

やまじ風発生時の気象状況について (その1)

—山脈上と麓でのおろし気塊の比較—*

紀井伸章^{*1}・寺尾 徹^{*2}・森 征洋^{*3}

1. はじめに

「やまじ風」は愛媛県東部を中心とする瀬戸内海沿岸に法皇山脈から吹き降りてくる南よりの強風で、日本におけるおろし風の1つである(齊藤 1994; 日下・西 2012; Kusaka and Fudeyasu 2017). 紀井ほか(2019b)では、宇摩平野におけるやまじ風前線を含む風の分布の事例を示した。

「おろし風は、山を越えた気流が増速して風下側の斜面・山麓に吹き降りる現象」(齊藤 1998)とされるが、山頂と麓での気流の状態を実際に比較した例は少なく、広戸風についての岡山地方気象台(1967), 中村ほか(2002), やまじ風についての白鳥(2002)による調査研究があるに過ぎない。

ここではやまじ風が吹いているとき、尾根上と麓で気温、湿度、風の強さなどにどのような関係があるか、また、気流が山脈を超える際に受ける地形による増速を調べた。調査を行うにあたって、法皇山脈から吹き下ろす風で、次の定義に従うものをやまじ風とした(高見 1991)。

- ①風向が南西～南東の間にあること
- ②風速が風向の変化に対応して増加し、最大風速が5 m/s 以上あるもの
- ③風向と風速の変化に対応して気温が上昇しているもの

* Meteorological Conditions at the Occurrence of the Local Severe Wind “Yamaji-kaze” (Part I): Comparison of Temperature and Humidity between on the Top of the Mountains and on the Leeward Side

^{*1} Nobuaki KII, 愛媛県西条市立西条北中学校。

^{*2} Toru TERAOKI, 香川大学教育学部。

^{*3} (連絡責任著者) Yukihiro MORI, 香川大学名誉教授。
mori-yuki@lime.plala.or.jp

© 2022 日本気象学会

なお、愛媛県東部の燧灘(ひうちなだ)沿岸平野部は、全体を「新居浜平野」と呼称されるが、ここでは道前, 西条, 新居浜, 宇摩という旧平野区分名を用いる。

2. 観測地点

四国には第1図に示すように、西に石鎚山、東に剣山という標高2000m近くに達する山がある。中央部は標高1000m程度の鞍部となっており、この地形がやまじ風の発生に関係することが指摘されている(大阪管区気象台 1958; Saito and Ikawa 1991, 1993)。法皇山脈は石鎚山脈の笹ヶ峰から東北東方向に分かれた支脈で、東にゆくにつれて標高は低くなり約1400mから600m程度になる(第2図)。法皇山脈の北斜面の形状は平面に近く、約3/10勾配(傾斜角約17度)となっている。法皇山脈の南には石鎚山脈が走る。

本研究では法皇山脈の翠波峰(すいはみね)近くにある四国電力送配電の送電鉄塔 No. 125(翠波鉄塔または翠波 Y と略記)で観測された次の2例のやまじ風時における気象データを使用した。この地点は、標高726mの尾根上(第2図)にあり、鉄塔に設置された風車型風向風速計により観測が行われた。鉄塔の敷地は平地で、北側斜面、南側斜面には数メートルの樹木が生い茂る。

- ①2005年4月19, 20日: 送電鉄塔3高度(10m, 28m, 79m)の風, 地上1.5mの気温, 相対湿度
- ②2007年5月16, 17日: 送電鉄塔79m高度の風

これらのやまじ風を Y2005, Y2007とする。やまじ風が吹く地域にある地点として、アメダスの三島および新居浜のデータを利用した。また、三島アメダスから北北東約800m離れた地点に四国中央市消防本部(三島消防または三島 S と略記)があり、総合気象観測装置により、風と気温のほか気圧、相対湿度などの観測も行われていたので、ここでのデータも利用した。

なお、ここで用いたアメダス地点はその後、「三島」は2009年2月に移転し、「四国中央」と名称が変わり、「新居浜」は2016年8月に移転し、風速計高度が34.5mから10mに変わった。

3. やまじ風2例の気象概況

3.1 2005年4月19, 20日のやまじ風 (Y2005)

やまじ風発生前後の地上天気図を第3図に示す。黄海にあった温帯低気圧が、朝鮮半島を北東方向に進み、一方、別の温帯低気圧が四国の南側を東に進んだ。

翠波鉄塔における風と山脈を越える前の風上側の風とを比較するため、高知上空の高度1500mにおける風を基準とした。この風にはウィンドプロファイラ (WPRと略記) によるデータを利用した。WPRのオリジナルデータは、観測高度が約400mから始まり、約300mごとに与えられているので、この事例では観測高度が1500mに最も近い1576m高度のデータを用いた。

