

台風0423号時の愛媛県中山間地における平均風速および突風率の推定

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松田, 周, 柴田, 昇平 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001804

台風0423号時の愛媛県中山間地における平均風速 および突風率の推定

松田 周・柴田昇平¹

Key words : 台風, 中山間地, 平均風速, 突風率, 風況シミュレーション, LES

目 次

I 緒 言	17	1 アメダス久万における平均風速の推定	22
II 方 法	18	2 風速観測点における突風率の推定	22
1 台風0423号および解析対象地域	18	IV 摘 要	24
2 数値計算の方法	19	謝 辞	24
3 風速観測の方法	21	引用文献	24
III 結果および考察	22	Summary	26

I 緒 言

2004年の台風23号（以下台風0423号）は四国の中山間地に甚大な被害をもたらした。愛媛県の旧久万町（現久万高原町）においては、パイプハウス被害が大きく、福本ら（2008）¹⁾の調査では、総数879棟のうち、全壊（パイプの破損割合が70%以上）が26棟、半壊（同20～70%）が54棟、一部損壊（同20%未満）が19棟、被覆フィルムのみ破損が207棟であった。ハウスの骨組あるいは栽培作物を強風から守る対策として、ハウス建設時の構造設計や臨時補強材の設置等の耐風対策、防風ネット設置による防風対策、作物の栽培時期や栽培作物の変更による栽培技術的対策、さらには骨組を守るためのフィルムの剥ぎ取り等があげられる。これらの対策のうち、ハウスにどの程度の風がどの方向に吹くかあらかじめ知ることができれば、臨時補強材設置の要否、防風ネットの展張位置選定やフィルム対処等応急措置の判断材料になり得ると考える。

しかし、中山間地では風の流れは地形の起伏に大

きく影響を受けており、立地条件によってハウスの強風被害の受けやすさが異なっている。このような複雑地形上の風況を評価する手法として風洞実験と数値解析がある。前者は信頼性の高いデータが得られるが、再現可能な範囲が風洞の大きさに制限される⁴⁾。一方、数値解析は結果の妥当性について検証する必要があるものの、風洞実験に比べて低コストかつ比較的短時間で複雑地形上の流れ場を予測できる⁴⁾メリットがある。現状では、風向風速予報値から強風域を予測するまでには至っていないが、近年の計算機性能の飛躍的向上により、風況シミュレーションによる強風域の予測は可能になると考える。

さらに、中山間地の気流は乱流となるため、乱流を導入した風況シミュレーションを行う必要がある。このようなシミュレーションには、RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation), LES (Large-Eddy Simulation) などの乱流モデルを使う方法や乱流モデルを使わず直接計算するDNS (Direct Numerical Simulation) などがある。後者は物理モデルを用いない格子解像度までを高精度に

(平成27年5月29日受付, 平成28年2月29日受理)
農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

¹ 現 農研機構九州沖縄農業研究センター
生産環境研究領域

計算⁶⁾することが可能であるが、計算処理に膨大な時間がかかる。k-εモデルに代表されるRANSには多くの研究があり(例えば石原(2003)⁵⁾、村上ら(2003)¹²⁾、年平均風速の推定に良好な結果を得ている。福本ら(2008)¹⁾も村上ら(2003)¹²⁾が開発した風況シミュレーションソフト(LAWEPS: Local Area Wind Energy Prediction System)を使用して、台風0423号時の中山間地における最大風速を比較的良好に推定している。しかし、パイプハウス倒壊の要因の一つである風の乱れ(豊田ら(1998)¹⁶⁾)や最大瞬間風速の推定はできていない。これはRANSが時間平均型の乱流モデルであることに起因すると推察される。一方、LESは格子平均型モデルであり、乱流の非定常な動きを再現でき、単純で普遍的なモデルの構築が可能³⁾である。LESの欠点はRANSよりも計算負荷が大きい点であるが、計算機能力の向上に伴い、この問題は大きく緩和されつつある³⁾。LESは複雑地形上の風況を精度良く再現しており(例えば中山・岸(2000)¹³⁾、内田・大屋(2002)¹⁷⁾)、LESを使った風況シミュレーションはますます発展すると考えられる。そこで、農家のフィルム対処や臨時補強材設置の要否、防風ネットの展張位置選定等の意思決定に資するために、気象・地形条件から最大瞬間風速の大きい地域を推定する手法として、乱流の非定常な動きを再現できるLESを選択し、風況シミュレーションを行うことにした。

