

## 台風第 15 号による園芸施設への被害状況に基づく風の解析値の検証

飯塚 聡\*・横山 仁\*・清水 慎吾\*・鈴木 真一\*

### Validation of Analyzed Winds Based on Greenhouse Damage by Typhoon Faxai (2019)

Satoshi Iizuka, Hitoshi Yokoyama, Shingo Shimizu, and Shin-ichi Suzuki

*\*Storm, Flood and Landslide Research Division,*

*National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan*

*iizuka@bosai.go.jp, yokoyama-h@bosai.go.jp, shimizus@bosai.go.jp, ssuzuki@bosai.go.jp*

#### Abstract

This study compared the characteristics of analyzed winds associated with Typhoon Faxai (2019) during its approach to and landfall over the Chiba Prefecture. Winds estimated from X-band Doppler radar deployed over the metropolitan Tokyo are assimilated into the cloud resolving model. This analyzed 10-m surface winds are compared with those obtained from both the Meso Scale Model (MSM) and the Local Forecast Model (LFM) of the Japan Meteorological Agency along with the NCEP-GFS model. The comparison shows that the analyzed winds well reproduce the 10-m surface wind speed and direction observed at the many AMeDAS stations over the Chiba and Ibaraki prefectures. The regional characteristics of the greenhouse damage observed over the Chiba and Ibaraki prefectures are also explained by the analyzed wind speed.

**Key words:** Typhoon Faxai (2019), Wind, Greenhouse damage

#### 1. はじめに

令和元年房総半島台風(台風第 15 号)は最大風速 45 m/s の勢力を維持したまま 2019 年 9 月 9 日 3 時頃に三浦半島に接近後東京湾を進み、中心気圧 960 hPa、最大風速 40 m/s の勢力で 5 時頃に千葉市に上陸した。その後、北東に進み茨城県沖に抜けたが、千葉市では観測史上 1 位となる最大瞬間風速 57.5 m/s を観測するなど、台風の進行方向の右側にあたる房総半島を中心に広域で暴風となった。この暴風により房総半島の各地で停電が生じ、長期間にわたり住民生活などに甚大な影響を及ぼした。台風第 15 号による農林水産関係の被害総額は 814.8 億円(2019 年 12 月 5 日、農林水産省調べ)に上り、千葉県でその約 8 割(約 665 億円)(2020 年 3 月 19 日、千葉県調べ)を、茨城県で 1 割(約 61 億円)(2019 年

10 月 1 日、茨城県調べ)の被害となった。また、両県とも被害額の約 7 割を園芸施設が占めた。

気象現象の実況把握は、災害対応の初動において有効な情報と考えられる。現在、降雨については、気象庁アメダスによる観測の他に国土交通省による XRAIN によるレーダ雨量観測により広範囲の面的な情報が得られる。一方、風況の情報については、気象庁アメダスなどによる地点毎の観測情報のみで、広範囲の面的な情報を把握することはできていない。数値モデルに観測データを組み入れることにより補正した解析データは、この問題を補完する手法の 1 つとして考えられる。解析データの精度は年々向上しているものの、今回の台風第 15 号による強風災害の状況把握にどの程度利活用できるのかは明らかではない。そこで、現在利用可能な解析デー

\* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

タで表現される台風第 15 号の風について比較した結果を報告する。なお、比較評価に当たっては、気象庁アメダスの 10 分平均値の地上 10 m での風との比較の他に、千葉県と茨城県の複数地点で現地調査した園芸施設の被害状況との対応も比較検討した。

## 2. 解析データの風の比較

最初に、解析データの風の比較をする。ここで比較するのは、気象庁から提供されているメソ予報数値モデル MSM (Meso Scale Model) と局地数値予報モデル LFM (Local Forecast Model) および雲解像度モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) に LFM のデータを側面境界条件として与えると同時に首都圏に展開している X-NET と呼ばれる X バンド気象レーダによる観測網 (図 1) から推定した高度 1 km での風の情報<sup>1)</sup>(図 2a)などを同化することにより得られた解析データ<sup>2)</sup>である(図 2b)。また、参考のために、米国の NCEP から提供されている水平解像度 100 km, 50 km, 25 km の GFS の解析データも示す。なお、各データの概要を表 1 に示す。

図 3 は、9 月 9 日 3 時における水平解像度 100 km, 50 km, 25 km の NCEP-GFS の高度 1 km における風の間と海面気圧分布ならびに MSM と LFM の高度 1 km の風の間と海面気圧分布、さらに、CReSS の高度 1 km の風の間と海面気圧分布を示したものである。水平解像度 100 km の NCEP-GFS では中心気圧の位置が三浦半島から北西へ大きくずれているが、その他のデータの中心気圧の位置は気象庁ベストトラックとほぼ一致している。ベストトラックの中心気圧は 960 hPa であるが、水平解像度 100 km と 50 km の NCEP-GFS では、中心気圧が 1,000 hPa と著しく過小評価されている。一方、水平解像度 25 km の NCEP-GFS では、中心気圧は 966 hPa とベストトラックの値に近い。MSM や LFM は、水平解像度が NCEP-GFS の 25 km よりも細かいが、中心気圧はそれぞれ 982 hPa と 973 hPa となっている。CReSS は LFM を入力データとしているため、LFM とほぼ同じ値を示す。

高度 1 km での風の分布を見ると、房総半島の南端の 35° N, 140° E 付近では、いずれのデータでも約 50 m/s の風速を示しているが、水平解像度 25 km の NCEP-GFS には、LFM と似た空間分布が見られる。一方、MSM の風の間を見ると、LFM に比べ台

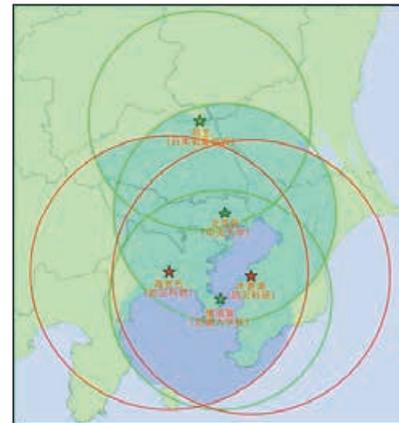


図 1 X-NET のレーダ設置位置と観測範囲  
Fig. 1 Location of X-NET Radar (asterisk) and its observation area (light green shading).

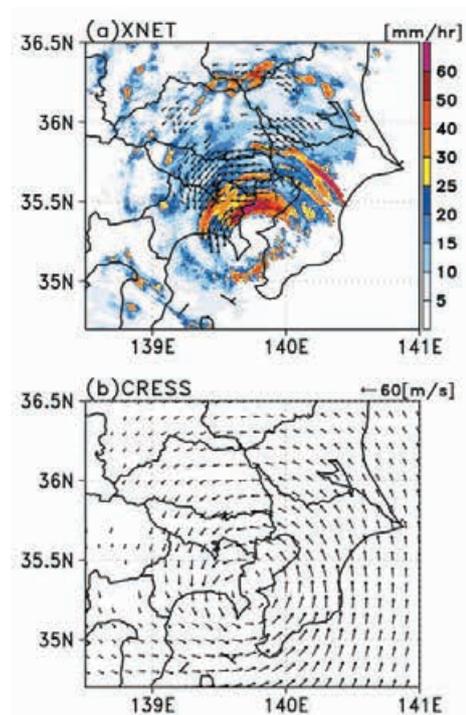


図 2 (a) レーダ観測で推定された 9 月 9 日 3 時の雨量と高度 1 km での推定風の分布と (b) CReSS での風  
Fig. 2 (a) Hourly precipitation and wind field at a height of 1 km estimated by X-NET Radar. (b) Wind field of CReSS.