2005年4月19日15時から20日15時までの各地点の風の変化を第4図に示す。新居浜では、翠波鉄塔79m高

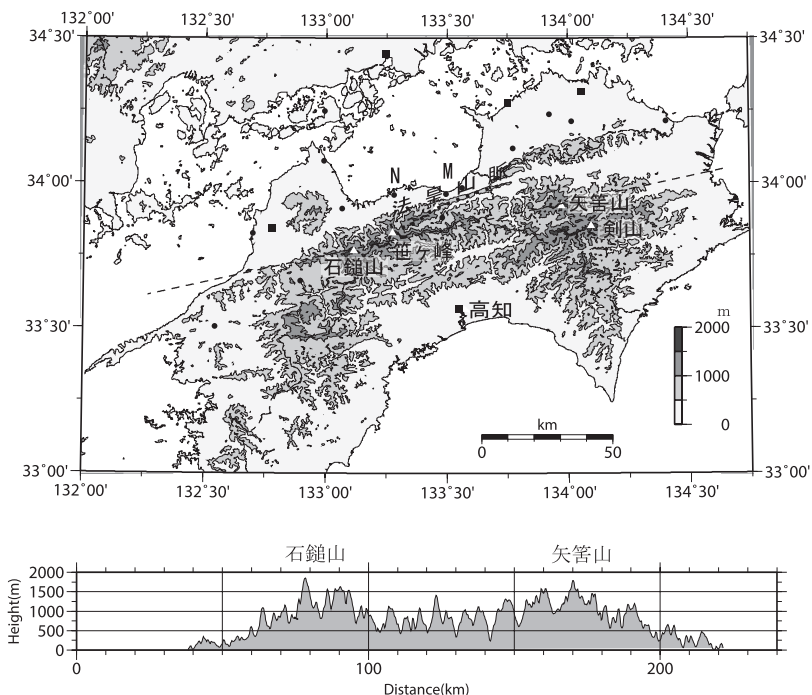
度の風が10m/sを超える19日19時頃、気温が上昇し、南よりの5m/sを超える風が吹き始めた。その後、一時中断する時間もあるが、20日06時頃まで続いた。三島では新居浜より早く19日17時過ぎに気温の上昇と南風の発生がみられる。しかしながら、やまじ風といえる強さの風が吹き出すのは、新居浜より遅れて20日02時頃からで、11時頃まで続いた。翠波鉄塔の3高度の風速が高知WPRの風速を大きく超えるようになったとき、三島でやまじ風が強まった。

やまじ風が強く吹いているときの平均的な状態を知るため、第4図bの横線 (C) で示した8時間について各地点の平均風向・風速や最大風速などを第1表に示す。翠波鉄塔79m高度では最大風速32.4m/s、最大瞬間風速47.8m/sの強い風が吹いた。このとき強風が吹いた8時間の翠波鉄塔における平均風速は27.5m/sで、高知WPRの平均風速17.4m/sの1.6倍になっていた。

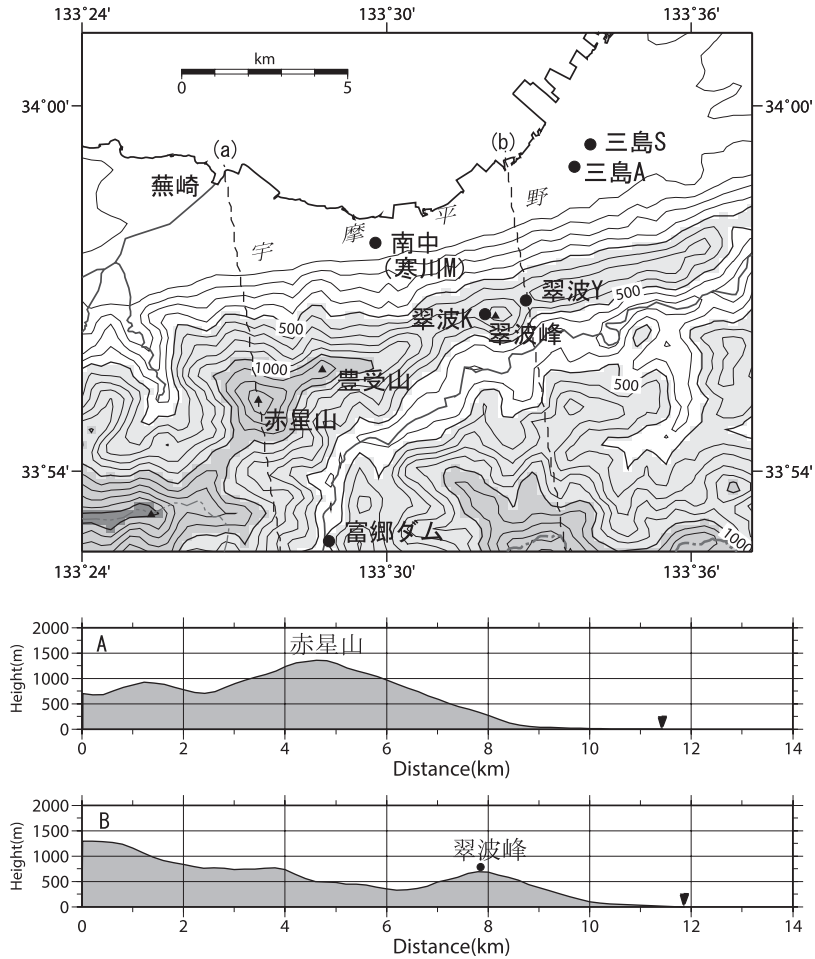
翠波鉄塔の各高度における風速および最大瞬間風速について先の8時間の平均を求め、高度79mにおける平均風速に対する比で規格化して第5図に示す。高度

