い地上 1.25m の高度における気温変化を密に測定することによって、水平方向のプリュームの移動速度を求め、その時間における観測高度の風速や地上 5m の風速、安定度との関係を調べた。

2 熱電対の配置と使用データ

CAPS2003 観測期間中、特に乱流計測機が集中して設置された水田において、畦道に平行に格子状になるように水田の中に熱電対センサーを設置した。配列は南北方向 10.0m ごとに 6 点ずつ、東西方向 12.5m ごとに 4 点ずつの合計 24 地点である (図 1)。観測サイトの水田の並びは南北方向から西に約 16° ずれているので、以後観測地点の東西・南北方向はそれぞれ反時計回りに 16° ずつずらした方向を呼ぶことにする。本研究では、東方向に x 座標、南方向に y 座標をとり、北西端の観測点を(1,1)、北東端を(4,1)、南西端を(1,6)、南東端を(4,6)と呼ぶ。

本研究では乱流構造を温度計測によって把握するため、時間応答性の良いセンサーが必要となる。そこで温度測定は時間応答性の良い銅-コンスタンタン熱電対細線を用いた。今回の観測では、データロガーから観測地点まで被覆された 0.65mm の太線を敷設し、各格子点において地上 1.25m の高さに固定して、先端部において太線に

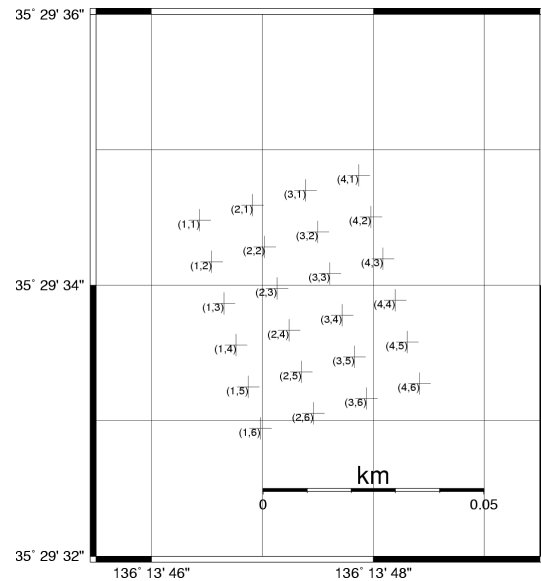


図 1: 熱電対の配置。

40 μ m の細線を結線した。気温データは 0.1°C 単位で 2003 年 10 月 3 日 17 時から同年 10 月 10 日 17 時にかけて 10Hz 間隔で連続測定された。また地上乱流計測の C サイトは格子点 (2,3) と同一の地点で、解析には設置された超音波風速温度計で測定された地上 1.25m、5.00m における風向・風速データも併せて使用した。

3 解析方法

はじめに、解析対象の基準点を(2,4)と定め、その他の格子点を通るような風向 (八方位) を考え、その方位角を求めた。そしてそれぞれの方位角において前後 5° の範囲内となる平均風向時の気温データを選別した。その中から欠損不良データを除いた合計 30 時間分のデータを解析に使用した。

乱流組織は変形しながら移動するため、移動速度を求めるには気温変動の生データを風上から風下へ並べ、観測点間の距離を目立った変動部分(谷にいわれるランプ構造など)の時間差で除する方法が望ましい。過去の研究ではコヒーレンスによる解析も行われている。本解析では比較的簡単な方法として、測定点ごとの気温変動のラグ相関をとり、測定点間の距離を相関が最も高いタイムラグで割り、移動速度を求める。

気温変動は幅広い周波数帯を持つので、閾値にラグ相関を取っても相関係数が低くなる可能性がある。変動の卓越周波数は大気の安定度と密接に関係しており、大気が不安定であるほど卓越周波数は小さく(変動周期が短く)なることが知られている。そこで、ラグ相関を取る前

[†]参加者は他の報告を参照

に気温変動のスペクトル解析を行い、スペクトルのピークが3～5分周期(約0.005Hz)を閾値として高周波側か低周波側かによって、相関を取るデータブロックを10分間か60分間かに分けた。