表 1 解析データの名前と解像度

Table 1 Name and spatiotemporal resolution of data.

データ名	空間分解能	範囲	時間分解能
NCEP-GFS	約 100 km	全球	3 時間
NCEP-GFS	約 50 km	全球	3 時間
NCEP-GFS	約 25 km	全球	3 時間
MSM	約 5 km	日本域	1 時間
LFM	約 2 km	関東域	30 分
CReSS	1 km	関東域	10 分

風の進行方向の右側の房総半島周辺での強風域の範囲が小さく、反対側の強風域の位置もやや西へずれている。最も水平解像度が高い CReSS の風を見ると、LFM に類似しているが、レーダの情報 (図 2a) が入る進行方向の西側の神奈川県で差異が見られる。

次に、気象庁のアメダスの 10 分平均の風と MSM, LFM および CReSS の地上 10 m での風速・風向を比較したものを図 4 に示す。なお、アメダスの風速計の設置高度は場所により異なるため、指数 1/7 のべき乗則で高度 10 m での風速に変換している<sup>3)</sup>。レーダの情報が得られない新島では CReSS, LFM, MSM のいずれも台風通過後の風速が過大評価傾向となるなど観測とのずれが大きい。しかし、大島では、台風が通過した 1 時頃からレーダのデータ同化による補正効果で、MSM, LFM と比べて CReSS では観測に近い風速が再現されている。また、新木場、香取、成田、茂原、木更津、勝浦、佐倉、横浜、三浦、辻堂、柏、竜ヶ崎でも、最大風速が観測された時刻を中心に MSM, LFM と比べてアメダスで観測に非常に近い風速が CReSS では再現されている。特筆すべきことは、

最大瞬間風速 52 m を周辺の海上自衛隊館山航空基地で記録した館山や最大瞬間風速 57.5 m が観測された千葉での風速を CReSS は極めて良く再現している点である。ただし、羽田では最大風速観測時刻直後に風速が不自然に低下している。この原因として、細かく複雑な雨雲の状況においてレーダで必ずしも時空間方向に一様に風速データが推定できないことの他に、観測データを同化する際の時間・空間的な範囲を決めるパラメータなどの設定による問題が挙げられる。但し、前者については、国土交通省の XRAIN など他の観測データを活用することで、後者の問題については今後事例を増やすことによりパラメータ値を適切にチューニングすれば改善される可能性が高い。一方、風向については、今回の台風第 15 号通過時においては、MSM, LFM, CReSS のいずれもアメダスで観測された値をほぼ再現している。これらから、MSM, LFM に比べて、レーダのデータを同化している CReSS はアメダス地点で観測された 10 分平均値の値を全体的にはより精度良く再現していると判断できる。

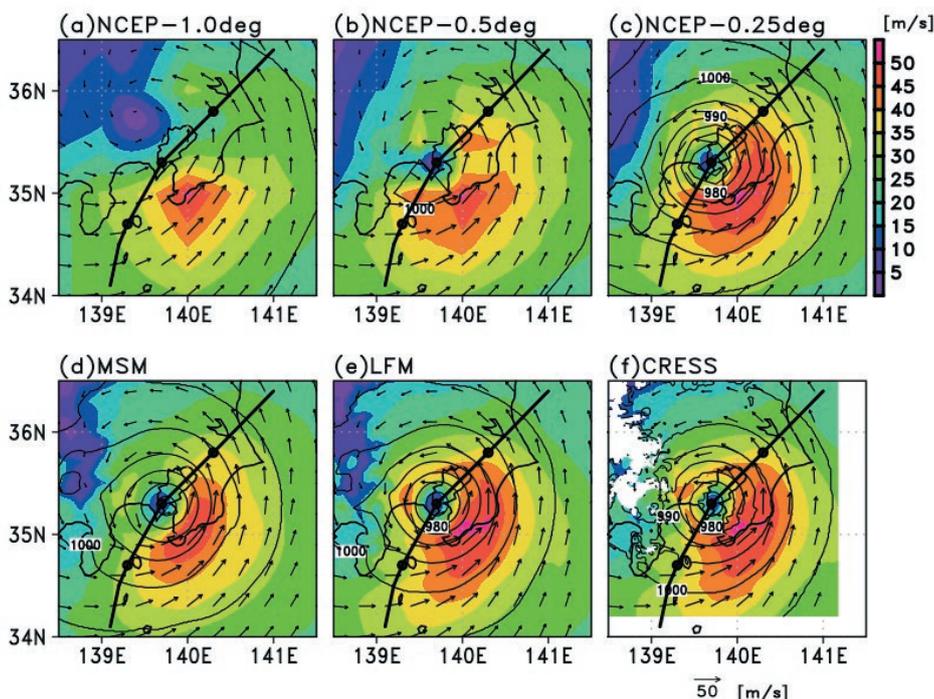


図 3 (a) NCEP-GFS : 100 km, (b) NCEP-GFS : 50 km, (c) NCEP-GFS: 25 km, (d) MSM, (e) LFM, (f) CReSS における 2019 年 9 月 9 日 3 時の高度 1 km における風速分布 (カラー)。等値線は海面気圧で 5 hPa 毎に示す。黒太線は気象庁ベストトラックの台風 15 号の経路を表す。

Fig. 3 Wind field at a height of 1 km at 0300 JST on September 9, 2019 for NCEP-GFS with a horizontal resolution of (a) 100 km, (b) 50 km, and (c) 25 km, and for (d) MSM, (e) LFM, and (f) CReSS. Contour represents SLP (hPa) in 5 hPa interval. Thick black line indicate the JMA best track of Typhoon Faxai.