79mに対する高度28mと10mにおける風速比は0.91と0.92となり、高度10mの方がわずかに大きい。各高度における平均風速と最大瞬間風速の比 (突風率) は79m、28m、10mの高度でそれぞれ1.5、1.6、1.7となる。尾根を越える下層の気流は地形による縮脈効果で増強される上、高度10mでは突風率が大きいので、最大瞬間風速は高度79mを上回る。

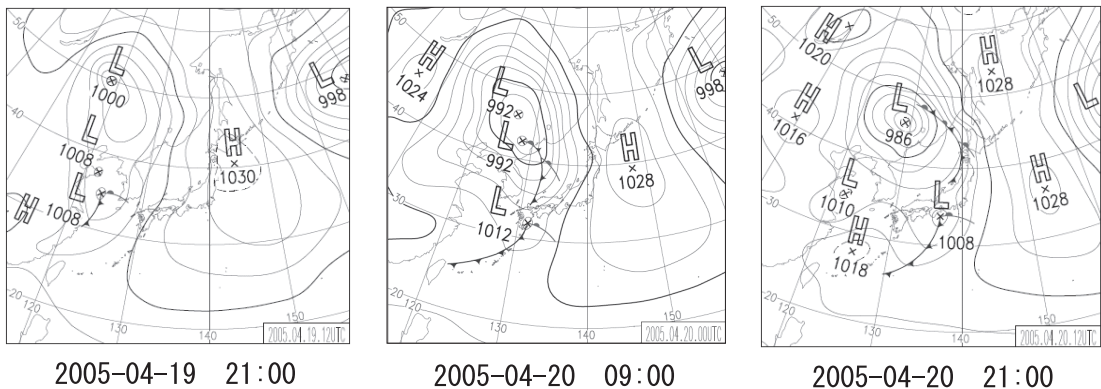
やまじ風 (Y2005) の三島消防における1時間ごとの風、気温、相対湿度、混合比を第6図に示す。観測高度は、風が17m、気温・相対湿度が14.6mである。三島消防と三島アメダスでは、気温の観測高度は異なるが、両者はほぼ一致する (第6図e)。やまじ風は一般にフェーン現象による気温の上昇を伴う。10分ごとの気温変化を示す三島



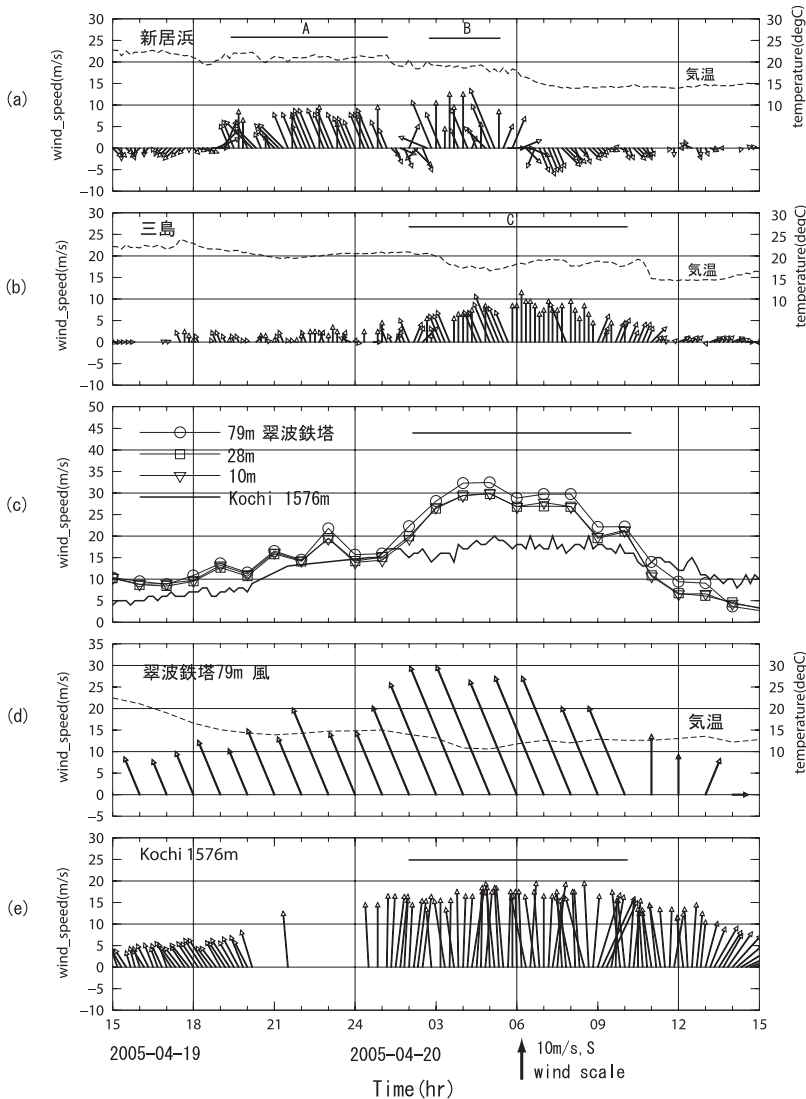
第1図 四国の地形図と東西地形断面図。断面図は石鎚山脈のほぼ中央を通る石鎚山 (標高1982m) と大菩薩山 (標高1848m) を結ぶ破線に沿って描く。大菩薩山脈は点線で示す。N: 新居浜 (旧), M: 三島, 高知 (地方気象台, ウィンドプロファイラ)。[紀井ほか (2019b) の第1図を一部改変]。国土地理院の数値地図を使用。



