

水平シアに生じる竜巻状流れの漏斗雲による可視化

徳島大学大学院 学生会員 ○ 八谷 実 徳島大学 正会員 野田 稔
 徳島大学 非会員 高井 俊伍 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

竜巻は発現範囲が局所的であり急激に発達し数分～十数分という短い時間で消滅する自然現象であるため、実測することは困難とされている。したがって現在、日本では藤田スケール¹⁾という指標を使い被害状況から竜巻の強度を推定することで間接的な竜巻の評価を行っている。しかし、これはあくまで被害による程度の大きさを示したものであり、被害がなければ竜巻が評価できないという問題点もある。そこで、最近では一般住民も竜巻を撮影して記録が残ることが増えたため、写真等から竜巻の強さや規模といった特性が評価できないかと考えた。²⁾

2. 解析手法

写真等に写っている竜巻の形状は、漏斗雲や飛散物によって流れが可視化されたものである。本研究では漏斗雲に注目し、数値流体解析により生成した竜巻状流れ場を漏斗雲で可視化し、竜巻の特性と漏斗雲の形状の関係性を把握することで、写真等に写った漏斗雲から竜巻の特性を推定する新しい竜巻評価方法の考察を行った。ここでは、水平シアに発生する旋回流と収束流が組み合わさることで竜巻が発生するという考えを基に竜巻状流れを生成する。実際に竜巻の発生する空間として、図1に示す単純な直方体解析領域を作成した。境界条件として上昇流口を上面中央部に、流入流出口を x 軸に直交する2側面のみを設定した。流入流出風速を与えることで水平シアを、流入量と流出量に差を持たせることで収束流を発生させ、上昇流口から流出させることで竜巻状流れを再現した。図2に生成した竜巻状流れについて、水平面内の接線風速分布に Burgers 渦³⁾の接線風速分布を近似することで得られたコア半径 ε 、循環 Γ 、最大接線風速 U_{tmax} の時刻歴変化を示し、各パラメータが比較的小さく、値の変動も小さい $t=30000 \sim 31000$ (s) の時間帯に安定した竜巻状流れができていると判断した。この時間帯の内、30770(s)の瞬間の竜巻状流れの数値データに雲の発生条件⁴⁾を与えて漏斗雲で可視化した。ここでは、可視化した漏斗雲に対して地上温度、湿度、最大接線風速、竜巻状流れ場のスケールといったパラメータを変え、漏斗雲の形状の比較をすることで、竜巻状流れの特性と漏斗雲の形状の関係性を把握し、漏斗雲の形状から竜巻の強度や規模の評価を行う。

3. 解析結果・考察

図3(a)は、地上温度 T_0 を5 ～ 25 まで5 ごとに変え、漏斗雲を可視化したものである。地上温度が高いほど雲底高度が高くなる、漏斗雲の幅が小さくなっていることが分かる。これは、地上温度が高くなることで飽和水蒸気量に達する空気中の水蒸気量が少なくなるためであると考えられる。図3(b)は湿度 RH を30 % ～ 70 % まで10 % ごとに変え、漏斗雲を可視化したものである。湿度が低くなるにつれて高い高度で漏斗雲ができることが分かる。これは、湿度が低い場合、気温が低くなる高い高度でないと空気中の水蒸気量が飽和水蒸気量を超えて雲が発生しないためであると考えられる。図3(c)は、最大接線風速 U_{tmax} を20(m/s) ～ 130(m/s) で変え、漏斗雲を可視化したものである。最大接線風速が大きくなるにつれて漏斗雲が地表面に降りてきていることが分かる。このことから強い竜巻ほど漏斗雲の先が地表面に伸びている傾向にあるといえる。図4は、竜巻状流れ場のスケールを元の0.50倍、0.75倍、1.00倍と変化させ、水平方向のスケールのみを高さごとのコア半径で無次元化した漏斗雲の断面形状である。地表面付近では漏斗雲の中心からの距離 r (m) を高さごとのコア半径で無次元化したものがほぼ重なっていることが分かる。このことから、漏斗雲の地表面付近での中心からの距離 r (m) はスケールに比例することが分かる。