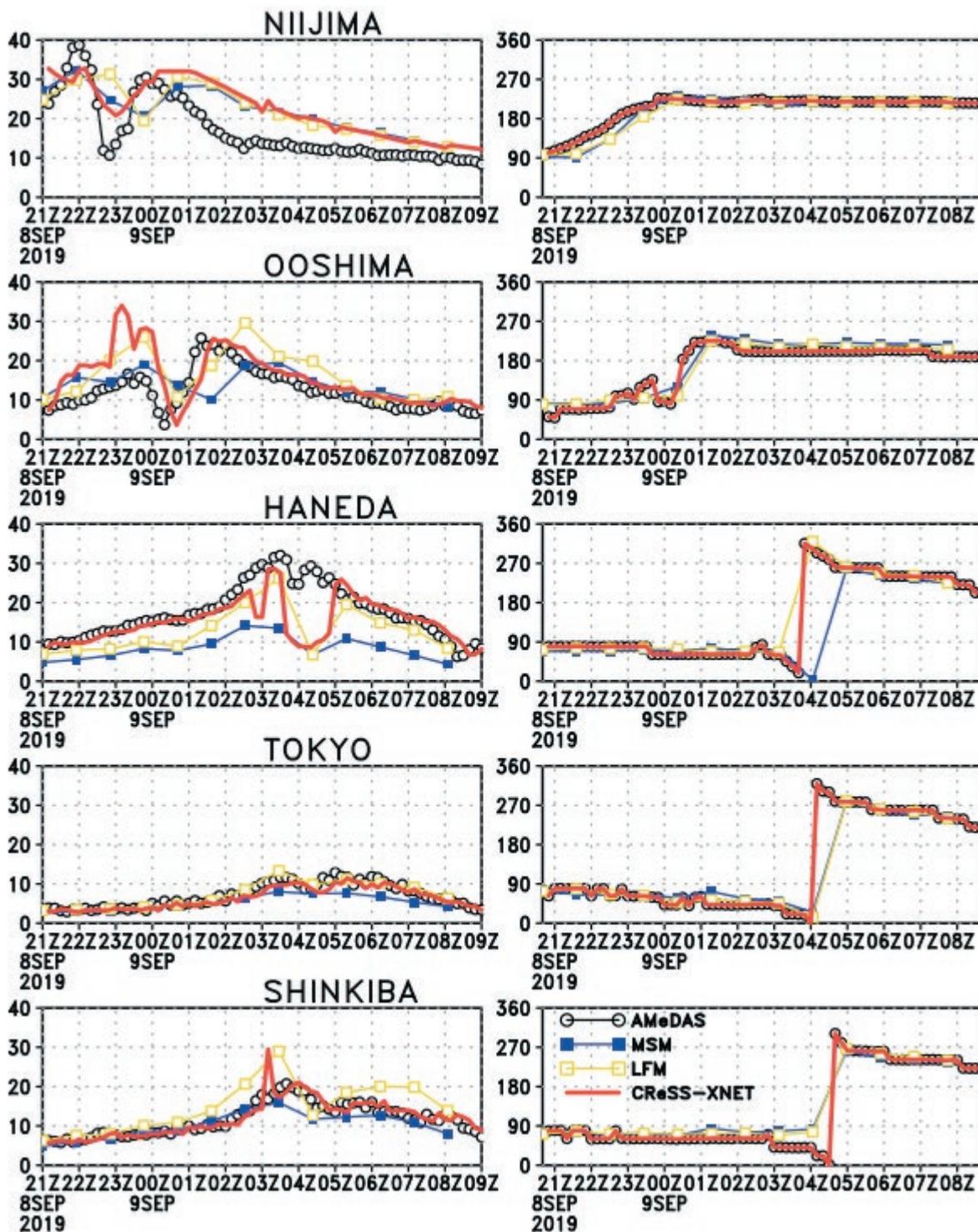


図4 左図：気象庁アメダスで観測された10分平均風速(黒線)とMSM(青線)，LFM(黄線)，CReSS(赤線)の風速。右図：風向。上から，新島，大島，羽田，東京，新木場での値。

Fig. 4 Left panels: Black, blue, yellow, and red lines indicate observed 10-minute averaged wind speed, MSM, LFM, CReSS wind speed at a height level of 10 m at the AMeDAS stations (Niijima, Oshima, Haneda, Tokyo, and Shin-kiba), respectively. Right panels: Same as left panels but for wind direction.

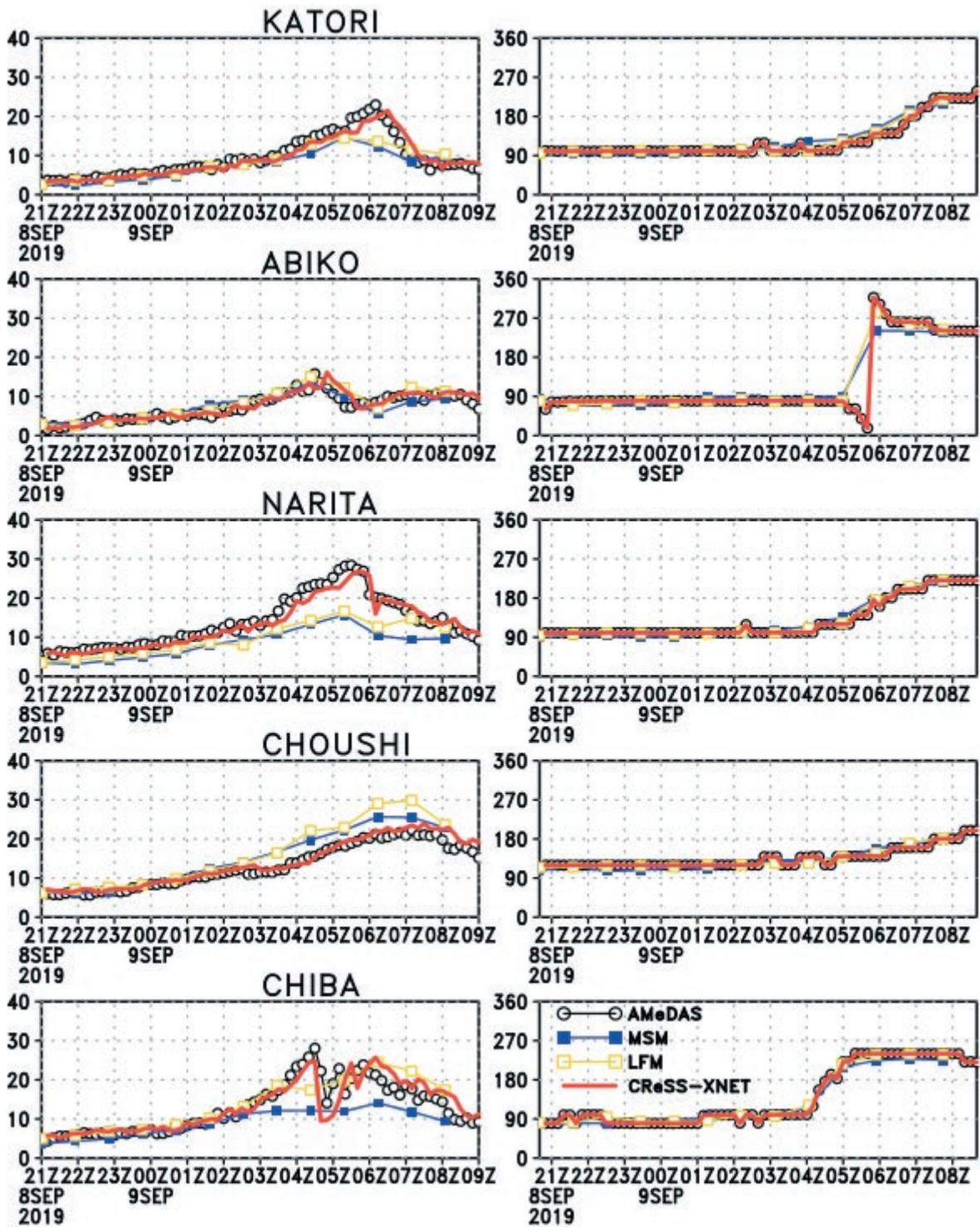


図4(続き) 左図:気象庁アメダスで観測された10分平均風速(黒線)とMSM(青線), LFM(黄線), CReSS(赤線)の風速.  
右図:風向. 上から, 香取, 我孫子, 成田, 銚子, 千葉での値.