3 結果

10分間データブロックを用いたラグ相関結果の一例を図2に示す。この時間帯では南西から風が吹いていたので、対象となるデータは風上側から順に(1,5)、(2,4)、(3,3)、(4,2)の4地点の気温データが使用されている。ラグ相関がピークとなるときの相関はすべての観測点において0.99以上の非常に高い相関となっている。このデータでは、ラグ相関のピークが平均5.67sごとに現れている。地点間の距離は16mであったのでプルームの移動速度は2.34m/sと推定される。

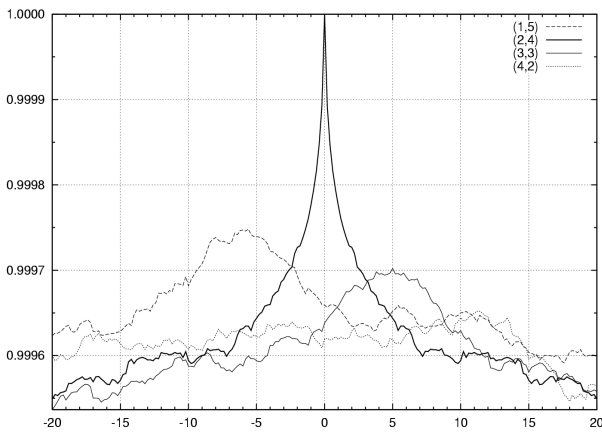


図2：地点間ラグ相関の一例（2003年10月7日14:20～14:30を基準として）。横軸：ラグ(sec.)，縦軸：ラグ相関係数。

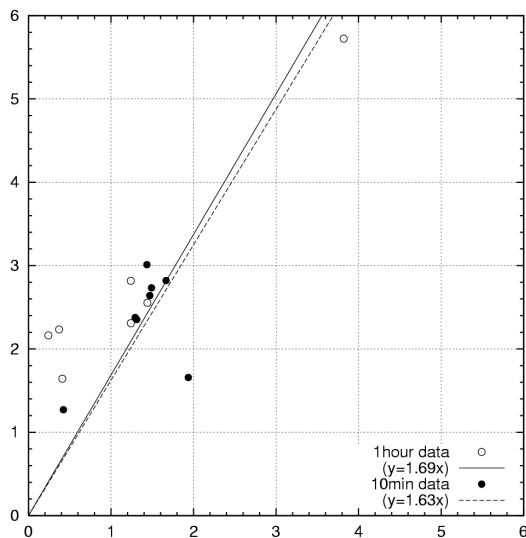


図3：地上1.25mにおけるプルームの移動速度と風速の関係。横軸：風速(m/s)，縦軸：移動速度(m/s)

このように明瞭にピークが確認できた不安定時のデータは10分間データブロックが8セット、60分間では7セットのみが残った。このように求めたプルームの移動速度と同高度の風速とを比較した(図3)。1つのデータを除く全てで同高度の平均風速を上回っており、データブロックの時間の違いはほとんど見られず移動速度の対風速比は約1.7であった。ただし、0.5m/s以下の弱風時には風速とは独立になる傾向が見られた。同様に地上5mの風速と比較したところ、移動速度対風速比は約1.1倍であったので、ほぼ地上5mの風速と同程度の速度でプルームは移動しているといえる(図省略)。

Wilczak & Tillman (1980)では、移動速度対風速比と安定度との関連性を調べているが、安定度によってこの比が変わることはなかった。この傾向は今回のデータでも確認され調和的な結果である(図省略)。

4 まとめと今後

本研究ではプルームの移動速度を調べるため、地上で格子状に熱電対を展開し、得られた気温データのラグ相関を求めた。その結果、

- 地上1.25mのプルームの移動速度は同高度の風速の約1.7倍、地上5mの風速と同程度
- Wilczak & Tillman (1980)と同様に安定度とは無関係

ということがわかった。

今回の解析では、単純なラグ相関によってプルームの追跡を行ったが、生データによる確認は一部でしか行っておらず全てのデータで確認する必要がある。また、CAPS2003では地上2.5mに多数の超音波風速温度計が15～40m間隔で11点、地上5mには90～110m間隔で3点設置されている。そのみならず、ドップラーソーダ・ライダーの観測も行われているので総合的にこれらのデータを解析して立体構造を把握することが今後の課題である。

参考文献

Davidson, D. S. (1974): The translation velocity of convective plumes, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **101**, pp.131–141.

Wilczak, J. M. and J. E. Tillman (1980): The three-dimensional structure of convection in the atmospheric surface layer, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **37**, pp.2424–2443.