台風0423号による局地風の風況シミュレーションは友清ら(2006)¹⁵⁾や大塚・川口(2007)¹⁴⁾が行っており、前者は佐賀県において大気安定度による風況の違いを明らかにし、後者は岡山県において高さ方向の風向の違いがおろし風に影響を与えた可能性を示唆した。しかし、このような大気安定度や高さ方向の風向の違いが、愛媛県旧久万町での強風発生要因となったか不明である。そこで、本研究では、まず風に対する地形および土地利用の影響を見るために、二つの場(圧力場と速度場)を設定し、一方の風を与えて、風況再現性を検証することにした。単純なモデルを段階的に発展させていくことは、複雑な自然現象を解明する上で重要であり、本研究はその第一段階に位置付けられる。

風況シミュレーションによって得られる平均風

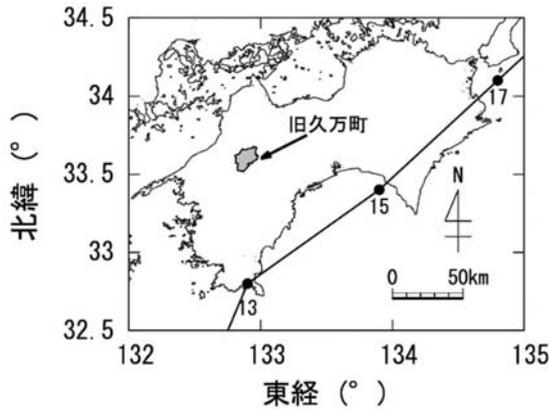
向・風速や最大瞬間風向・風速は、計算領域内の風速観測値と比較して、その結果の妥当性を検証する必要がある。2004年時の旧久万町における風速観測点はアメダス久万のみであり、しかも最大瞬間風速は測定していない。そこで、当アメダス点では台風0423号時の平均風向・風速のみ検証を行う。次に、旧久万町内における複数地点の突風率を推定し、台風0423号における同町内の推定突風率の妥当性について検証する。突風率とは最大瞬間風速を平均風速で除した値であり、平均風速と突風率を精度良く再現できれば、最大瞬間風速も真の値に近づくと推察される。しかし、突風率は平均風速のほかに風向、高さ、周囲の地形および地表面粗度などの影響を受ける。桑形(1993)¹⁰⁾は全国気象官署における突風率の長期変化を調べ、都市化に伴う地表面粗度の増加が突風率上昇の一要因である可能性を示唆した。しかし、都市化が進んでいない中山間地における平均風速-突風率の年ごとの違いを調べた研究は少ない。そこで、旧久万町において風速観測点(アメダス点との混同を避けるために、以降の風速観測点はこの観測点を指す)を設け、平均風速-突風率の年ごとの違いを調べる。それらの違いが認められず、かつ2004年から今日に至るまで、本地域で大規模な地形・土地利用変化がなければ、近年の平均風速-突風率の関係を2004年にも適用できると考え、本観測点の観測値から推定突風率の妥当性について検証することにした。

Ⅱ 方 法

1 台風0423号および解析対象地域

台風0423号は2004年10月12日に北緯12度0分、東経151度0分で発生した⁷⁾。20日13時頃、高知県土佐清水市付近に上陸した後、北東に進み、15時過ぎに同県室戸市付近に再上陸した⁷⁾(第1図)。13、15および17時の中心気圧はそれぞれ955、955および960hPaであった⁷⁾。その後も北東に進み、21日に北緯35度9分、東経139度8分で温帯低気圧に変わった⁷⁾。

アメダス久万(北緯33度39.8分、東経132度53.7分、標高511m、風速計高さ6.5m(2004年時))においては、13時過ぎから15時まで平均風速8 m s⁻¹



第1図 台風0423号の通過ルート

(気象庁のデータ⁷⁾を元に作成)

(図中の●は台風の中心位置、傍らの数字は2004年10月20日の時刻を示す)

以上の風が吹き、14:40~14:50に最大風速13m s⁻¹を記録した。

被災地域である愛媛県旧久万町は愛媛県のほぼ中央に位置し、標高400~1,500mの地域である。四国山地の山々に囲まれた高原であり、その底部には水田が広がり、山の斜面は森林や棚田で構成されている。棚田では水稲のほか、パイプハウス内で主に夏秋トマトを栽培している。同町におけるパイプハウスは棟高3m程度の単棟が多い。

2 数値計算の方法

台風0423号時の旧久万町における風況を再現するために、LESを導入したプログラムをFortranで自作した。友清ら(2006)¹⁵⁾は温度場を、大塚・川口(2007)¹⁴⁾は高さ方向の風向の違いを数値計算に導入しているが、ここではその第一段階として風に対する地形および土地利用の影響を見るための単純な場を想定し、一方向の風を与えた。具体的には、温度の影響を考慮せず、速度場と圧力場のみの場を設定した。地球の曲率、コリオリ力および重力は考慮していない。