Fig. 4 (Continued) Left panels: Wind speed at the AMeDAS stations (Katori, Abiko, Narita, Chosi, and Chiba).  
Right panels: Same as left panels but for wind direction.

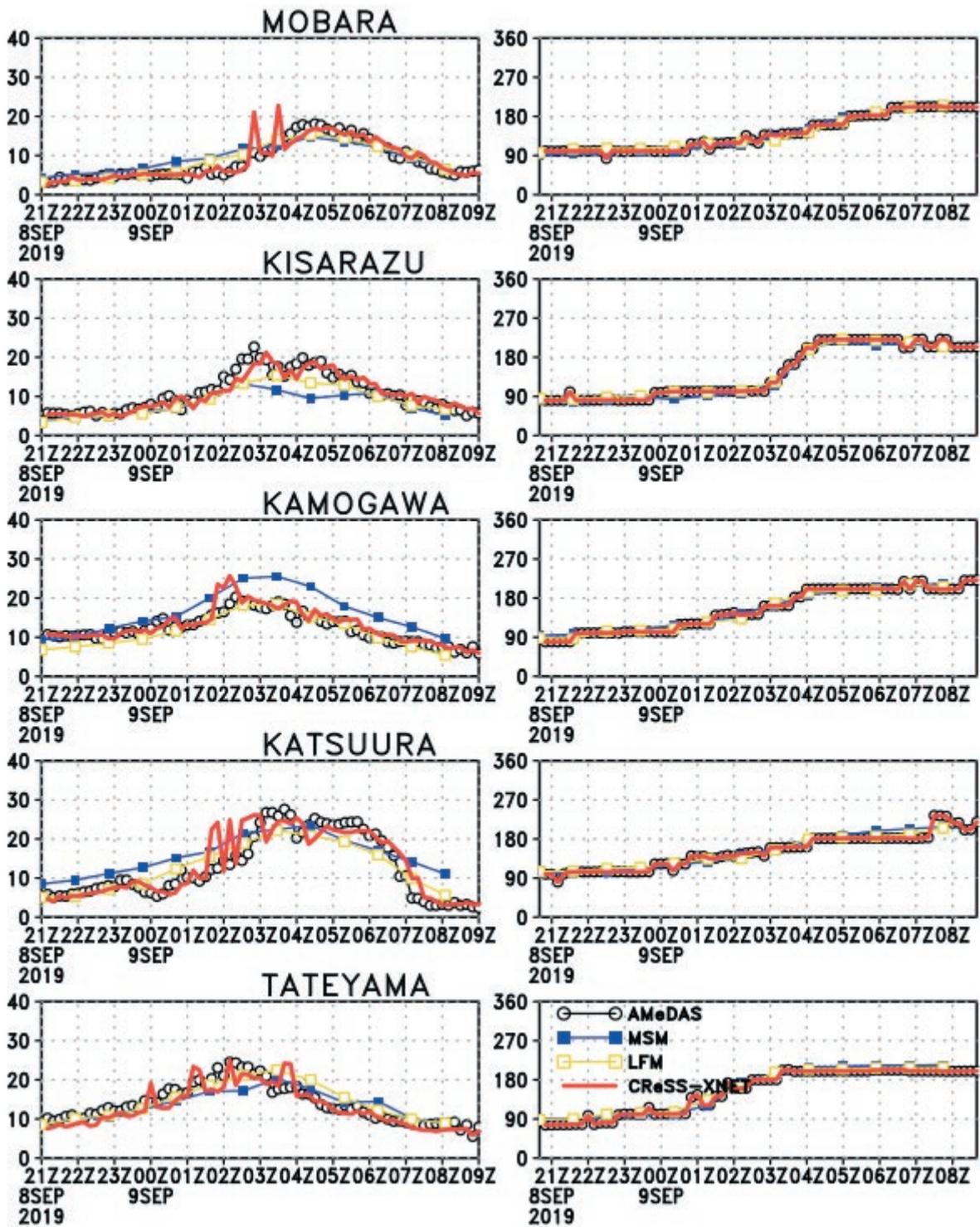


図4(続き) 左図:気象庁アメダスで観測された10分平均風速(黒線)とMSM(青線), LFM(黄線), CReSS(赤線)の風速.  
右図:風向. 上から, 茂原, 木更津, 鴨川, 勝浦, 館山での値.

Fig. 4 (Continued) Left panels: Wind speed at the AMeDAS stations (Mobara, Kisarazu, Kamogawa, Katsuura, and Tateyama).  
Right panels: Same as left panels but for wind direction.

