

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：16401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656127

研究課題名(和文)乱流組織運動に着目した突風災害の局在構造の解明

研究課題名(英文)Clarification of localized structure in gust hazard from the viewpoint of turbulent organized motion

研究代表者

佐々 浩司 (Sassa, Koji)

高知大学・自然科学系・教授

研究者番号：50263968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：回流水槽中にリン酸二水素カリウム水溶液を落下させて移動マイクロバーストを模擬し、DPIV計測したところ、マイクロバーストに伴う速度変動がよく再現された。このときの乱流変動はピーク風速の10%程度しかなく、被害をもたらすような局所的強風は境界層乱流によっては発生しないことを明らかにした。このことは、マルチファン型風洞を用いたガストフロントの再現実験においても確認された。一方、下降噴流周辺の渦があまり形成されることなく、下降流が集中する場合に局所的な高風速が現れることを明らかにした。これを実スケールに換算すると平均して16m/s程度のマイクロバーストが局所的に30m/sの突風を生むことがわかった。

研究成果の概要(英文)：Traveling microbursts were reproduced by dropping dense solution in a water tank. The velocity fields of them were measured through a DPIV method. Mean velocity trace of the simulated microbursts was similar to that of actual them. Turbulence intensity was only 10% of the peak velocity. The horizontal velocity fields of gust front realized in the multifan wind tunnel were almost uniform. These facts show that localized wind hazards do not occur due to the turbulent fluctuation in atmospheric boundary layer. We found that the localized wind gust appeared when the downdraft was not disturbed by surrounding vortices and concentrated. The simulated localized wind gust was found to correspond to be 30 m/s in the actual microburst whose mean velocity is 16 m/s.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：ダウンバースト ガストフロント 突風災害 乱流特性 室内実験 野外観測 マイクロバースト

1. 研究開始当初の背景

ダウンバーストやガストフロントという発散性突風の水平規模は数 km 以上あるものの、数 m~数 10m 程度の局所的被害をもたらすことが多い。このような小規模かつ激しい風速変動の原因として、大気境界層中の組織構造、積乱雲からの下降気流に伴う噴流型の組織構造、積乱雲中の乱流変動に伴う下降気流の局所的集中などが考えられるが、これまで気象学的な観点からも、乱流変動を扱う流体工学的観点からも、このような原因について調べようとした研究はなかった。代表者は乱流中の組織構造を抽出する研究を実績を有しており、本研究により局所的強風の構造が明らかになれば、気象学と流体工学や風工学とを結びつけるマイクロスケール気象学の発展が期待できる。

2. 研究の目的

ダウンバースト (マイクロバースト) による突風被害が局在化する原因について、主として水槽を用いた再現実験により調べるとともに、フィールド観測の突風データやマルチファン型風洞によるガストフロント再現実験の結果を用いて明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は以下の 2 つの実験を行うとともに、鉄道沿線に設置された超音波風速計 12 基によって行われたフィールド観測のデータとの比較を行った。

(1) 水槽実験

図 1 に示すような回流水槽を用い、移動マイクロバーストの再現実験を行った。水槽は床面から 5cm の高さの中敷をおき、ポンプで水を循環させた。水平一様流の速度は 12.6mm/s である。水槽中に直径 33mm、深さ 25mm の円筒形タンクを設置し、中に水との密度比が $\Delta\rho/\rho=0.02$ の KH_2PO_4 水溶液とトレーサーとして用いた直径 4 μm のナイロンビーズを封入し、上下のゴム膜を破膜することによりマイクロバーストを再現した。タンク直下の流れ方向鉛直断面と床面からの高さ 2mm の水平断面を 2 種のレーザーシート光と 2 台の高速度カメラにより 125fps で同期記録した。記録された映像を DPIV 解析し、マイクロバースト周辺の流れ場を詳細に計測した。

