

やまじ風に付随する乱流現象「舞々風」とフェーンの特徴

寺尾 徹<sup>1)</sup>・松岡孝昌<sup>2)</sup>

Characteristics of the Highly Turbulent Wind Regime

“Maimai-kaze” and Foehn

Associated with Yamaji-kaze Events

Toru Terao and Takamasa Matsuoka

---

<sup>1)</sup>香川大学教育学部

<sup>2)</sup>香川県警察

## Abstract

Characteristics of the “Maimai-kaze”, a highly turbulent wind regime associated with the events of the downslope wind “Yamaji-kaze” were investigated using the dataset of our automatic weather stations. The Maimai-kaze index, a measure of the strength of the turbulent kinetic energy associated with this wind regime, was defined. We also proposed an objective method to determine the periods of the Yamaji-kaze and Maimai-kaze with hourly time resolution from the time series with 1-minute time interval from each weather station. The Maimai-kaze events were identified as singular phenomena with remarkably high turbulent kinetic energy and slow average wind velocity. Hours that matched the definition of Maimai-kaze never found in other strong wind events such as the winter cold surge. It was shown that the Maimai-kaze started before the onset of Yamaji-kaze, and that it continued even more than several hours without Yamaji-kaze. The onset of the foehn well corresponded with that of Maimai-kaze. The timing of appearance and disappearance of Yamaji-kaze and Maimai-kaze were largely different for two automatic weather stations with only several kilometers distance. The turbulence transferred northward momentum westward out of the core region of the Yamaji-kaze southerly wind.

## 1. はじめに

やまじ風は、ひうち灘に面する宇摩平野の愛媛県四国中央市付近に四国山塊をこえて吹き降りる南風が、一定の条件のもとで局地的に強化されて観測される強風である。岡山県の広戸風、山形県の清川ダシとともに日本三大局地風の一つに数えられる、愛媛県四国中央市を中心に局地的な強風をもたらすおろし風の種類である。気温の顕著な上昇（フェーン）を伴う。最大瞬間風速  $60\text{ms}^{-1}$  を超えるやまじ風も報告されており、死傷者などの人身被害、家屋倒壊、農作物への被害、交通機関の不通など沿岸環境への影響は多方面に亘る(高見, 1993)。根菜の栽培と名産化・屋根の置き石などの文化的対応もみられる(大阪管区気象台, 1958; 深石, 1992)。やまじ風は、中央構造線による平均勾配 3/10 の断層崖（1000m を超える法皇山脈の稜線から、ひうち灘の海岸線までわずか 4km）を駆けくぐる、世界的に見ても特徴的な局地風である。

大阪管区気象台(1958)は、やまじ風の特徴を以下のように報告している。最大風速  $5\sim 15\text{ms}^{-1}$  のやまじ風が多いものの、 $15\text{ms}^{-1}$  以上のやまじ風も年に 2~5 回発生する。継続時間が長くなるにつれ最大風速も大きくなる傾向を示し、継続時間が 9 時間以上になると風速が急に大きくなる傾向がある。一方、3 時間以内の短いやまじ風は最大風速が  $10\text{ms}^{-1}$  以下であり、強くても  $15\text{ms}^{-1}$  には達しない。フェーン現象を伴い、相対湿度が低下する。また、低温時のフェーンによる昇温は、高温時のフェーンのものよりも大きい。

やまじ風発生時の総観場は以下のようにまとめられている(大阪管区気象台, 1958)。3 月から 6 月にかけての季節には温帯低気圧による場合が、9 月から 10 月にかけての季節には台風による場合が多くなる。春先の低気圧によって最大風速が  $15\text{ms}^{-1}$  以上になったやまじ風の低気圧の経路図を分類すると、以下の 4