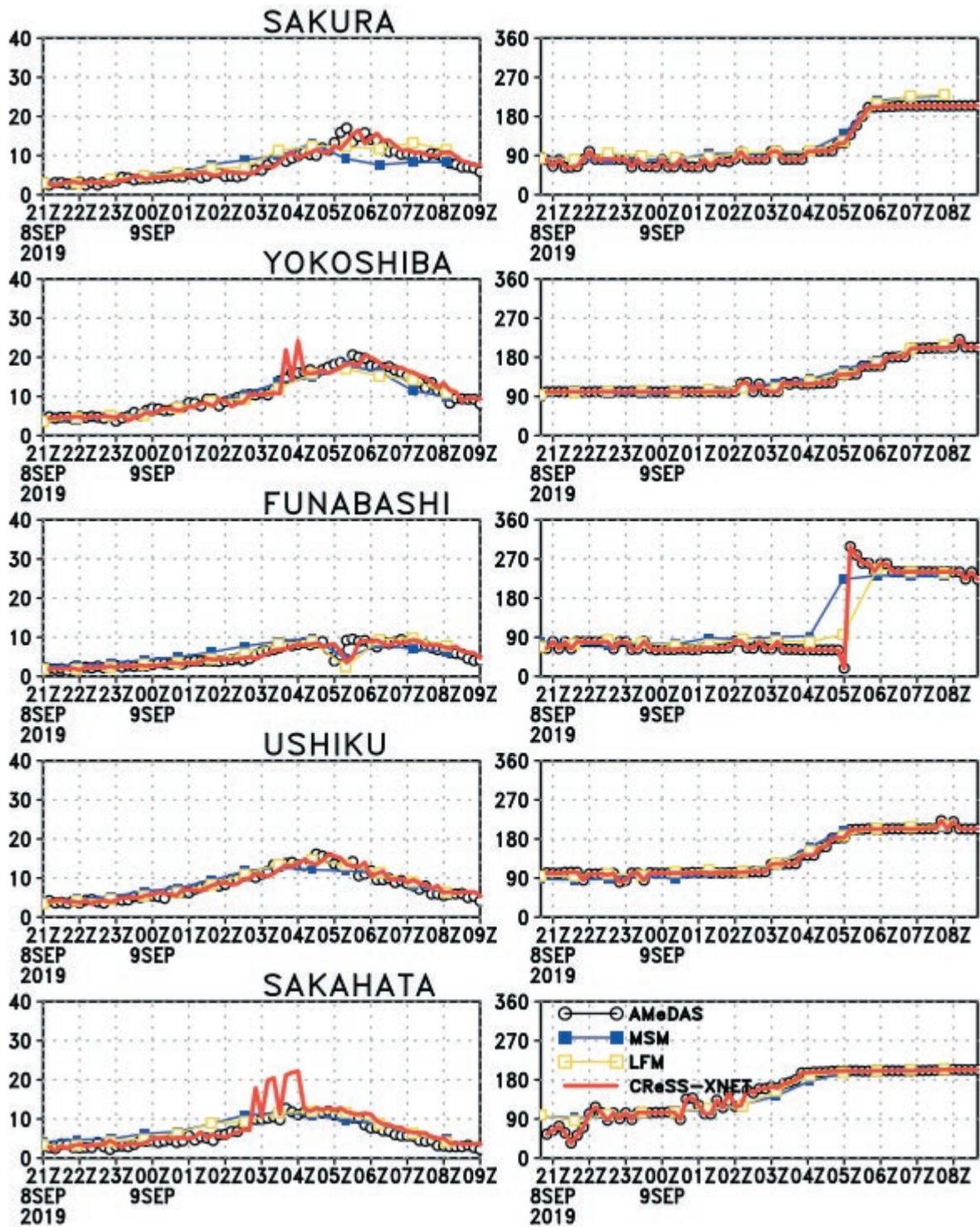


図4 (続き) 左図: 気象庁アメダスで観測された10分平均風速(黒線)とMSM(青線), LFM(黄線), CReSS(赤線)の風速.  
右図: 風向. 上から, 佐倉, 横芝, 船橋, 牛木, 坂畑での値.

Fig. 4 (Continued) Left panels: Wind speed at the AMeDAS stations (Sakura, Yokoshiba, Funabashi, Ushiku, and Sakahata).  
Right panels: Same as left panels but for wind direction.

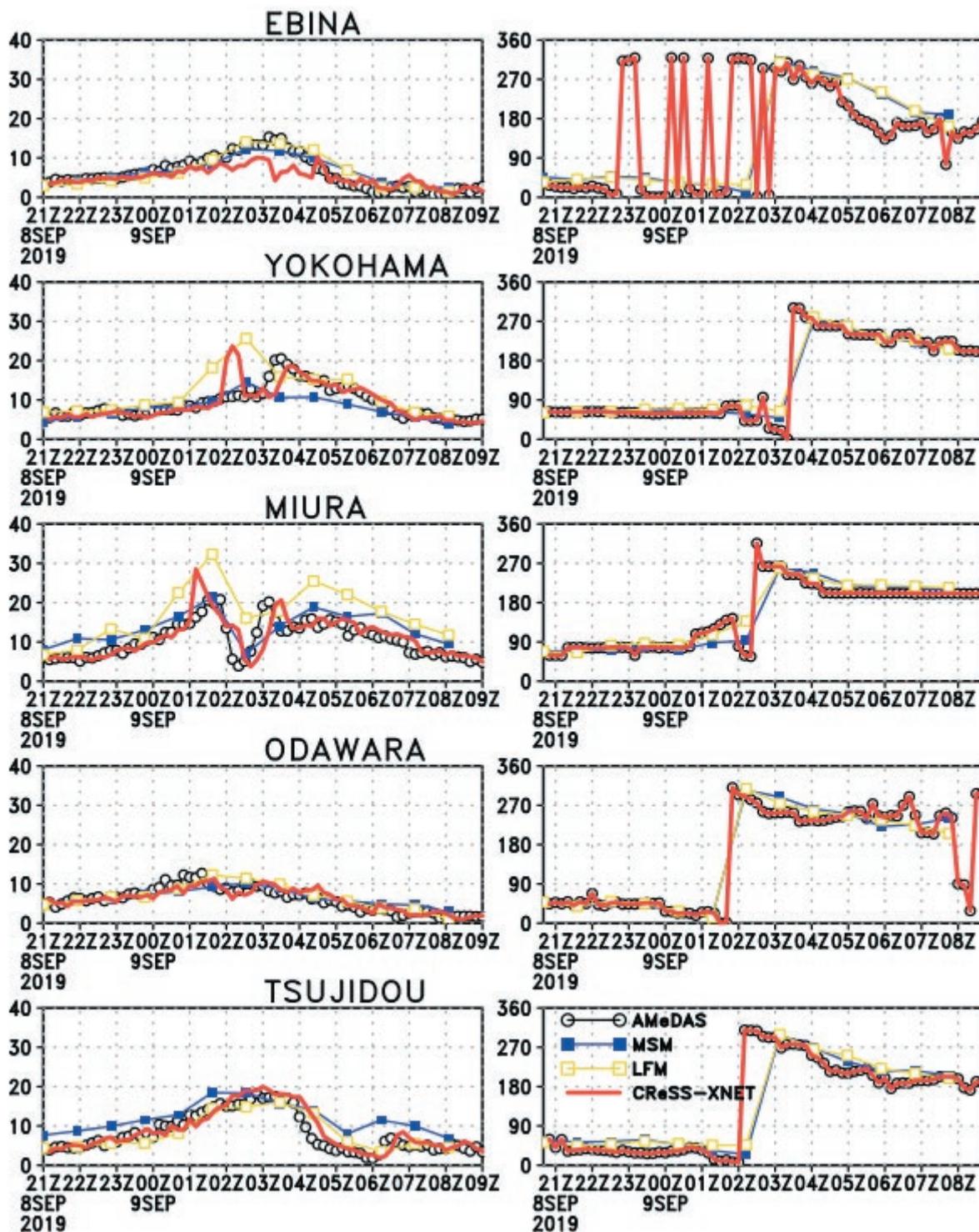


図 4 (続き) 左図: 気象庁アメダスで観測された 10 分平均風速(黒線)と MSM(青線), LFM(黄線), CReSS(赤線)の風速.  
右図: 風向. 上から, 海老名, 横浜, 三浦, 小田原, 辻堂での値.

Fig. 4 (Continued) Left panels: Wind speed at the AMeDAS stations (Ebina, Yokohama, Miura, Odawara, and Tsujidou).  
Right panels: Same as left panels but for wind direction.