第2図 法皇山脈の地形図と南北地形断面図 (A, B). 断面図 A, B は破線 a, b に沿って、水平、鉛直とも同じ縮尺で描く。▼は海岸線。断面図 B の●は翠波峰の四国電力送配電鉄塔。三島南中学校 (南中, 寒川 M), 翠波鉄塔 (翠波 Y), 翠波高原 (翠波 K), 三島アメダス (三島 A), 三島消防 (三島 S, 四国中央市消防本部旧位置)。[紀井ほか (2019 b) の第 3 図を一部改変]。国土地理院の数値地図を使用。



第3図 地上天気図2005年4月19, 20日. 枠外の時刻は JST.



第4図 2005年4月19, 20日のやまじ風。風速・風向をベクトルで表し, 風向は東西-南北座標軸上の矢印で描き, 風速は矢印の長さで表す。風速の南北成分のスケールのみ左端(縦軸)に示す。気温のスケールは右端(縦軸)に示す。(a) 新居浜の風と気温(破線)。(b) 三島アメダスの風と気温(破線)。(c) 翠波鉄塔(翠波Y, 79m, 28m, 10m 高度)と高知 WPR 1576m 高度における風速。(d) 翠波鉄塔79m 高度における風向・風速と1.5m 高度における気温(破線)。(e) 高知 WPR 1576m 高度における10分ごとの10分間平均風向・風速。なお, 新居浜・三島の風は10分ごとの10分間平均風向・風速, 翠波鉄塔の風は1時間ごとの正時前10分間平均風速。横線は三島と新居浜でやまじ風が強く吹いた時間。[紀井ほか(2019b)の第8図を一部改変]。

アメダス(第6図e)には19日17時30分頃に気温の上昇が認められる。三島アメダスと三島消防では気温はほぼ一致するので, 三島消防で気温上昇が明瞭でないのは, 気温の上昇量が小さいのに加えて1時間ごとの変化を見ているためである。その後, 三島での気温は低下しているが, これは, 翠波鉄塔の気温(第4図d)が下がり続けていたことと関係していると思われる。縦の破線の間が三島で法皇山脈からの南よりの風が吹いた時間である。

三島消防の気温と翠波鉄塔における空気を断熱的に三島まで降ろしたときに示すであろう温度との比較を第6図cに示す。第6図bによれば, 翠波鉄塔での相対湿度は, 最初100%以下であったが, 20日04時頃に100%に達しそのまま継続した。しかし, 今回は, 翠波鉄塔における空気を断熱的に下降させる場合には, 雲粒の蒸発は考慮せず, 乾燥断熱減率(0.976K/100m)で高度差699mの三島まで降ろしたときの温度を求めた。この仮想的な温度(●)は, 南よりの風が始まる19日18時頃から三島消防の気温と一致するようになり, 南よりの風が継続している間は, この関係も継続した。この結果は, 三島消防での気温の変化は, 法皇山脈から下降してきた気流の断熱圧縮によるものであることを示している。白鳥(2001)は1990年代後半に発生したやまじ風5例について, 翠波鉄塔と南中における

第1表 2005年4月19, 20日のやまじ風最盛期における各地点の風の平均. 新居浜は第4図の横線 A, B の時間についての平均. その他の地点は02時~10時(第4図bの横線C)の8時間平均値. 三島消防(三島S)は10分ごとの10分間平均風向・風速と最大瞬間風速より算出, 翠波鉄塔(翠波Y)は1時間ごとの正時前10分間平均風向・風速と最大瞬間風速より算出.

地点	標高 (m)	風速計 高度 (m)	風速 (m/s)		風向	突風率	最大風速 (m/s)	最大瞬間風速 (m/s)
			A	B				
新居浜 (旧)	6	35	7.8	SSE	—	10	—	
			8.8	S	—	14	—	
三島 A	27	11	7.3	S	—	12	—	
三島 S	17	17	8.7	SSE	2.9	12.4	34.5	
翠波鉄塔	726	79	27.5	SSE	1.5	32.4	47.8	
高知 WPR		1576	17.4	S				

温位がほぼ一致することを確認している. また, 中村ほか(2002)による広戸風の調査でも山頂と麓の温位が一致することを確認している.

