

# 竜巻を伴う回転積乱雲(スーパーセル)のエントレインメントを調べる理想化数値実験

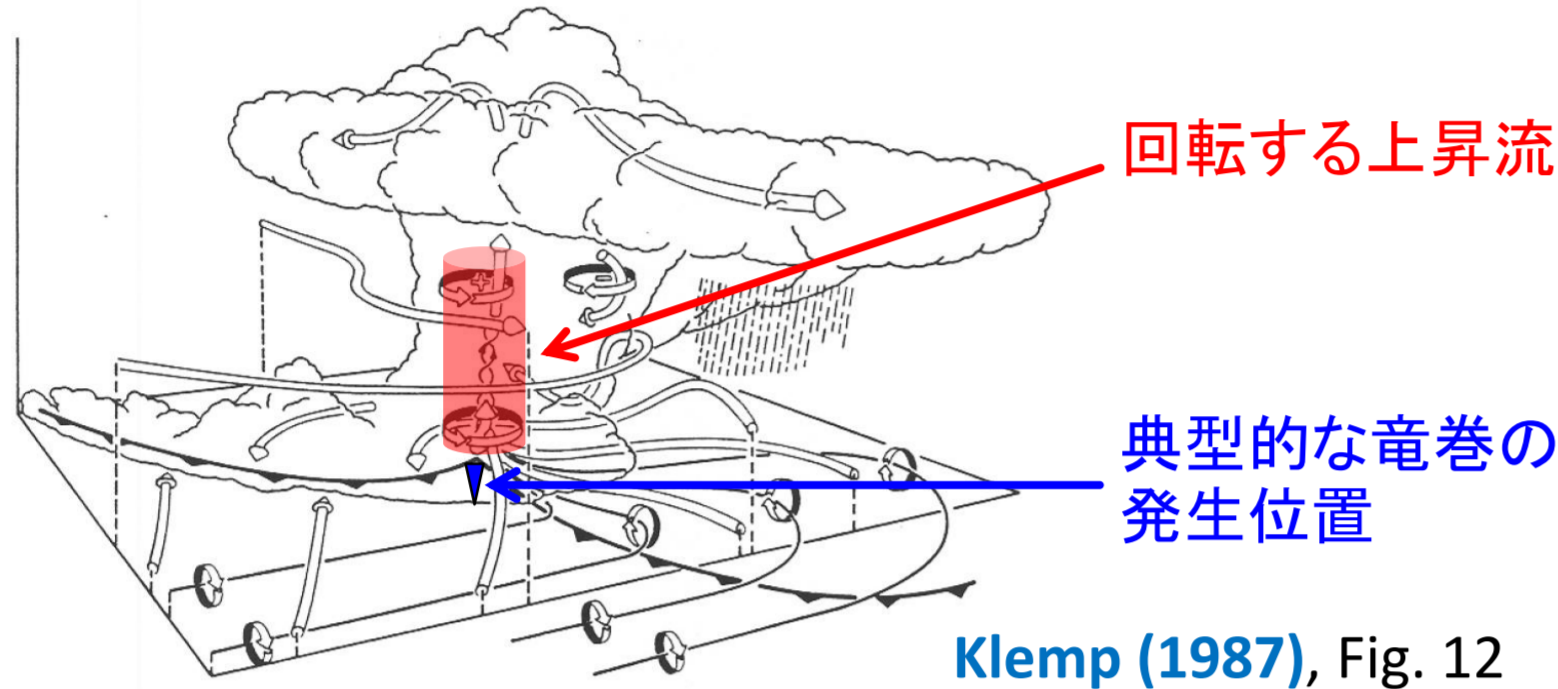


## 1. はじめに

### ➤ スーパーセルとは

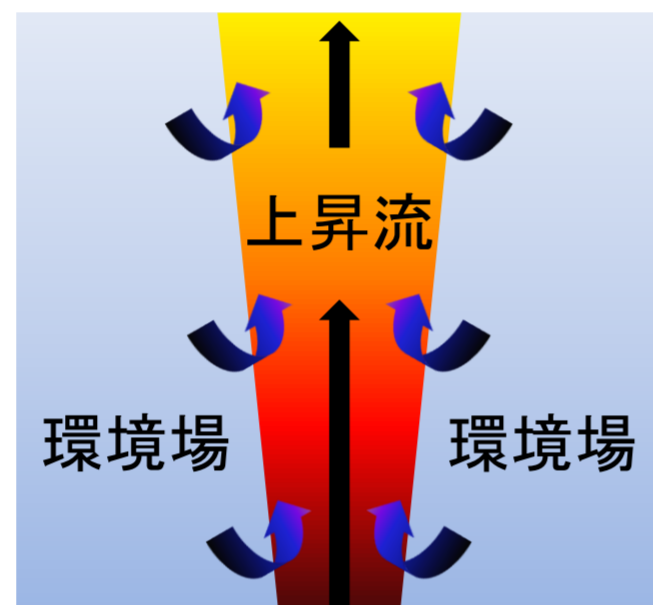
- 鉛直軸回りの回転を有する特殊な積乱雲
- しばしば強い竜巻を発生させる

スーパーセルの立体構造の模式図



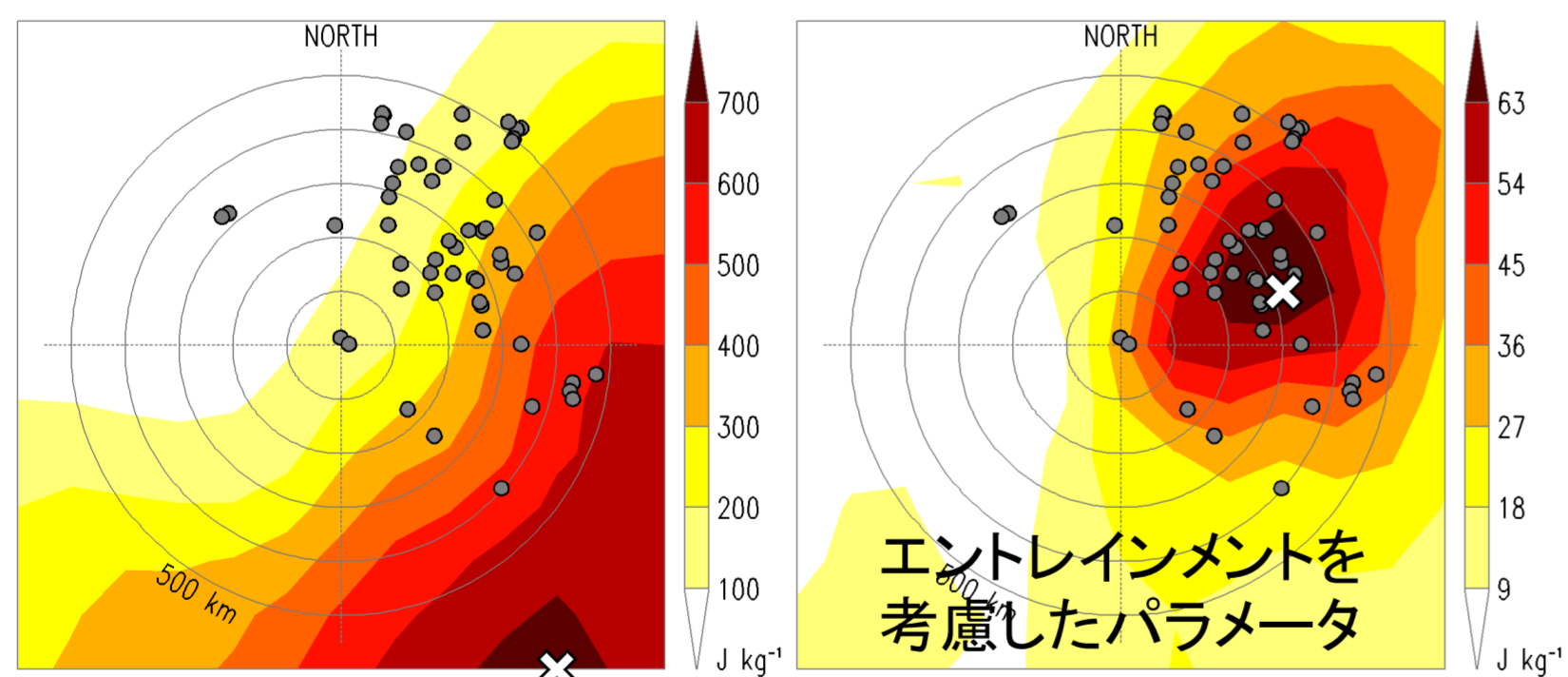
### ➤ エントレインメントとは

- 積乱雲の上昇流が周囲(環境場)の空気を取り込む効果
- 実態は、雲側面での乱流によって生じる雲内部と環境場の空気の混合



### ➤ なぜスーパーセルのエントレインメントを調べるのか

- Sueki and Niino (2016) は、スーパーセルのエントレインメントを陽に考慮した大気のパラメータが、竜巻の発生リスクを精度良く評価しうることを示した
- スーパーセルのエントレインメント率の定量化は、竜巻の予報精度向上に寄与する可能性がある