基礎方程式は空間粗視化した非圧縮性流れの連続の式(式1)とNavier-Stokes方程式(式2)を用いた⁶⁾。また、渦粘性近似より式3を導入し、ひずみ速度テンソル D_{ij} 、渦粘性係数 ν_e 、ひずみ速度テンソルの大きさ $|D|$ 、フィルター幅 Δ には式4~7を用いた^{3, 6, 17)}。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\tau_{ij} + 2\nu \bar{D}_{ij}) \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = -2\nu_e \bar{D}_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{D}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$\nu_e = (C_s \Delta)^2 |\bar{D}| \quad (5)$$

$$|\bar{D}| = \sqrt{2 \bar{D}_{ij} \bar{D}_{ij}} \quad (6)$$

$$\Delta = \sqrt[3]{\Delta_x \Delta_y \Delta_z} \quad (7)$$

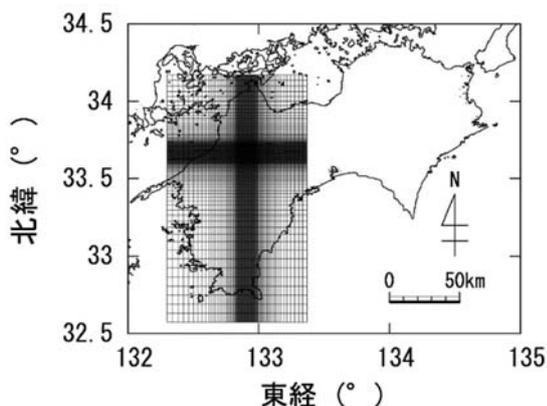
ただし、 x, y, z は直交座標系の座標軸を表し、本研究ではそれぞれ南北(南向きをプラス)、東西(東向きをプラス)、鉛直方向(鉛直上向きをプラス)を示す。 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の速度成分である。 $t, p, \tau_{ij}, \rho, \nu, C_s$ はそれぞれ時間、圧力、レイノルズ応力、流体密度、動粘性係数、Smagorinsky定数を表す。なお、これらの式に用いた変数の上の“-”はGS(Grid Scale)成分を示し、重複する添字には総和規約を適用した。フィルター幅の添字は各方向を表す。

微分方程式の離散化手法には差分法を用い、一般座標系($\xi-\eta-\zeta$ 系)とした。ただし、 ζ 軸は鉛直方向のシグマ座標系とした。式1~7は直交座標系の式であり、これらを一般座標系に変換し、さらに無次元化して使用した。変数の配置はコロケート格子とし、速度場と圧力場のカップリングにはfractional step法を用いた。対流項は発散型(保存型)の上流差分であるQUICK法(Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics method)、それ以外の空間差分は2次精度中心差分を用いた。時間発展には2次精度Adams-Bashforth法を用い、圧力解法にはSOR法(Successive Over-Relaxation method)を採用した。SGS(Subgrid Scale)モデルには標準Smagorinskyモデル(Smagorinsky定数=0.10)を用いた。なお、当シミュレーションによる風況動態について、松田ら(2010)¹¹⁾は風の剥離、逆流、渦の発生・移動・変形、再付着などの現

象発生の有無を確認している。

計算領域を第2図に示す。国土地理院発行の数値地図250mメッシュ(標高)のデータを用い、旧久万町被災地域内を密(250mメッシュ)、領域枠近くを粗になるようにメッシュを作成した。格子形成の結果、隣り合う格子幅の比は1:1.00~1.10であった。鉛直方向は高度4,000mまでを対象とし、地表近傍を密、上方境界近傍を粗とした。アメダス点の平均風速推定においては、風速計の高さが6.5mであることを考慮して、地表面上1番目の格子高(Δz_1)を13.0m(コロケート格子では格子の中心における風速を算出する)とした。突風率の推定においては、後述の風速観測点における観測高さが4.0mであるので、 $\Delta z_1 = 8.0$ mとした。どちらも地表面上2番目の格子高(Δz_2)を Δz_1 と同じ高さとし、上方境界に接している格子高(Δz_{n-1})を250mとした。次に、 $\Delta z_2 \sim \Delta z_{n-1}$ 間をVinokur(1983)¹⁸⁾の1次元補間関数で格子形成を行った(第3図)。格子形成の結果、鉛直方向の隣り合う格子幅の比は平均風速推定においては1:1.00~1.17、突風率の推定においては1:1.00~1.19であった。格子点数はどちらも南北、東西、鉛直方向にそれぞれ132、100、36点とした。