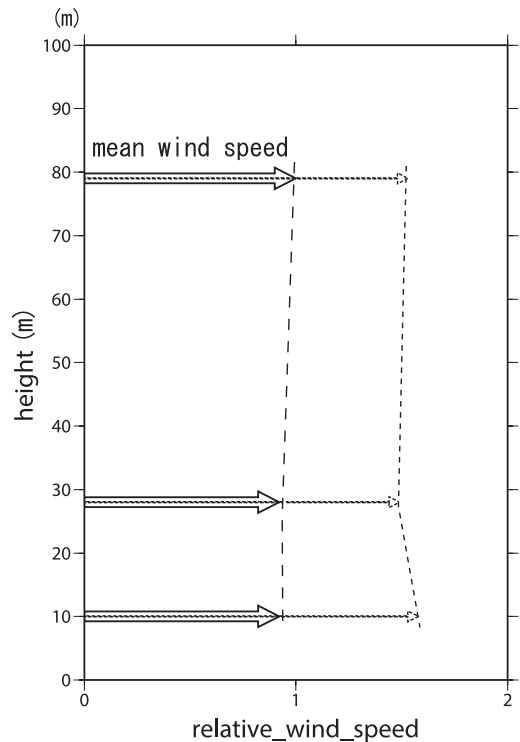
三島消防の相対湿度と翠波鉄塔の空気を仮に断熱的に麓までおろしたときに示す相対湿度との比較を第6図bに示す. 仮想的に求めた相対湿度は三島消防の相対湿度に近づき, 同じような変化を示すところもあるが, 気温で見られたような一致は見られない. この違いは混合比でも明らかである.

このやまじ風について紀井ほか(2019a)は宇摩平野および新居浜平野における風の分布の時間変化を調べている. この結果によると新居浜平野で吹き始めたやまじ風は, 宇摩平野西部・中部に広がり, さらに東部に広がった. 大阪管区気象台(1958)の報告によれば「地元では, やまじ風が吹くとき赤星山, 豊受山に, 桁(けた)雲と呼ぶ雲が懸かる. この桁雲が真北に流れると寒川・豊岡方面のやまじ風が強く, 北西に流れる時には小富士・蕪崎(第2図)方面に強く, 北東に流れる時には三島方面のやまじ風が強いと言われている」とあり, やまじ風の吹き方は山頂付近の気流が南風のときには宇摩平野中央部で強く, 南東風のときには西部で強く, 南西風のときには東部で強い, と解釈できる. これは, 翠波鉄塔の風が南南東で, やまじ風が宇摩平野の西部から東部へと広がった今回の事例にも当てはまる.

3.2 2007年5月16, 17日のやまじ風 (Y2007)

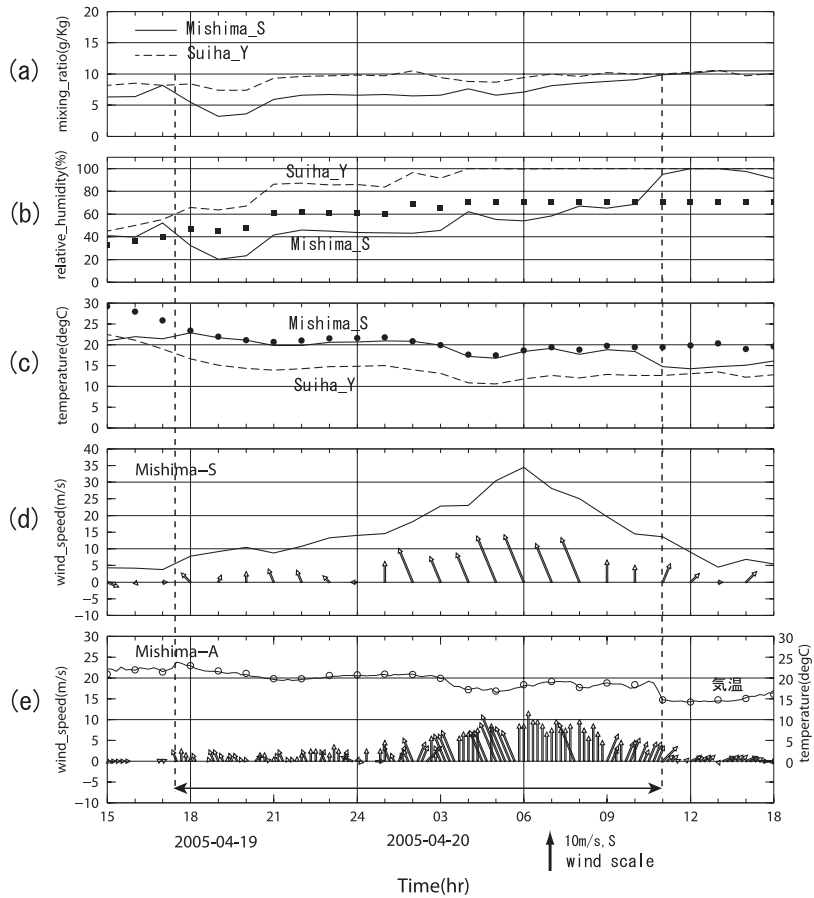
やまじ風発生前後の地上天気図を第7図に示す. 2007年5月16日, 温帯低気圧が発達しながら東シナ海から九州・四国の南の太平洋を東に進んだ. 一方, 朝鮮半島・中国大陸にも低気圧があった. やまじ風は16日24時前後に強く吹いた.