大気の状態が不安定かどうかを示すパラメータ「CAPE」を、竜巻を発生させた台風の周辺で描いたもの(34個の台風の平均値)。●は竜巻の発生位置。左はエントレインメントを考慮しない場合(エントレインメント率0%/km)、右はエントレインメント率を20%/kmとした場合。

### ➤ なぜスパコンの利用が必要か

- 観測による見積もりが極めて困難
- スーパーセルとその環境場をカバーする計算領域と、雲側面での乱流混合を陽に表現する解像度を両立する必要がある

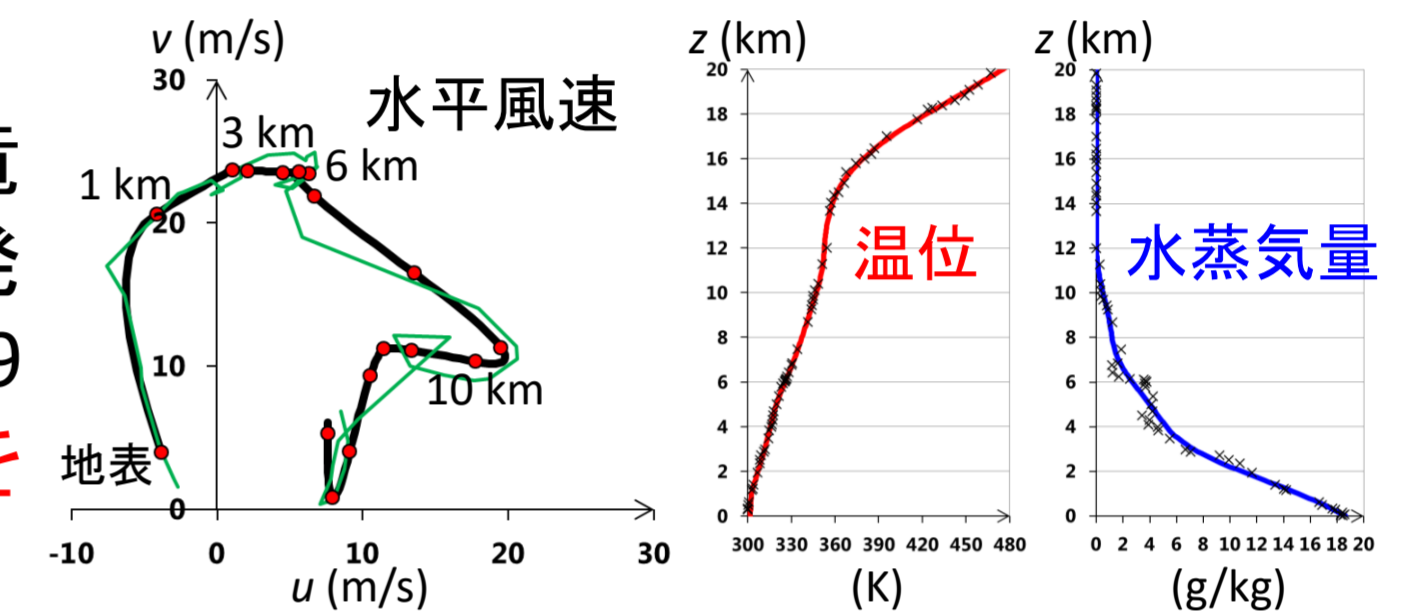
## 2. 実験方法と成果の概要

### ➤ モデル設定

- フリーで公開されている気象モデル CM1 ver. 18.3 を利用した (Bryan and Fritch, 2002; <http://www2.mmm.ucar.edu/people/bryan/cm1/>)
- 流体部分: 完全圧縮非静力方程式系
- 水の扱い: Morrison et al. (2005, 2009) の方法により、雲水・雨・雲氷・雪・雹の混合比・数濃度を予報する
- Subgridの乱流: Deardorff (1980) の方法により、乱流運動エネルギーを予報する
- 格子間隔:  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 100 \text{ m}$       時間間隔:  $\Delta t = 0.9 \text{ s}$  (音波は  $0.15 \text{ s}$ )
- 計算領域: 水平  $96 \text{ km} \times 96 \text{ km}$ ; 鉛直  $25 \text{ km}$  ( $z \geq 20 \text{ km}$  は緩和層)
- 境界条件: 側面は解放境界、上下は自由すべり