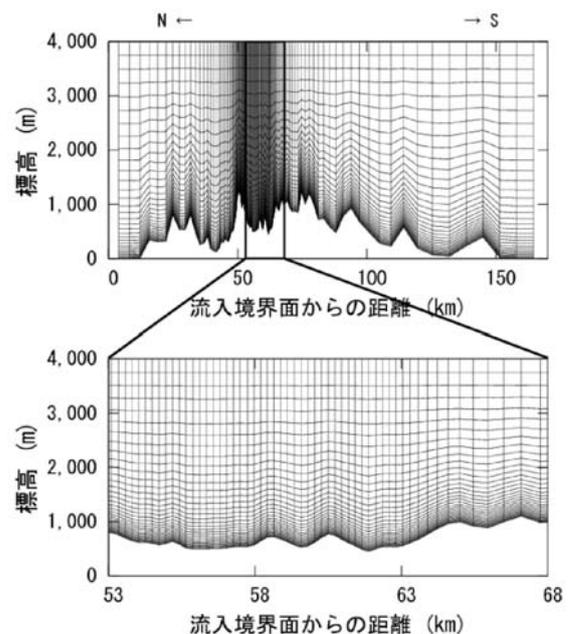
アメダス久万における最大風速発生起時(14:40~14:50)の風向記録値は北北西であった。また、松山気象官署、アメダス今治における同時刻から1時間前までの風向は北北東~北北西であったことから、北面を流入境界面、南面を流出境界面(対流流出)とする計算領域(3次元)を設定し、北から南への風をシミュレートした。東、西および上面



第2図 計算領域およびメッシュ分割図(水平方向)

の境界面はすべり条件とした。地表境界面は粘着条件とし、粗度長(z_0)型対数則を適用した。流入および初期条件には、気象庁が配信しているMSM-GPV(Meso Scale Model-Grid Point Value)を使用した。アメダス久万における最大風速発生起時前後の配信されている気圧面MSM-GPVは12時と15時であったため、本研究では15時のMSM-GPVを流入および初期条件に用いた。なお、鉛直風速(鉛直p速度)は水平風速に比べて小さかったので、流入・初期条件では0とした。また、流入境界に位置する島は便宜上海面として扱った。

土地利用区分ごとの粗度長は近藤(2000)⁹⁾を参考にして、第1表の値を用いた。土地利用区分は国土交通省発行の国土数値地図(土地利用細分メッシュデータ、平成18年度(2006年度))を使用した。



第3図 鉛直方向メッシュ分割の一例

第1表 土地利用区分ごとの粗度長

土地利用	粗度長(m)
水田	0.01
その他の農用地	0.01
森林	0.03
荒地	0.01
建物交通用地	1
幹線交通用地	0.2
河川地および湖沼	1.0×10^5
海浜	0.01
海水域	1.0×10^5
ゴルフ場	0.01
その他の用地	0.01

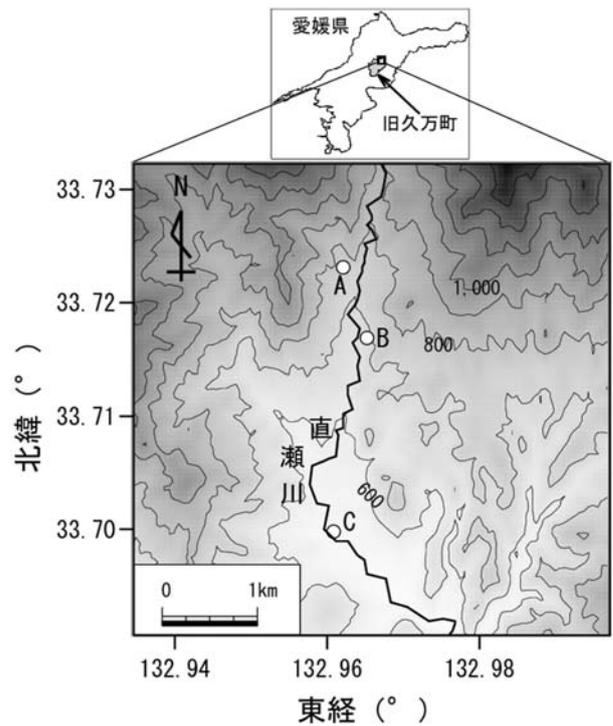
当数値地図の土地利用データ（100 mメッシュ）と第1表から、第2図の各格子内における平均粗度長を算出した。