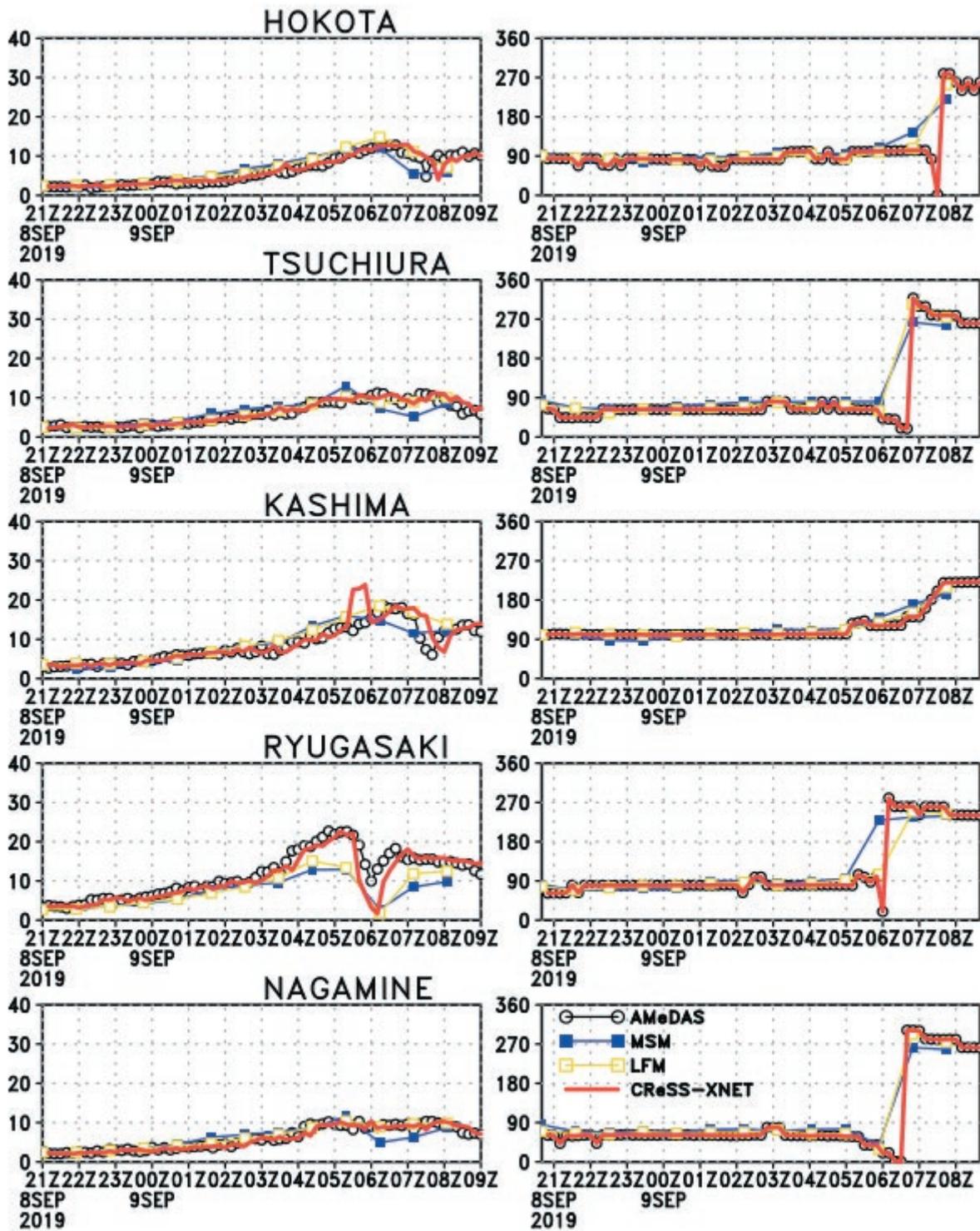


図4(続き) 左図:気象庁アメダスで観測された10分平均風速(黒線)とMSM(青線), LFM(黄線), CReSS(赤線)の風速.  
右図:風向. 上から, 鉢田, 土浦, 柏, 竜ヶ崎, 長峰(つくば)での値.

Fig. 4 (Continued) Left panels: Wind speed at the AMeDAS stations (Hokota, Tsuchiura, Kashiwa, Ryugasaki, and Tsukuba).  
Right panels: Same as left panels but for wind direction.

### 3. 園芸施設の被害状況と風の解析値との対応

園芸施設は部材の種類も少なく、それぞれ許容される設計用の最大瞬間風速が決められており<sup>4)</sup>、様々な工法がある家屋等の構造物の被害状況に比べ風速と被害との対応が比較的容易と考えられる。そこで、アメダスに加えて、強風により倒壊した園芸施設の状況およびそれから推定された風向と CReSS の風速データとの対応関係について調べた。台風第15号が通過した後の9月10日から10月初旬にかけて、千葉県および茨城県内を数回に分けて周り、園芸施設の被害状況について調査した。今回の台風第15号により倒壊が確認された園芸施設の地点を表2に、現地調査から推定した各地点での風向を図5に表示する。また、写真1から写真24は、各地点での園芸施設の被害状況を示したものである。

図6から図10に、現地調査した地点で倒壊した園芸施設から推定された風向と CReSS の風向が一致した時刻で CReSS の風速が最大の時の風速分布を示す。南房総市では30 m/s以上の風速が、そのほかの木更津市、八街市、取手市、つくばみらい市、

鉾田町では15 m/s以上の風速となっていることがわかる。また、木更津市ではすぐ近くで20 m/s以上の風速も見られる。今回現地調査を実施した地点では、通常のパイプハウスの倒壊が確認されたが、例外的に南房総市では鉄骨ハウスの倒壊やガラス温室の被覆材の破損が見られた。木更津市でも、鉄骨ハウスの倒壊は確認されなかったが、ガラス温室の被覆材の破損は見られた。一般に、最大瞬間風速は10分平均風速の1.5倍から2倍とされているが、粘性項に対してレイノルズ平均を施す気象モデルでは、最大瞬間風速のような乱れを表現することができないので、CReSSの風速の2倍の値が各地点での最大瞬間風速として考える。補強の程度によって変わるが、園芸施設はその構造部材により風に対する強度が異なり、通常のパイプハウスでは約30 m/s、鉄骨ハウスやガラス温室では約50 m/s程度が許容される設計用の最大瞬間風速とされている<sup>4), 5), 6)</sup>。これらから、CReSSから想定される各地点での最大瞬間風速は、現地調査で確認された園芸施設の被害特徴と比較的良好に対応していると言える。

表2 現地調査した地点名・緯度・経度との倒壊した園芸施設から推定した風向

Table 2 List of wind direction estimated from the damaged greenhouses at survey points.

番号	地名	緯度	経度	風向
1	つくばみらい市	35.96	140.06	北西
2	取手市 1	35.90	140.09	南東
3	取手市 2	35.90	140.10	東
4	行方市 1	36.10	140.42	北北東
5	行方市 2	36.11	140.47	東
6	鉾田市 1	36.17	140.56	東
7	鉾田市 2	36.18	140.56	東と西
8	佐倉市	35.70	140.28	南南東
9	八街市 1	35.66	140.30	東
10	八街市 2	35.61	140.32	南東
11	八街市 3	35.63	140.31	南東
12	山武市	35.63	140.32	東
13	南房総市 1	35.04	139.84	南
14	南房総市 2	35.04	139.84	東
15	南房総市 3	35.04	139.84	南東
16	館山市 1	34.95	139.82	南西
17	館山市 2	34.96	139.80	南
18	木更津市	35.36	140.05	南東
19	君津市 1	35.36	140.05	南南東
20	君津市 2	35.35	140.05	東
21	君津市 3	35.35	140.05	南南東
22	君津市 4	35.34	140.05	南南東
23	君津市 5	35.34	140.05	南
24	君津市 6	35.34	140.06	南東