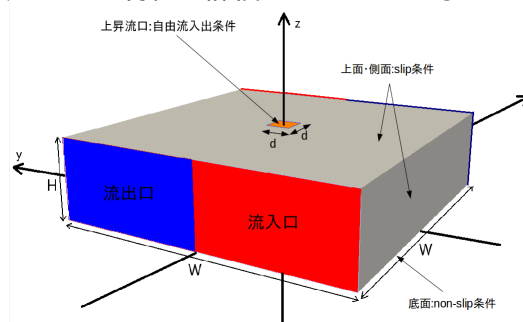


図1 解析領域

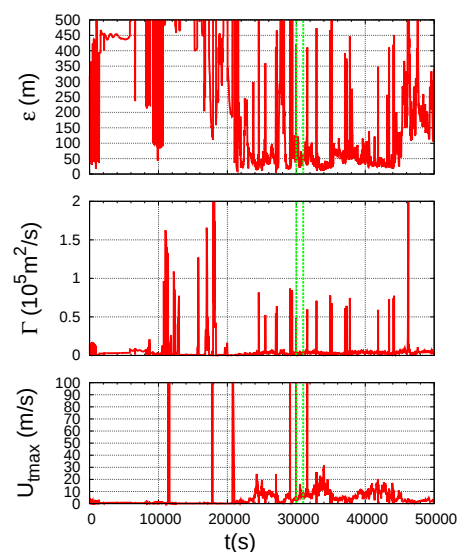
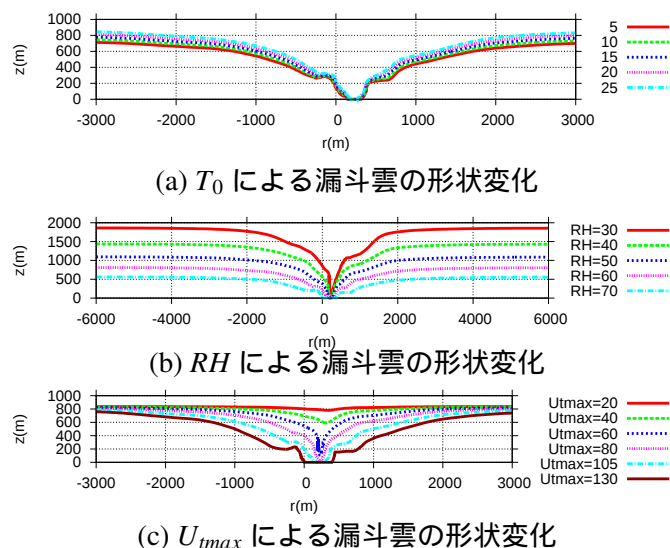


図2 ε , Γ , U_{tmax} の時刻歴変化

次に、竜巻状流れ場のパラメータの変化と漏斗雲の形状変化の関係性が分かったので、竜巻の強さや規模といった特性を推定する方法について検討する。漏斗雲が地表面に達していない場合、漏斗雲の先端から雲底までの長さ H_f と、 $H_f/2$ の高さにおける漏斗雲の幅 W_{fm} 、湿度 RH によって竜巻の風速とコア半径を推定することが可能である。図 5(a) から湿度、スケールが違ってほぼ一致した直線関係がみられ、漏斗雲長さ H_f が分かれば風速 U_{tmax} が分かると考えられる。そして図 5(b) での漏斗雲の幅 W_{fm} とコア半径 ε の比と、風速 U_{tmax} の分布から U_{tmax} と RH が分かれば、規模の大きさを表す特性であるコア半径が推定できる。



(a) T_0 による漏斗雲の形状変化
 (b) RH による漏斗雲の形状変化
 (c) U_{tmax} による漏斗雲の形状変化
 図 3 各パラメータの変化に伴う形状変化