レイノルズ数は70,000，時間刻みは平均風速推定では 8.0×10^{-3} 秒，突風率推定では 5.0×10^{-3} 秒とした。これは后者の Δz_1 が前者よりも小さいために，時間刻みを細かくすることで，計算の発散を回避するねらいがある。なお，これらの時間間隔で計算される風速をここでは瞬間風速として扱う。また，初期条件の影響を小さくするために，領域北面における標高2,000 m付近の水平風速（ 35.9ms^{-1} ）が下流端に到達する時間である計算開始42分以降の風速値を解析対象とした（旧久万町の北および南側領域では最高標高が1,982 mであることから，2,000 m付近の風を想定した）。具体的には，計算開始42分後から72分後までの瞬間風速の平均値を平均風速とした。また，同時刻の瞬間風速の最大値を最大瞬間風速，最大瞬間風速を記録した時刻の5分前から5分後までの瞬間風速の平均値を10分間平均風速として，最大瞬間風速と10分間平均風速の比を突風率とした。

3 風速観測の方法

風況シミュレーションから算出した突風率の妥当性を検証するために，旧久万町内3地点において風速観測を行った。観測点は同町内を流れる直瀬川沿いに，上流から地点A，B，Cとした（第4図）。地点A（標高750 m）は森林と接している棚田に囲まれた地点，地点B（標高660 m）は棚田と川に囲まれた地点，地点C（標高545 m）は谷底に位置する広場の隅とした。観測には，ギルUVW風速計（Young, 27005R）を用いた（写真1）。本風速計はプロペラが3方向を向いており，一番下のプロペラを北，二番目を東，一番上を鉛直上方に向くように設置した。また，下から二番目のプロペラが地表面上4.0 mの高さになるようにした。電源は太陽電池を用い，0.1秒間隔でデータロガー（日置電機，8430）に瞬間値を記録した。観測期間は地点AおよびBが2010～2014年，地点Cが2011～2014年であり，冬期は積雪による故障を回避するために，風速計を撤去した。

風向に追従する風車型風向風速計と違い，本風速



第4図 風速観測点の位置図
（図中の数字は標高を示す）



写真1 風速観測風景（左）とギルUVW風速計（右上）

計は方向固定で使用するため，軸方向以外の風の影響を受ける。この影響を緩和するために，Horstの風速補正法²⁾を用いて，瞬間風速をコサイン補正した。

Ⅲ 結果および考察

1 アメダス久万における平均風速の推定

流入風の境界条件に15時のMSM-GPVを用いており、その風がアメダス久万に到達する時間は平均風速 35.9ms^{-1} （標高2,000 m付近の平均風速）と直線距離から単純に計算すると、28分であった。15時28分以降の平均風速記録値は時系列に4, 5, 5ms^{-1} であり、推定値(4.6ms^{-1})は近い値を示した（相対誤差はそれぞれ15.0, 8.0, 8.0%）。一方、福本ら（2008）¹⁾はアメダス点の最大風速(13ms^{-1})を推定したところ、 13.1ms^{-1} であり、相対誤差は0.9%であった。しかし、これら最大風速発生起時はアメダス記録値では15時近く（14:40～14:50）であったのに対し、福本ら（2008）¹⁾の推定値は14時であり、約1時間のズレがあった。福本ら（2008）¹⁾が述べているように空間・時間分解能ともかなり粗いRSM-GPVデータを入力値として用いたので、風速の発生起時に多少のズレが生じたと考えられる。なお、アメダス記録値と推定値の最大風速発生起時1時間後の平均風速相対誤差は117.2%であった（それぞれ5, 10.9ms^{-1} ）。比較対象となる平均風速記録値の絶対値が異なるため相対誤差の単純な比較は出来ないものの、これらを考慮すると本研究の平均風速の推定はおおむね妥当であったと考える。また、15:30～16:00の平均風向記録値はいずれも北北西であったのに対し、推定値は北西であった。福本ら（2008）¹⁾の推定風向は北東～北であり、平均風向推定もおおむね良好であったと考える。

しかし、アメダス点における最大風速発生起時が14:40～14:50であったことから、ハウス倒壊は今回計算した時刻よりも約1時間前に起こったと考えられる。本研究では、15時のMSM-GPVを用いたが、ハウス倒壊時間帯の風況を知るためには、14時の境界条件を用いて、アメダス点における最大風速発生時の風況を再現する必要がある。これは今後の課題として残された。