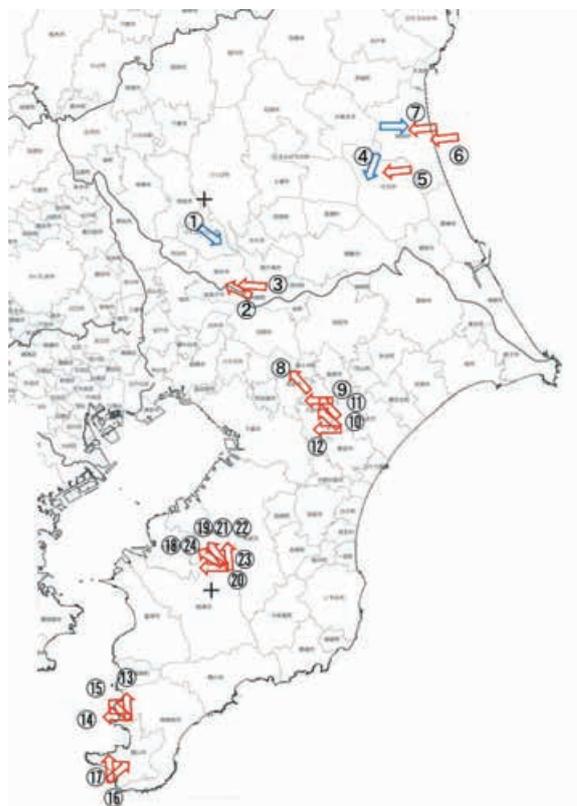


図5 倒壊した園芸施設から推定した風向分布. 赤(青)は進行方向の右(左)側の風向を表す。

Fig. 5 Wind direction estimated by destructed greenhouse damage. Red (blue) arrows indicate the wind on right (left) hand sides of storm motion direction.



写真1 つくばみらい市  
Photo 1 Tsukuba-Mirai



写真2 取手市1  
Photo 2 Toride 1



写真3 取手市2  
Photo 3 Toride 2



写真4 行方市1  
Photo 4 Namegata 1



写真5 行方市2  
Photo 5 Namegata 2



写真6 銚田市1  
Photo 6 Hokota 1



写真7 銚田市2  
Photo 7 Hokota 2



写真8 佐倉市  
Photo 8 Sakura



写真 9 八街市 1  
Photo 9 Yachimata 1



写真 10 八街市 2  
Photo 10 Yachimata 2



写真 11 八街市 3  
Photo 11 Yachimata 3



写真 12 山武市  
Photo 12 Sammu



写真 13 南房総市 1  
Photo 13 Minamiboso 1



写真 14 南房総市 2  
Photo 14 Minamiboso 2



写真 15 南房総市 3  
Photo 15 Minamiboso 3



写真 16 館山市 1  
Photo 16 Tateyama 1



写真 17 館山市 2  
Photo 17 Tateyama 2



写真 18 木更津市  
Photo 18 Kisarazu



写真 19 君津市 1  
Photo 19 Kimitsu 1



写真 20 君津市 2  
Photo 20 Kimitsu 2



写真 21 君津市 3  
Photo 21 Kimitsu 3



写真 22 君津市 4  
Photo 22 Kimitsu 4



写真 23 君津市 5  
Photo 23 Kimitsu 5



写真 24 君津市 6  
Photo 24 Kimitsu 6

一般に、台風の進行方向の右側で最大風速が観測される。今回の台風第15号において、南房総市に近い館山のアメダスでは2時40分に最大瞬間風速48.8 m/sの南南西の風が記録されているが、南房総市の園芸施設は東側ではなく西側へ倒壊していた。

千葉県・茨城県下での多くの園芸施設向も西側へと倒壊していた。今回の台風第15号の風は極めて強かったため、台風の進行方向の前面の東寄りの風で多くの園芸施設が倒壊したと推定される。

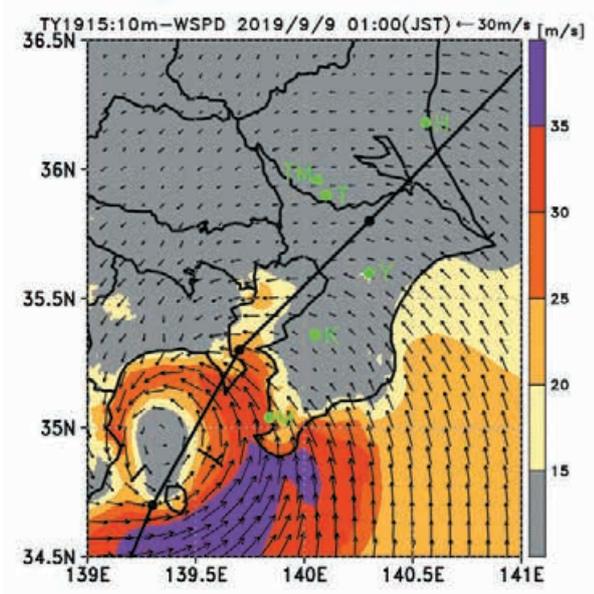


図6 南房総市(記号M)で倒壊した園芸施設から推定した風向と一致する時刻(2019年9月9日1時)におけるCReSSの10m風速分布

Fig. 6 10-m winds of CReSS at 0100 JST on September 9, 2019.

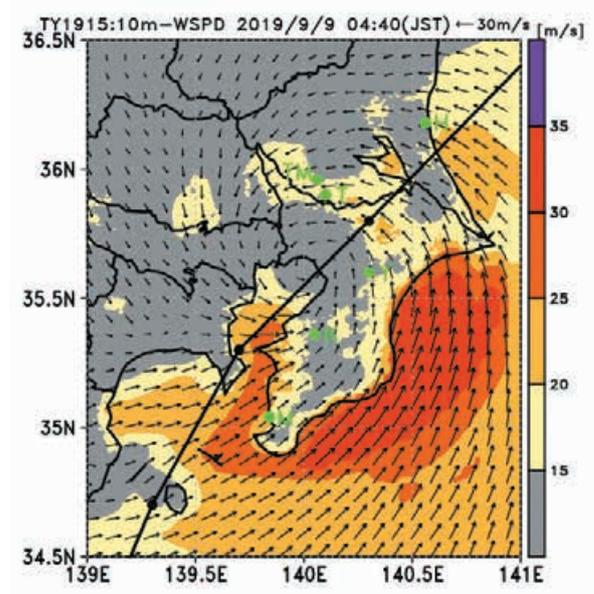


図8 取手市(記号T)で倒壊した園芸施設から推定した風向と一致する時刻(2019年9月9日4時40分)におけるCReSSの10m風速分布

Fig. 8 10-m winds of CReSS at 0440 JST on September 9, 2019.

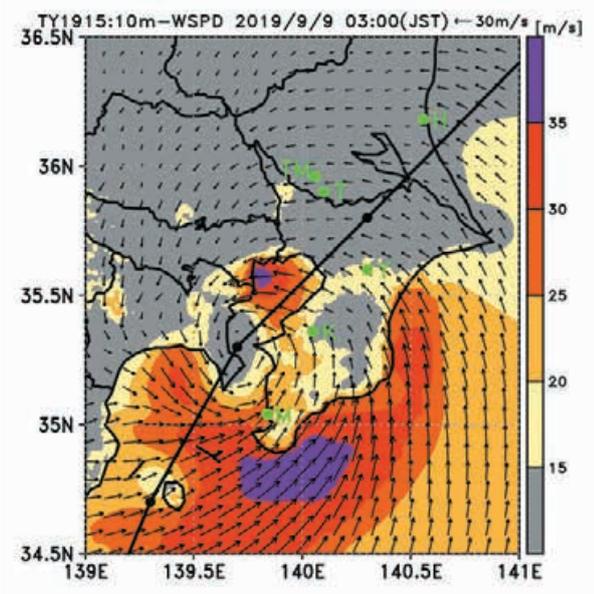


図7 木更津市(記号K)と八街市(記号Y)で倒壊した園芸施設から推定した風向と一致する時刻(2019年9月9日3時)におけるCReSSの10m風速分布

Fig. 7 10-m winds of CReSS at 0300 JST on September 9, 2019.