### ➤ 実験方法

- 関東地方で多数の竜巻・スーパーセルが発生した事例(1990年9月19日夜)の環境場を水平一様に与える
- 地表面付近にスーパーセルの種となる warm bubble を置き、対流を励起する



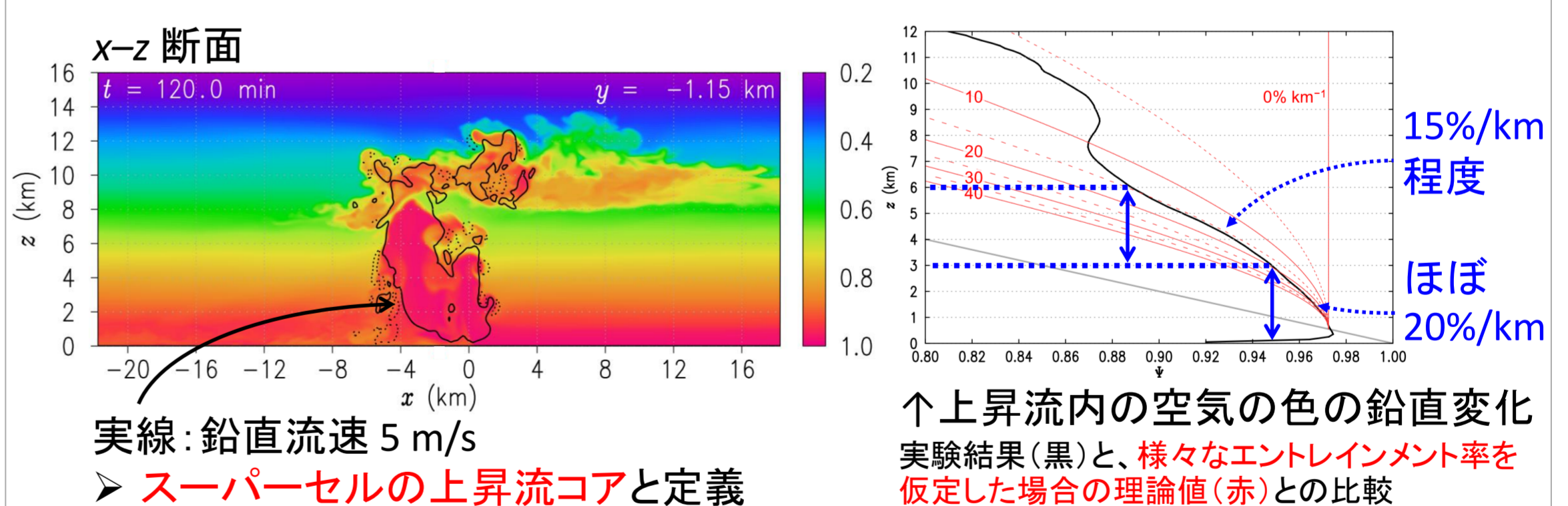
### ➤ シミュレーション結果

- 発生したスーパーセルの x-z 断面
- 最大鉛直流速の時間変化
- 50 m/s 程度の強い上昇流を維持
- 雲底下に竜巻状渦が発生
- 鉛直渦度  $0.3 \text{ s}^{-1}$  以上

竜巻状渦を伴う準定常的なスーパーセルの再現に成功

### ➤ エントレインメント率の見積もり

- 空気に「色付け」をし、色付けされた空気の分布に基づき推定



対流圏中層 ( $z \approx 6 \text{ km}$ ) までのスーパーセルのエントレインメント率が 15-20%/km 程度であることが分かった

## 3. 今後

- 異なる環境場で発生するスーパーセルに対しても同様の実験を行い、エントレインメント率を各々調べていく(実施中)
- エントレインメント率の環境場依存性を定量化し、竜巻の発生ポテンシャルを表す精度の良いパラメータの構築を目指す