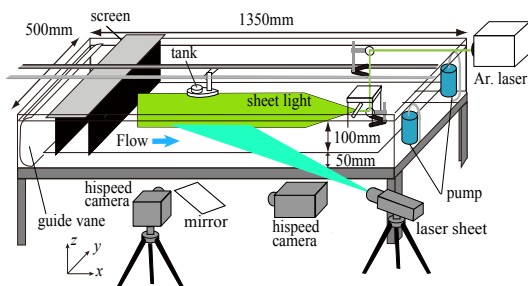


図 1 回流水槽実験概略

(2) マルチファン型風洞実験

図 2 に示す宮崎大学保有のマルチファン型風洞を用いた。本装置は横 9 列縦 11 列合計 99 基のファンから構成される風洞で、測定部の断面は高さ 1.8m、幅 2.5m である。本実験ではこのうち最下層のファン 1 列のみを、設定最大風速 19.5m/s の三角波運転命令 (時間幅 2.5sec.) により 30 秒間隔で運転し、ガストフロントの再現を行った。このときの水平速度分布を床面からの高さ 2cm に張ったスモークワイヤにより可視化し、高速度カメラで記録した。

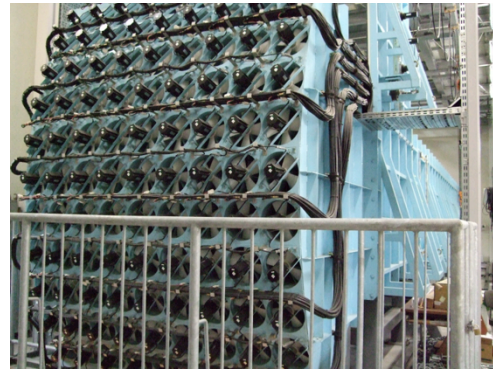


図 2 マルチファン型風洞

4. 研究成果

(1) 水槽実験によるマイクロバーストの再現と流速変動

鉛直断面のみについて 94 回試行を行い、流速ピークに位相を合わせてアンサンブル平均した流速変動波形は、図 3 に示すように急激に加速して徐々に減衰するマイクロバーストやガストフロントの観測波形をよく再現することができた。ただし、個々の変動は大きく異なっており、図 4 に示すように時間的に大きく流速変動が変化する事例も認められた。

一方、典型的なダウンバーストの波形から位相平均波形を差し引いて変動成分のみを抽出すると、図 5 に示すように時間スケールが短く変動強度もピークの 10% 程度にしかならなかった。このことより、通常の境界層乱流がダウンバーストの局所的強風の原因にはなり得ず、図 4 に示すような大振幅の変動が起きなければ局所的強風は生じないこ

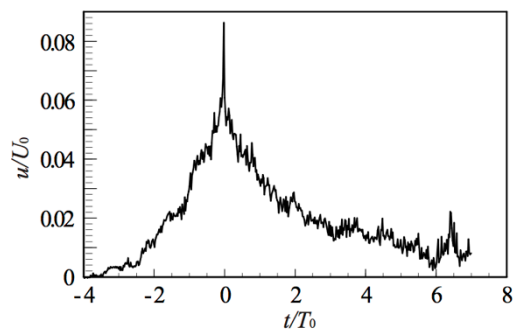


図 3 流速変動の位相平均波形

とを明らかにした。

(2) 風洞実験で再現したガストフロントの水平風速変動

マルチファン型風洞により再現したガストフロントの水平風速分布はほぼ一様であり、局所的な高流速域が発生することはなかった。このことから、ガストフロントにおいても局所的な高流速域は境界層乱流によっては発生しないことを確かめた。

(3) 強風を発生させる下降噴流の形態

先述の試行の中には、再現したマイクロバーストが床面に衝突した際に高流速を発生させた場合(図7)と、発生させない場合(図8)が認められた。図7に示すように高速流を発生させる場合は下降噴流が集中して落下しているが、高速流が出現しない場合は、