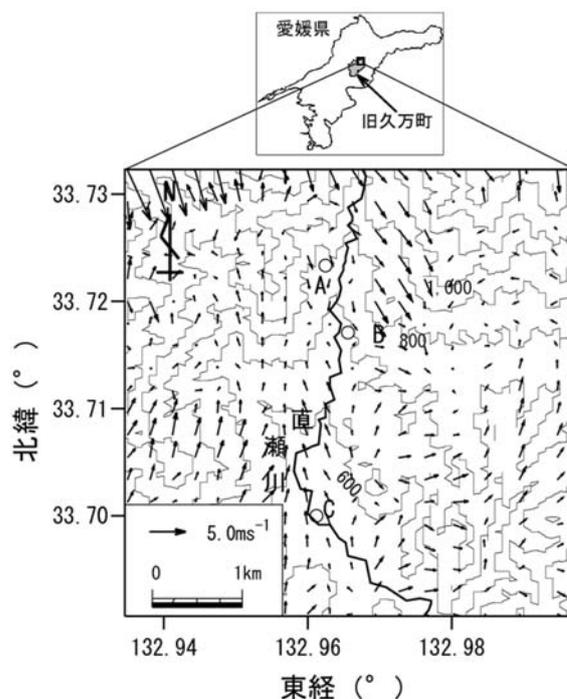
また、本研究では旧久万町内の水平メッシュを250 m間隔として計算したが、同町内の風況をより細かく推定するためには、メッシュサイズをもっと細かくする必要がある。中山間地では棚田と森林が

接している箇所が多く見られ、このような地表面粗度の急変する地点における風況再現性について検討する必要がある。

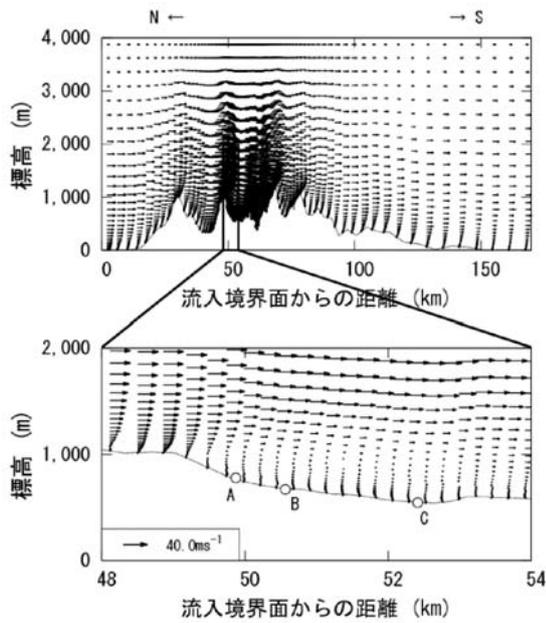
2 風速観測点における突風率の推定

突風率を推定する風況シミュレーションより、地表面上4.0 mにおける風速観測点周辺の平均風向・風速水平分布図を第5図に示す。尾根（同図の北側境界付近）では北西～北北西の風が強く、その一部は地点Bの東側に流れ込んでいる様子が分かる。また、風速観測点周辺の平均風向・風速鉛直分布図を第6図に示す。主風は尾根で剥離し、尾根の後背域には弱い逆風が発生した（第5, 6図）。しかし、後背域に友清ら（2006）¹⁵⁾や大塚・川口（2007）¹⁴⁾が再現したおろし風は認められず、ハウス倒壊時の風況を再現するためには地形や土地利用の導入だけでは不十分と考えられる。これは今後の課題として残された。なお、最大瞬間風速発生時の風向は地点Aが北、Bが南南東、Cが東南東であった。