つのパターンがある。①朝鮮半島中部または北部を横切って日本海に入る場合。②朝鮮半島南部または対馬海峡を経て日本海に入る場合。③太平洋側を通る場合。④日本海側と太平洋側とを同時に通る場合。三島南中学校における観測データで最大瞬間風速が  $30\text{ms}^{-1}$  以上を記録するやまじ風の低気圧の位置は、東経  $132\sim 134$  度、北緯  $34\sim 42$  度の範囲に集中する(深川, 1981; 深石, 1992)。9月から10月にかけてのやまじ風の多くは台風が原因となって発生し、台風が四国の西ないし北西側を経路としたときに発生している(秋山, 1956; 大阪管区気象台, 1958)。

もっとも強い風が見られる四国中央市寒川地区の三島南中学校で、やまじ風の観測が継続されてきた。このデータを軸に、周辺の観測データをあわせて用いることで、やまじ風のメソスケール構造に関する知見が得られてきている。やまじ風は東から西へ広がること、昼前後から夜間に見られやすいこと、気圧に震動が見られることなど、単純だがまだ理由が十分理解されていない事実が指摘されている(高見, 1991)。

やまじ風の前後には、舞々風（あるいは迷い風）と呼ばれる独特の風の乱れがあることが報告されている。大阪管区気象台(1958)は、

やまじ風が吹きはじめた時には山麓平野では風向が区々に変転し、  
Gust（風の息）が烈しいので砂塵を捲上げるが、これはやまじ風前線に  
起きるものであろう。

と特徴づけている。また、同報告書は、「やまじは玉になって吹く」という現地の人の話を紹介し、瞬間風速が平均風速に比べて通常よりも強く現れる可能性を指摘している。舞々風は、やまじ風が吹き始めたときに山麓平野で風向が乱れながら吹くこと。風速も頻繁に変動し、砂塵を巻き上げることがあると記している。

やまじ風に付随して発生するその他さまざまな風現象（誘い風、やまじ風前線、どまい）について、大阪管区気象台(1958)は以下のように述べている。誘い風は、やまじ風が起こる前に法皇山脈の北麓地方で吹く北寄りの風のことで、風速は  $7 \text{ ms}^{-1}$  以下と弱い。やまじ風にはやまじ風前線という境界線があり、この前線より風上側（南側）で風速が強く、風下側（北側）では弱いことが知られている。舞々風は、このやまじ風前線の変動に従って起きるのではないかと考えられている。やまじ風が海上数キロまでおよんだとき、それより沖合で北東から吹く風も知られ、地元の漁師はこれを「どまい」と呼んでいる。

これらの報告は、やまじ風の付随現象の存在を明らかにしている。やまじ風前線や、海上における風の及ぶ範囲等の記述は、十分な数のない観測機器によってはとらえきれない特徴を示すもので貴重である。特に「舞々風」の報告は、通常よりも強い風の乱れが存在する可能性を示唆している。しかし、風の乱れを明らかにするには、細かい時間間隔で風速や風向の変化を観測する必要があるので、舞々風に対応する現象をデータの中から見出すことはこれまで困難であった。

この間、われわれの研究チームと地元の協調による観測の充実と、メソスケール気象現象の数値モデルを利用した諸研究により、より詳細な時空間構造に関するさまざまな新しい知見が得られつつある。

2006年と2007年には、三島南中学校および、そこから5kmほど西へ離れた土居地区に、1分間隔で風向風速、気温等を自動観測できる装置も導入した。これらの観測を用いた解析結果は、紀井ら(2008)、寺尾と森(2008)、松岡ら(2008)、松岡(2009)などにもまとめられている。

紀井ら(2008)は、やまじ風前後の突風率について報告している。2006年4月10、11日に見られた顕著なやまじ風事例について突風率の変化を調べた結果、

調査した 2 地点についていずれもやまじ風発生前後に突風率が大きくなる傾向があることが示された。やまじ風の最盛期には、発生前後と比較して必ずしも突風率は大きくない。

一方、数値モデルを用いた研究(Saito and Ikawa, 1991; Saito, 1993, 1994)からは、観測だけからは得ることの難しかったいくつかの新しい仮説が提示されている。たとえば沖合にメソ低気圧が発生することや、海岸線の影響を強く受けたやまじ風前線の詳細な動向など、観測による検証が求められる。