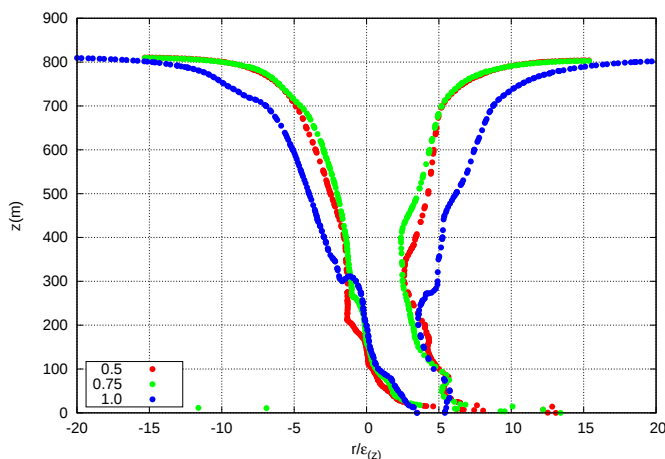
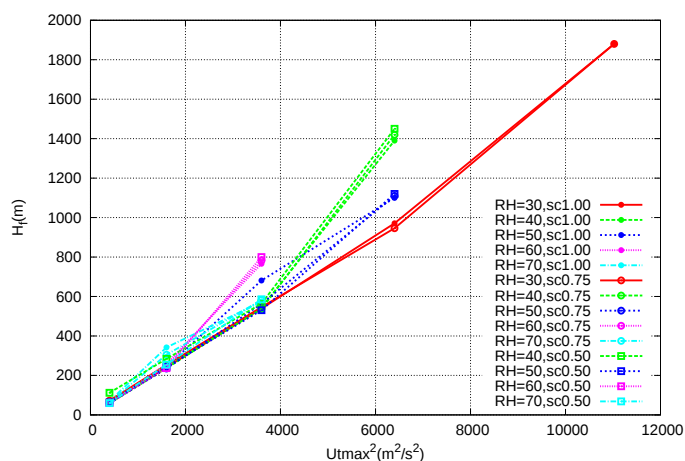
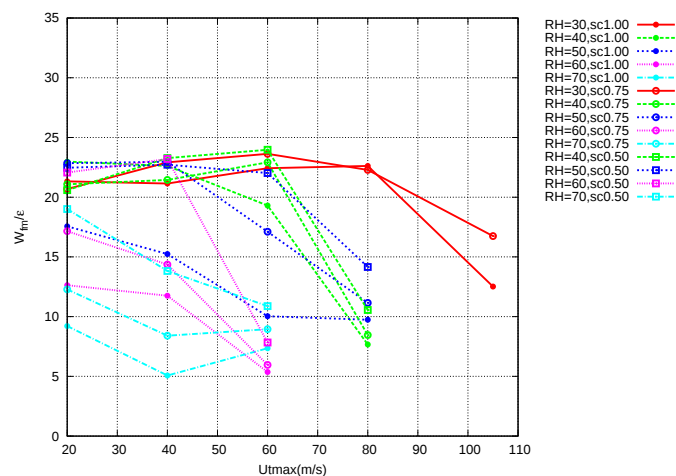


図 4 スケールによる漏斗雲の形状変化



(a) $U_{tmax}^2 - H_f$ 関係の比較



(b) $U_{tmax} - W_{fm}$ 関係の比較

図 5 漏斗雲の長さおよび幅と竜巻の特性パラメータとの関係 (スケール比較)

4. おわりに

以上の結果から、それぞれのパラメータが漏斗雲に及ぼす影響を明らかにできた。また漏斗雲が地表面に達していない場合は、漏斗雲の中間幅と長さから竜巻の特性を推定することが可能であることを示した。

5. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H04034 の助成を受けたものです。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) T.Theodore Fujita, "Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity", Satellite & Mesometeorology Research Project Paper No.91, (1971)
- 2) 野田 稔, 岡本 力也, 山中大輔, 細谷 顕史, 長尾 文明, "漏斗雲と飛散物による竜巻の可視化に関する研究", 第 23 回風工学シンポジウム論文集, (2014), pp385-390
- 3) 野田 稔, 八谷 実, 西村 公成, 長尾 文明, "水平シアによって生じた竜巻状流れ場の構造と漏斗雲の生成", 日本流体力学会年会講演論文集, (2015)
- 4) Burgers, J. M., "A mathematical model illustrating the theory of turbulence", Advances in Applied Mechanics., (1948), pp171-199