やまじ風 Y2005の場合と同様な解析を行い第8図に

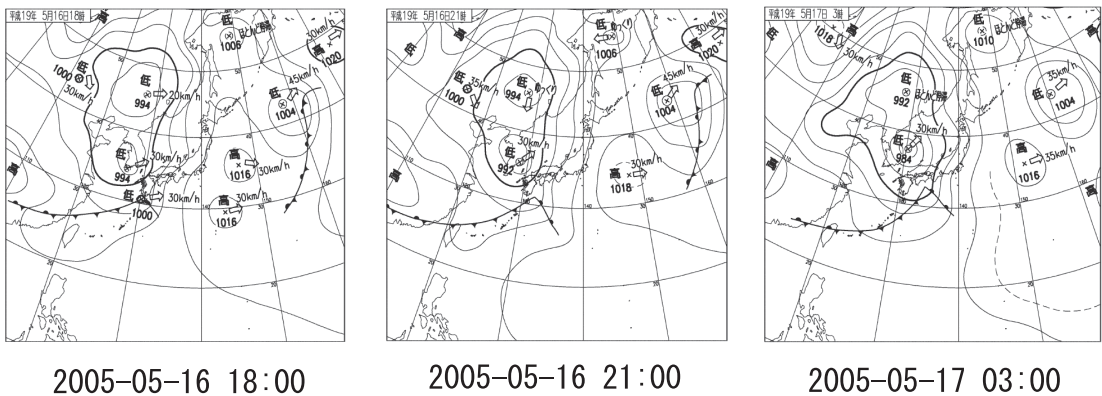


第5図 翠波鉄塔における平均風速(太い矢印)と最大瞬間風速の平均値(細い矢印)の鉛直 profile. 高度79mの平均風速(27.5 m/s)を1として, 高度28mと10mの風を規格化して表す.

示す. この事例における翠波鉄塔の気象データは, 高度79mの風のみである. このとき紀井ほか(2008)は翠波峰近くの翠波高原(第2図, 翠波K)において, 高度6mで10分ごとの10分間平均風速・風向と最大瞬間風速の観測を行っていた. そこで翠波峰近くの両地点の風の比較も行った.



第6図 三島における気象要素の時間変化 (2005年4月19日15時~20日15時). (a) 三島消防 (Mishima_S) と翠波鉄塔 (Suiha_Y) における混合比, (b) 三島消防と翠波鉄塔における相対湿度. ■は、翠波峰における大気が仮に断熱的に三島まで降りてきたときに示す相対湿度, (c) 三島消防と翠波鉄塔の気温, ●は、翠波峰における大気が仮に断熱的に三島まで降りてきたときに示す温度, (d) 三島消防における1時間ごとの前10分間平均風速と最大瞬間風速, (e) 三島アメダス (Mishima_A) における10分ごとの10分間平均風向・風速と気温. ○は三島消防の気温. 横棒 (下) は三島で南風 (山風, やまじ風) が吹いた時間.