各風速観測点における10月の平均風速と突風率の分布図を第7図に示す。ただし、突風率を推定す



第5図 地表面上4.0 mにおける風速観測点周辺の平均風向・風速水平分布図
（図中の数字は標高を示す）

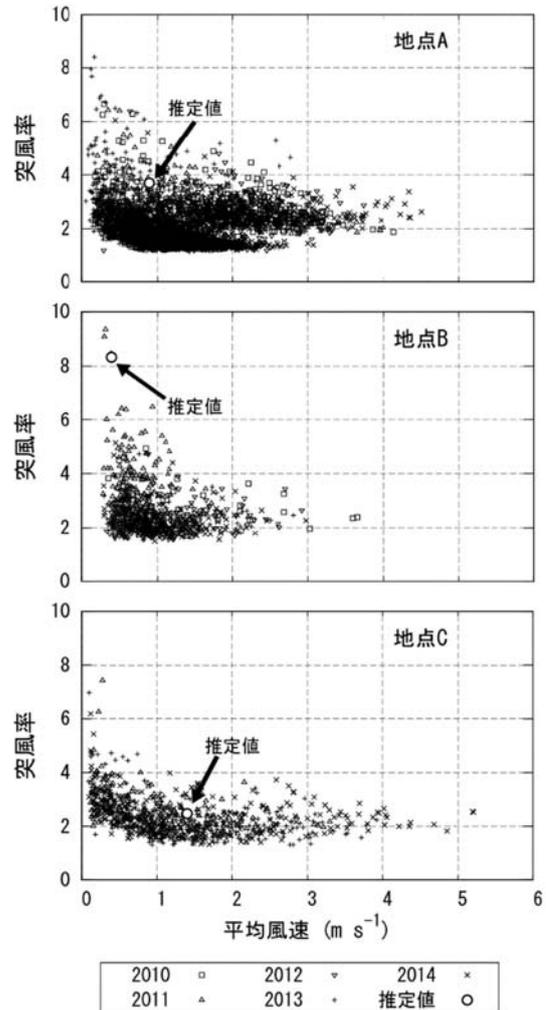


第6図 風速観測点周辺の平均風向・風速鉛直分布図

る風況シミュレーションの結果を受けて、地点Aは北、Bは南南東、Cは東南東の平均風速およびその時の突風率を抽出して図示している。突風率は低風速時ではばらつくが、平均風速が上昇するにつれて収束している。一般的に用いる突風率はこの収束した値を示し、その値は地上の風速計高度を h 、地表面粗度長を z_0 としたとき、粗度の小さい所 ($1/\ln(h/z_0) = 0.2$ 程度) では突風率 = 1.6 ~ 2、粗度の大きい都市など ($1/\ln(h/z_0) = 0.35$ 程度) では突風率 = 1.8 ~ 3 になる (近藤 (1994)⁸⁾)。本研究の風速観測点では $1/\ln(h/z_0) = 0.17$ であり、第7図中の高平均風速時の突風率は地点Aでは1.9 ~ 3.3、Bでは2.4、Cでは1.8 ~ 2.5であったことから、近藤 (1994)⁸⁾ よりも値が高かった。これは、地形および周囲の森林等の土地利用が影響していると推察される。

第7図の突風率において、各観測点ともに年による大きな違いはなかった。役場や住民の聞き取り調査によると、被災した2004年から2014年に至るまで、同観測点周辺における地形や土地利用に大きな変化はなかったため、2004年時の分布図もほぼ同様であったとみなし、この図を用いて推定突風率の検証を行った。

数値計算による各観測点の推定突風率を第7図に白丸で記す。図中に示す平均風速と突風率のプロッ



第7図 風速観測点における平均風速と突風率の関係

ト群の形状は観測点によって異なるが、推定した突風率はそれぞれ観測値の範囲内に入っており、風況の再現性に大きな問題はなかったと考えられる。しかし、本結果では推定値が各一点であり、弱風から強風までの平均風速に対する突風率を検証した結果では無い。つまり、本研究は台風0423号時の15:30 ~ 16:00頃の突風率について検証したものであり、ハウス倒壊時間帯の最大瞬間風速を推定するためには強風時の突風率を検証する必要がある。これは今後の課題であり、風速観測期間中の強風時境界条件を用いてシミュレーションすることで、検証できると考える。

また、前項で示したように、ハウス倒壊時間帯の風況を知るためには14時の境界条件を用いる必要がある。この条件を用いて平均風速と突風率を推定し、福本ら (2008)¹⁾ が調査した旧久万町内被災ハ

ウス位置図から推定結果の妥当性を検証する予定である。

Ⅳ 摘 要

台風0423号時の愛媛県旧久万町における風況を風況シミュレーションによって再現した。シミュレーションにはLESを用い、アメダス久万における平均風向・風速および風速観測点における突風率を推定した。その結果、アメダス点における推定平均風向・風速は、おおむね妥当な値であった。各風速観測点における推定突風率はそれぞれ観測値の範囲内の結果が得られた。

しかし、ハウス倒壊時間帯の風況は再現できなかった。これには本研究で用いた時刻の約1時間前の境界条件を使用すべきと考える。また、おろし風の再現は出来なかった。これには温度場や高さ方向の風向の違いなどの導入を検討する必要がある。さらに、各風速観測点における強風時の推定突風率や地表面粗度が急変する地点の風況再現性については今後の課題として残された。

謝 辞

本研究の一部は農林水産研究情報総合センターのシステムを利用して実施した。また、風速観測を行うために高岡啓一氏、JA松山市直瀬支所に場所を提供していただいた。さらに、風速計設置および撤去に近畿中国四国農業研究センター四国研究センター業務第2科技術専門職員の香川信次、関浩二、加賀宇昌宏、松崎健文、岡信光、森江昌彦、上枝博樹、塩本知、桑田将能、宮西克明の各氏にご尽力いただいた。ここに記して各位に感謝する。