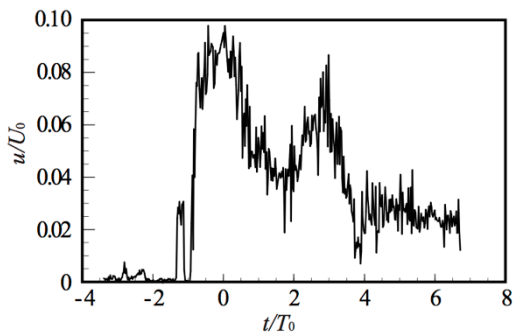


図4 大振幅変動を含む流速変動波形

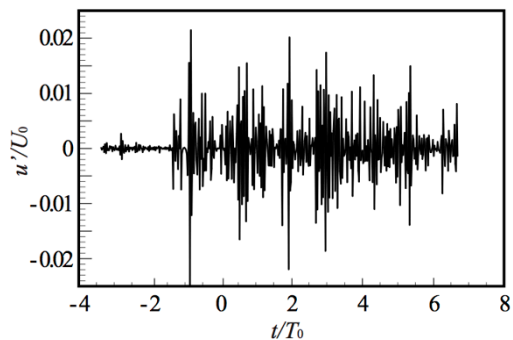


図5 乱流変動成分のみの波形

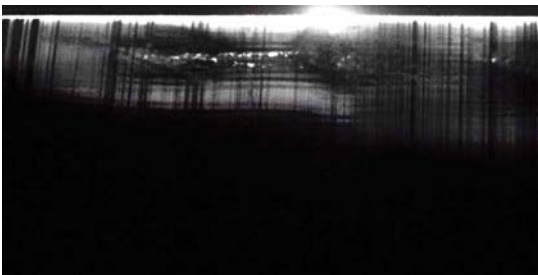


図6 マルチファン型風洞により再現したガストフロントの水平風速分布

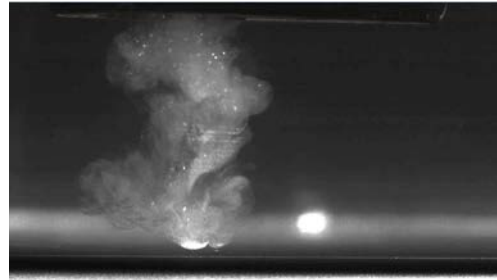


図7 水平流速で高流速を発生させた事例の下降噴流の様子

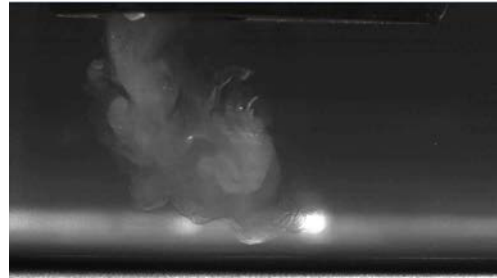


図8 水平流速で高流速を発生させた事例の下降噴流の様子

図8に示すように下降噴流の周囲に小規模な渦が多数発生して中心付近の下降流が拡散してしまっている様子が見られた。このように下降噴流の形態が水平流の高速域の発生に大きく影響を与えていることを明らかにした。

特に高流速が顕著だった時の下降噴流の様子を図9に示す。周辺はエンタレインメントの渦に崩されているものの、中心付近の高流速域は減速することなく、床に衝突している様子が伺える。さらに、床面に衝突する際には下降噴流の高速域がより狭い範囲に収束している様子がみられた。これらの様子から、局所的な強風域が発生するためには下降噴流の構造が大きく寄与していることが明らかになった。

(4) 局所的な高流速域の再現

図10にマイクロバーストの水平断面の様子を示す。床面衝突時から0.32sec. 後には3ヶ所ほど局所的な高流速域が発生している様子が見られた。なお、次式に示す移動マイクロバーストの補正項 (Sassa & Iwasaki 2012)