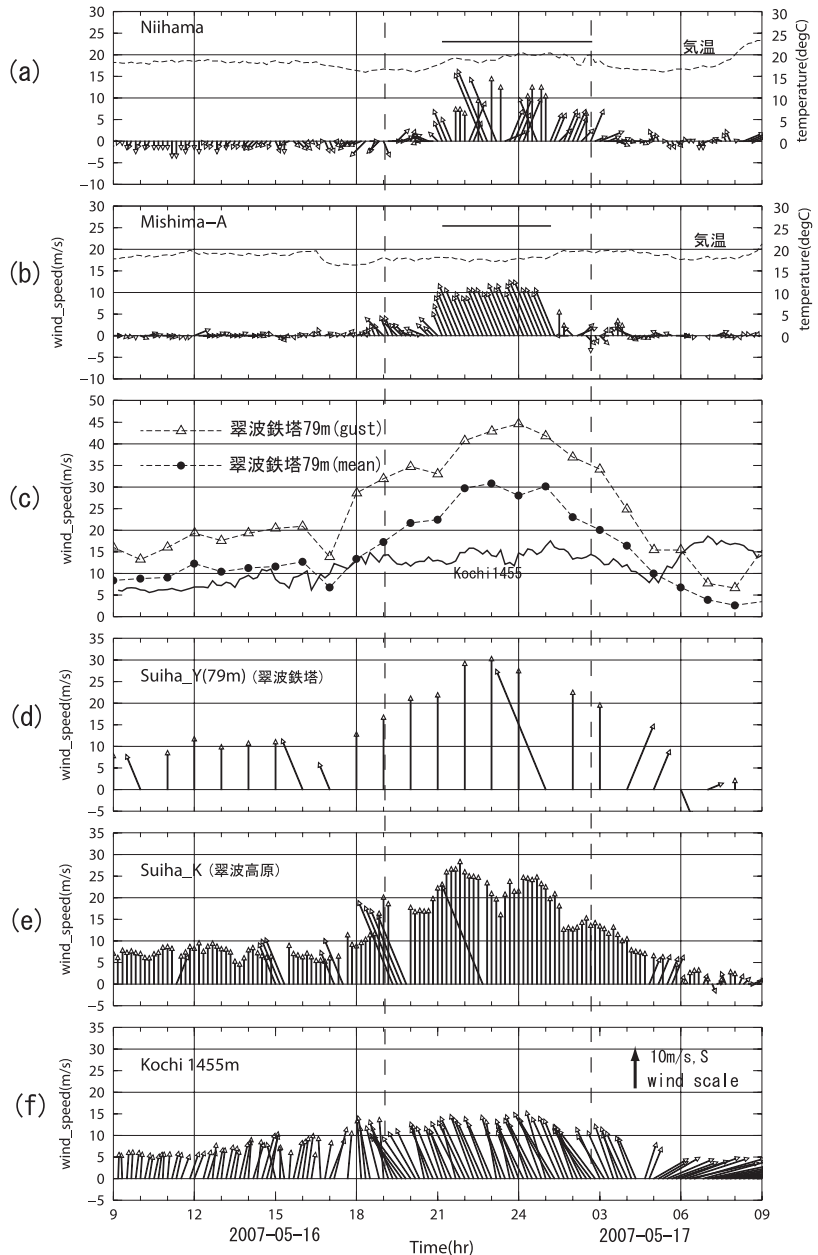
第7図 2007年5月16日から17日の地上天気図. 時刻はJST.

やまじ風は5月16日19時から5月17日03時前までの約8時間(縦の破線の間)に渡って吹いた。三島での風は南南東で風速の変動が比較的小さいが、新居浜では風向・風速とも変動が大きい。三島と新居浜でやまじ風が強かったときの各地点の風速、突風率の平均値と最大風速、最大瞬間風速を第2表に示す。翠波鉄塔では、最大風速37.5m/s、最大瞬間風速44.6m/sの風が吹いた。高知 WPR のデータは、先の Y2005 の場合と異なり1500m高度に最も近い高度が1455mであったので、この高度のデータを用いた。強風が吹いた4時間についての翠波鉄塔での平均風速は28.2m/sで、高知 WPR の平均風速14.2m/sの2.0倍となっていた。

翠波高原と翠波鉄塔とを比べると、翠波高原は、同じ屋根上にあっても翠波鉄塔より風速計高度が低く、翠波鉄塔(79m)に対する翠波高原(6m)の風速の比は、平均風速で0.82、最大瞬間風速で0.93となっていた。

3.3 翠波鉄塔・高知 WPR と麓の風の比較

やまじ風(Y2005, Y2007)について、翠波鉄塔79m高度の風に対する麓での風の強さの関係を第1表、第2表より求めて第3表に示す。2事例から翠波鉄塔に対して、アメダス地点(三島, 新居浜)を平均風速で比較すると0.3~0.4、最大風速で比較すると0.4~0.5となり、最大風速で比較する方が少し大きくなる。



第8図 2007年5月16, 17日のやまじ風。風ベクトルと気温のスケールは第4図と同じ。(a)と(b)はそれぞれ新居浜, 三島アメダスにおける風と気温、横線はやまじ風が強く吹いた時間。(c)翠波鉄塔(翠波Y)における1時間ごとの最大瞬間風速(gust), 正時前10分間平均風速(mean)および高知 WPR 1576m 高度における風速。(d)翠波鉄塔(翠波Y)における風向・風速。(e)翠波高原(翠波K)における10分ごとの平均風向・風速。(f)高知 WPR 1576m 高度における10分ごとの平均風向・風速。

第2表 2007年5月16, 17日のやまじ風最盛期における各地点の風の平均. 新居浜は16日21:10-17日02:40の5時間30分の平均値. その他の地点は16日21:20-17日01:20の4時間の平均値. 三島S (三島消防) と翠波鉄塔は第1表と同じ.

地点	標高 (m)	風速計 高度 (m)	平均風速 (m/s)	平均風向	突風率	最大風速 (m/s)	最大瞬間風速 (m/s)
新居浜 (旧)	6	35	11.4	S	—	18	—
三島 A	27	11	11.8	SSE	—	14	—
三島 S	17	17	16.1	SE	1.9	18.3	40.3
翠波高原	790	6	23.2	S	1.6	28.9	41.8
翠波鉄塔	726	79	28.2	S	1.4	37.5	44.6
高知 WPR		1455	14.2	SSE			

第3表 やまじ風 (Y2005, Y2007) について, 翠波鉄塔79m高度の風に対する麓の風の関係. やまじ風が強く吹いた時間の平均値と最大風速について比較した場合を示す.