引用文献

- 1) 福本昌人・柴田昇平・吉村亜希子 2008. LAWEPSによる台風時のパイプハウス地点の風速推定. システム農学. 24 (2): 85 - 92
- 2) Horst, H. W. 1972. A computer algorithm for correcting noncosine response in the Gill anemometer. Ed. C. L. Simpson, Pacific Northwest Laboratory Annual Report for 1971 to the USAEC Division of Biology and Medicine II part1. Battelle Pacific Northwest Laboratories, Washington. 183 - 188
- 3) 飯塚 悟・近藤裕昭 2008. LESの基礎. 藤吉康志編集, 気象研究ノート. 219. 日本気象学会. 東京: 2 - 10
- 4) 石原 孟 2002. 複雑地形における局所風況の測定と数値予測. 日本風工学会誌. 91: 3 - 8
- 5) ——— 2003. 非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその実用化. ながれ. 22: 387 - 396
- 6) 梶島岳夫 1999. 乱流の数値シミュレーション, 養賢堂. 東京. 144 - 218
- 7) 気象庁 2015. 過去の台風資料. <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>
- 8) 近藤純正 1994. 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—. 朝倉書店, 東京. 122 - 123
- 9) ——— 2000. 地表面に近い大気科学. 東京大学出版, 東京. 88 - 95
- 10) 桑形恒男 1993. 大型台風にもなった気象官署の突風率の長期変化. 天気. 40 (2): 91 - 97
- 11) 松田 周・柴田昇平・吉村亜希子・細川雅敏・内田晴夫 2010. 中山間地に適用できる乱流シミュレーションモデルの基礎的検討. 中国・四国の農業気象. 23: 22 - 23
- 12) 村上周三・持田 灯・加藤信介・木村敦子 2003. 局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証. ながれ. 22: 375 - 386
- 13) 中山昭彦・岸修士郎 2000. ラージ・エディター・シミュレーションによる実地形上気流の予測, 応用力学論文集. 3: 737 - 744
- 14) 大塚清敏・川口彰久 2007. 2004年台風23号による局地風「広戸風」の大規模発生時の強風解析. 大林組技術研究所報. 71: 1 - 6
- 15) 友清衣利子・内田孝紀・前田潤滋 2006. 台風0423号通過時における佐賀県小城市周辺風況のCFD解析—風況に及ぼす大気安定度の影響—. 風工学シンポジウム論文集. 19: 205 - 210
- 16) 豊田裕道・森山英樹・瀬能誠之・前川孝昭 1998. 園芸用プラスチックハウス等の風害発生

- 時例とその特徴. 農業施設. 29 (1) : 21 - 30
- 17) 内田孝紀・大屋裕二 2002 : ネストグリッドを用いた複雑地形上の風況予測シミュレーション. 日本風工学会論文集. 92 : 135 - 144
- 18) Vinokur, M. 1983. On one-dimensional stretching functions for finite-difference calculations. J. Comp. Phys. 50 : 215 - 234

Estimation of Average Wind Speed and Gust Factors during the Passage of Typhoon No. 0423 in a Mountainous Region in Ehime Prefecture, Japan

Shuh MATSUDA and Shohei SHIBATA¹

Summary

On October 20, 2004, Typhoon No. 0423 passed through Shikoku region of Japan between 13:00 JST and 17:00 JST. Approximately 300 greenhouses in a mountainous area formerly known as Kuma-cho in Ehime Prefecture were damaged by the typhoon. In this study, wind conditions generated by the typhoon in this region were simulated using large eddy simulation (LES). The reproducibility of wind conditions was verified by comparing the simulated values with the average wind speed recorded at the Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) observation station in Kuma-cho and gust factors recorded at three wind observation points from 2010 (or 2011) to 2014. The LES was based on a generalized curvilinear collocated grid. For the initial and inlet boundary conditions, Meso-Scale Model Grid Point Values (MSM-GPV) were used. The average wind direction and the wind speed at the AMeDAS observation station were estimated, and the simulated results appeared to be reasonable. Wind gust factors at the three observation points were simulated and compared with the observed data from 2010 to 2014 (or 2011 to 2014). At each observation point, no significant differences were found between the gust factors during October for each year. The gust factors simulated by LES for each observation point were within the range of the measured values. However, wind conditions during the collapse of the greenhouses and fall wind that seemed to affect the collapse could not be reproduced. The results suggest that boundary conditions from an hour earlier than those used in this study should be used and gust factors at high average wind speeds at the three observation points should be verified in order to estimate wind conditions at the time when greenhouses collapsed. Further, temperature field and wind shear should be introduced into this simulation model in order to reproduce the fall wind.