$$U_c^* = C_1 g \frac{\Delta \rho}{\rho} T_c \quad (C_1 = 5.9)$$

を用いて、図10に見られた流速分布を次の式から実風速分布に換算することができる。

$$u^* = u - U_c^*, \quad t^* = t - C_2 T_c, \quad h_f^* = h_f - C_3 t^* U_c^*$$

これによれば、マイクロバースト全体の平均風速が13m/s、外出流の拡がる領域が直

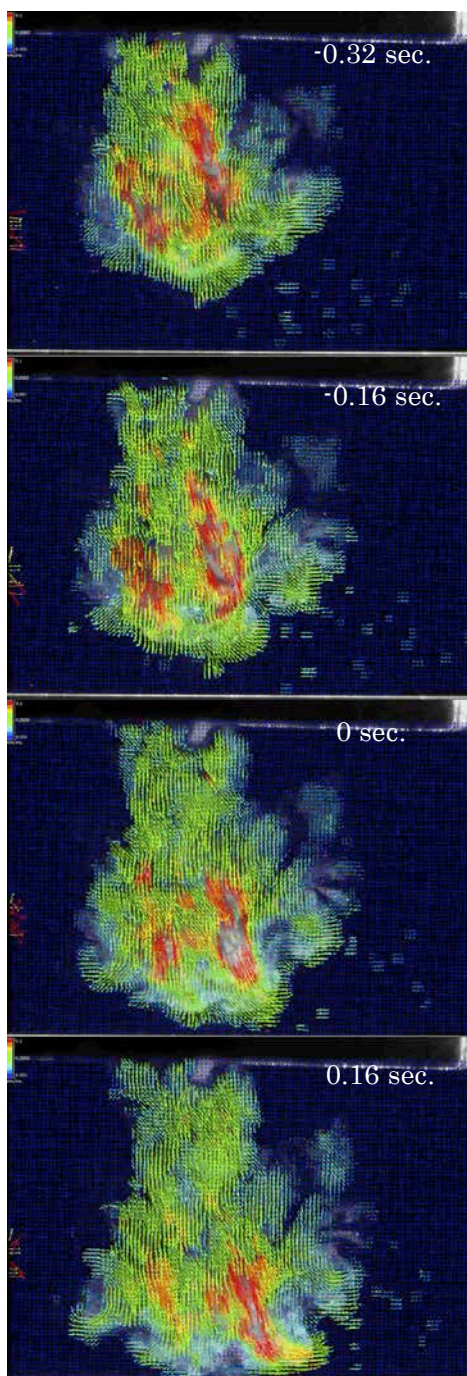


図9 高速流を発生させたマイクロバーストの速度場の様子

径 3000m の時に、わずか直径 300m のエリアに 30m/s もの局所的な高風速が生じることになる。このことより、図 10 で再現したマイクロバーストに局所的な被害を与えられる突風が起こることを確認できた。

なお、超音波風速計列を用いた実際の観測においても図 11 に示すような幅 400m ほどの比較的狭い高風速域が認められており、水槽実験による評価と同程度の局所的な高風速域の存在が確認できた。

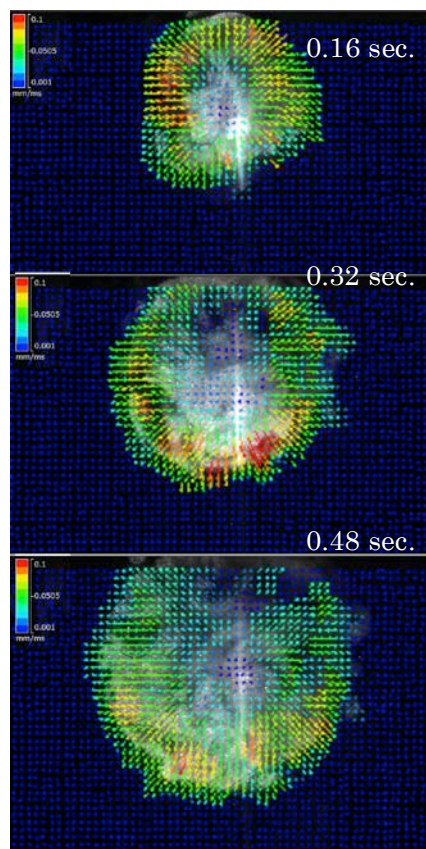


図 10 マイクロバーストの水平断面の流速分布の変化

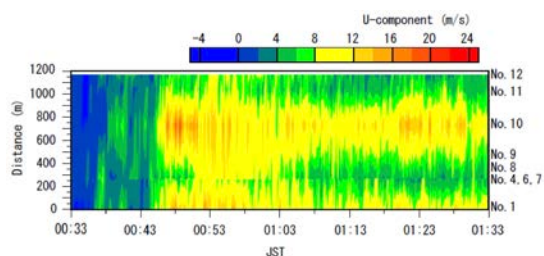


図 11 フィールド観測における突風の水平風速分布 (Taniwaki et al. 2011)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

坂井勇斗, 佐々浩司, マイクロバーストにおける局所的強風の実験的解明, 日本風工学会誌, 38, 査読無, 2013, 119-120.

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① 佐々浩司, 坂井勇斗, 岩崎達史, マイクロバーストの局所的強風について, 2014, 3, 15, 室蘭.
- ② 佐々浩司, 坂井勇斗, マイクロバースト内の小規模強風の原因, 日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2013, 10, 12, 山口.
- ③ 坂井勇斗, 佐々浩司, マイクロバーストにおける局所的強風の実験的解明, 日本風工学会年次大会, 2013, 5, 30, 仙台.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々 浩司 (SASSA KOJI)
高知大学・教育研究部自然科学系・教授
研究者番号：50263968

(2) 研究分担者

宮城 弘守 (MIYAGI HIROMORI)
宮崎大学・工学教育研究部・助教
研究者番号：90219741