やまじ風		翠波鉄塔	三島 A	三島 S	新居浜
Y2005	平均風速	1 (27.5m/s)	0.3	0.3	0.3
Y2007	平均風速	1 (28.2m/s)	0.4	0.6	0.4
Y2005	最大風速	1 (32.4m/s)	0.4	0.4	0.4
Y2007	最大風速	1 (37.5m/s)	0.4	0.5	0.5

第4表 やまじ風 (Y2005, Y2007) について, 高知 WPR 1500m 高度付近の風に対する麓の風の関係. やまじ風が強く吹いた時間の平均値の比較と高知 WPR の平均値(*) に対する各地点の最大風速とを比較した場合を示す.

やまじ風		高知 WPR	翠波鉄塔	三島 A	三島 S	新居浜
Y2005	平均風速	1 (17.4m/s)	1.6	0.4	0.5	0.5
Y2007	平均風速	1 (14.2m/s)	2.0	0.8	1.1	0.8
Y2005	最大風速	1 (17.4m/s)*	1.9	0.7	0.7	0.8
Y2007	最大風速	1 (14.2m/s)*	2.6	1.0	1.3	1.3

同様に, 高知 WPR1500m 高度付近の風に対する翠波鉄塔および麓の風の強さとの関係を第4表に示す. 全体として, 平均風速, 最大風速とも Y2005 よりも Y2007 の方が大きくなっている. Y2007 の場合, 高知 WPR に対して比較すると, 翠波鉄塔では平均風速で2.0, 最大風速で2.7となり, 麓では最大風速で, 1.0 を超えている.

4. まとめ

やまじ風が吹くとき, 風上側の高知 WPR1500m 高度付近の南風成分を基準とすると, 法皇山脈の翠波峰では平均風速では1.6~2.0倍, 最大風速では2.0~2.6倍の強さの風が吹いていた. このことは, 法皇山脈が四国山脈の鞍部に位置していることにより地形性収束の影響を受けて, 風速が増速されるというこれまでの

推測を支持している.

やまじ風が吹くとき, 山頂の気流がそのままの強さで吹き降りてくるのではなく, 三島地域では尾根上での3~4割程度の強さとなっていた.

やまじ風が吹くとき, 麓での昇温は, 法皇山脈の尾根上の空気が下降するときの断熱圧縮によることが確認された. 一方, 麓での相対湿度は尾根上の空気が下降したときに示すであろう相対湿度より低く, 麓での混合比は尾根上のものより小さかった.

謝辞

気象観測データを利用させていただいた四国電力送配電株式会社, やまじ風対策協議会, 四国中央市立三島南中学校, 四国中央市消防本部に感謝します. ウィンドプロファイラのデータは京都大学生存圏研究所の

データベース (気象庁データ) を利用しました。

参 考 文 献

- 紀井伸章, 寺尾 徹, 松村雅文, 森 征洋, 2008: やまじ風発生時の気象状況について (1) —統計的特徴—. 香川大学教育学部研究報告第Ⅱ部, 58, 53-84.
- 紀井伸章, 寺尾 徹, 松村雅文, 森 征洋, 2019a: やまじ風発生時の気象状況について (2) —広域的に見た特徴—. 香川大学教育学部研究報告第Ⅱ部, 69 (2), 1-44.
- 紀井伸章, 寺尾 徹, 森 征洋, 2019b: やまじ風発生時の気象状況について—2003年4月29日の事例—. 天気, 66, 799-807.
- 紀井伸章, 寺尾 徹, 松村雅文, 森 征洋, 2021: やまじ風発生時の気象状況について (3) —法皇山脈上の風—. 香川大学教育学部研究報告, 71 (4), 67-93.
- 日下博幸, 西 暁史, 2012: 日本の局地風. 日本風工学会誌, 37 (3), 164-171.
- Kusaka, H. and H. Fudeyasu, 2017: Review of downslope windstorms in Japan. *Wind Struct.*, 24, 637-656.
- 中村みゆきほか, 2002: 那岐山山頂における観測からみたおろし風 (広戸風) の発生条件. 天気, 49, 129-139.
- 岡山地方気象台, 1967: 広戸風の研究報告 (昭和42年実施の分). 岡山地方気象台, 13pp.
- 大阪管区気象台, 1958: やまじ風総合調査報告. 大阪管区気象台, 57pp.
- 齊藤和雄, 1994: 山越え気流について (おろし風を中心として). 天気, 41, 731-750.
- 齊藤和雄, 1998: おろし風. 気象科学事典, 東京書籍, 68.
- Saito, K. and M. Ikawa, 1991: A numerical study of the local downslope wind "Yamaji-kaze" in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 31-56.
- Saito, K. and M. Ikawa, 1993: A numerical study of the local downslope wind "Yamaji-kaze" in Japan, part 2: Non-linear aspect of the 3-D flow over a mountain range with a col. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 247-271.
- 白鳥 勇, 2002: 事例解析によるやまじ風の構造に関する研究. 岡山大学大学院, 平成13年度修士論文, 49pp.
- 高見佳浩, 1991: 「やまじ風」の調査—やまじ風の発生頻度について—. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (58), 18-21.