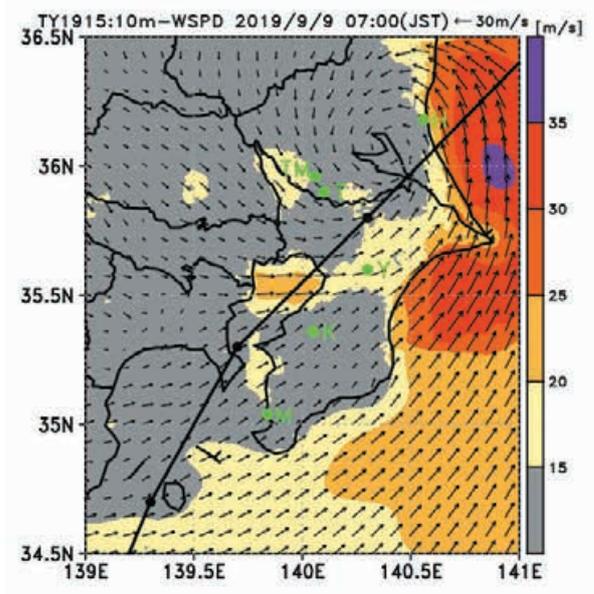


図9 つくばみらい市(記号TM)で倒壊した園芸施設から推定した風向と一致する時刻(2019年9月9日7時)におけるCReSSの10m風速分布

Fig. 9 10-m winds of CReSS at 0700 JST on September 9, 2019.

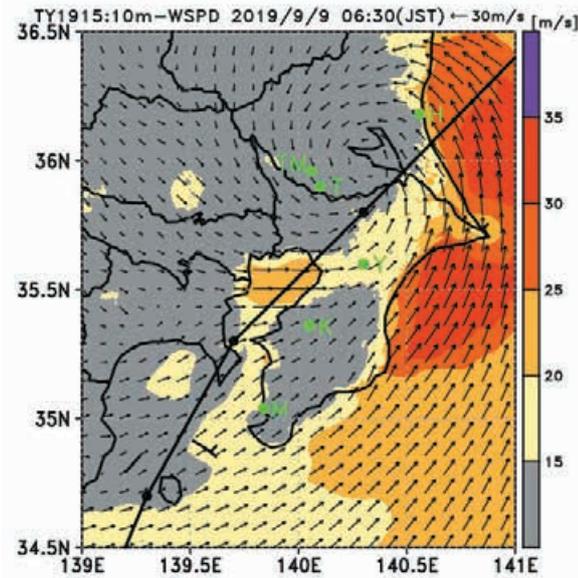


図 10 銚田市(記号 H)で西側に倒壊した園芸施設から推定した風向と一致する時刻(2019年9月9日6時30分)におけるCReSSの10m風速分布  
Fig. 10 10-m winds of CReSS at 0630 JST on September 9, 2019.

#### 4. まとめ

本研究では、強風の広範囲の面的な情報としての風の解析値の有効性について、台風第15号に関わる気象庁アメダスの10分平均値の地上10mでの風と現地調査した園芸施設の被害状況を踏まえ評価した。その結果、Xバンド気象レーダで推定された高度1kmでの風を同化した解析値による地上10mでの風は、広い範囲において気象庁アメダスで観測された風速・風向と良い対応が見られた。観測体制の強化や同化技術の向上がより進めば、台風第15号のような時の風の面的な情報を提供するシステムとなる可能性が高いと考えられる。また、そのデータの地上10mでの風は、園芸施設の倒壊や破損状況とも比較的良好な対応が見られた。各地域での構造物およびその耐風速などの情報を組み合わせれば、台風などの強風災害時における初動対応の際の被害推定のための有効な情報となることが期待される。

#### 5. おわりに

本災害により被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

#### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・特別研究促

進費「令和元年台風15号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」(代表：千葉大学丸山喜久教授)のもと行われたものである。NCEP-GFSは、<https://nomads.ncdc.noaa.gov/data> および <http://rda.ucar.edu/data/ds083.3> から取得した。MSMとLFMは気象業務支援センターより配信されたものである。気象庁のアメダスとベストトラックは <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> と <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html> よりダウンロードした。

#### 参考文献

- 1) 前坂剛・真木雅之・岩波越・三隅良平・清水慎吾(2008): Xバンドドップラーレーダネットワークを用いた地上風の推定手法について. 第20回風工学シンポジウム論文集. <https://doi.org/10.14887/kazekosymp.20.0.34.0>
- 2) Shimose, K., Shimizu, S., Kato, R., and Iwanami, K. (2017): Analysis of the 6 September 2015 Tornadoic Storm Around the Tokyo Metropolitan Area Using Coupled 3DVAR and Incremental Analysis Updates. *J. Disaster Res.*, Vol.12, No.5, 956-966. <https://www.fujipress.jp/jdr/dr/dsstr001200050956/>
- 3) 前田久雄・友清友利子・前田潤滋(2008): NeWMeKの気圧観測網を用いた台風の風速推定の試み. 第20回風工学シンポジウム論文集. <https://doi.org/10.14887/kazekosymp.20.0.1.0>
- 4) 一般社団法人日本施設園芸協会, 温室設計指針検討専門委員会(2018): 農業用温室設置コスト低減推進事業報告書(平成28年度補正予算国庫補助事業)(第二分冊). [https://jgha.com/wp-content/uploads/2019/11/TM06-13-lowcost1808\\_2.pdf](https://jgha.com/wp-content/uploads/2019/11/TM06-13-lowcost1808_2.pdf)
- 5) 静岡県経済産業部 農林業局 農業振興課 普及班【静岡県農業革新支援センター】(2012): 施設園芸における台風・強風対策マニュアル. <https://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-310/kisyou/documents/taifuukyofuu.pdf>
- 6) 森山英樹・佐瀬勘紀・小綿寿志・石井雅久(2003): 台風0221による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察. *農業施設* 34巻3号, 199-212. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/sasj1971/34/3/34\\_3\\_199/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sasj1971/34/3/34_3_199/_pdf/-char/ja)

(2020 年 8 月 5 日原稿受付,  
2020 年 9 月 4 日改稿受付,  
2020 年 9 月 4 日原稿受理)

## 要 旨

本研究では、令和元年房総半島台風(台風第 15 号)が千葉県に接近・上陸した際の風の解析値の特性を比較した。気象庁のメソスケールモデル(MSM)とローカル予測モデル(LFM)および東京の首都圏に配備された X バンドドップラーレーダーから推定された風を雲分解モデルに同化して得られた地上 10 m での風の解析値を比較すると、データ同化で得られた風の解析値は千葉県と茨城県の多くのアメダス観測所で観測された地上 10 m での風速と風向を再現していることが確認された。また、データ同化による解析値の風速・風向は、千葉県と茨城県での園芸施設の被害の地域特性とも対応しており、今回のような台風の強風災害時の被害推定のための有効な情報となることが今後期待される。

**キーワード：**令和元年房総半島台風(台風第 15 号)，風，園芸施設被害