このような強いおろし風が生じる理由については、構造物を過ぎる流れに生じる「跳ね水」現象によってしばしば説明される。山などの構造物を過ぎる流れは、大気安定度や風速分布などが一定の条件を満たしたとき、その鉛直方向の厚みを減じながら重力の作用で加速されることがある。その後、構造物の風下側の一定地点で流れはその厚みを急激に増し減速する。

やまじ風に付随する多様な現象は、跳ね水現象と関連づけて説明することもできる(斉藤, 1993, 1994)。跳ね水に伴う上昇流によって、この現象が生じているところより海側では、瀬戸内海の燧灘から北よりの風が吹き込んでくる。これが誘い風に対応する。この北よりの風とおろし風の間には風系の不連続が生じ、この不連続線をやまじ風前線とみなしうる。舞々風について斉藤(1993)は、やまじ風前線の移動に伴う風の変動によって説明している。

しかし、舞々風については、跳ね水付近に生じる乱流によって解釈することも可能ではないかと考えられる。このようすを図 1 に模式的に示す。跳ね水としてのやまじ風と、そこに生じる舞々風、フェーンについては、それぞれ高速気塊、高乱流運動エネルギー気塊、高温低湿気塊として理解することが可能である。舞々風が吹き降りてきた高速気塊内の乱流の成長によって生じるとすると、舞々風とフェーンとは対応することが予想される。舞々風がひうち灘側の

大気と吹き降りてきた大気の混合の結果としてあらわれているとすると、フェーンとの対応は不明確になると予想される。

本研究は、四国中央市に設置した複数の自動気象観測装置によって得られたデータを利用し、やまじ風に付随して発生する舞々風にもなう強い乱れを確認することを目的とする。1分平均風向風速データを用いて数分スケールの風の乱れを定量化する。この時間スケールで見られる風の乱れについて、その他の強風の場合には見られない特異な性質と強度を示していることを示す。こうした乱流の強度を示す指標をもちいた「舞々風インデックス」を基準に、1時間単位で舞々風の有無を定義する方法をあらたに提案する。

## 2. 観測データ

本研究は、愛媛県四国中央市のある愛媛県東部を対象とする。対象地域を図2に示す。この地域は、山麓から海岸までの距離が1~2km程度の東西に細長い平野部となっている。平野部は西条平野、新居浜平野、宇摩平野に分かれる。この中で、やまじ風が強く吹くのは宇摩平野である。宇摩平野のすぐ南には法皇山脈があり、1000~1500m級の山々が東西に連なっている。法皇山脈の南側には、石鎚山脈が東西に伸びている。宇摩平野の南側の山地一帯は、四国山地全体からすると、西の石鎚山(1982m)と東の剣山(1955m)の間に位置し標高が低く大きな目で見ると鞍部となっている。また、法皇山脈の北側斜面は、石鎚大断崖となっている。ひうち灘に面する宇摩平野の海岸線が当該地域で南に大きく引っ込んでいるため、平野部の幅が特に狭いという特徴がある。

われわれは、強いやまじ風の吹くことで知られるこの四国中央市一帯に、自動気象観測装置や自動風向風速計を展開し、観測を実施してきた。特に、三島

南中学校（以下南中）と樋ノ口集会所（以下樋ノ口）では、1 分間隔の気象データを集録している。これらの観測点は、風の乱れを明らかにする上で重要な基礎データを提供している。樋ノ口集会所、三島南中学校の測器について表 1 に、設置状況について図 3 に示した。

本研究では、これら 2 地点の風速のデータのうち、2008 年のものを主に用い、一部 2009 年のものを援用した。南中のデータに関しては、観測装置を設置している施設に発生した停電や、データ集録装置のトラブルなどによる欠測がある。また、樋ノ口についても、データ処理上のトラブルや装置の停電等による欠測があるが、今回解析対象としたケースについては、特に欠測なくデータが取れている。データロガーの時計のずれが最大 1 分程度ある可能性がある。しかし、今回の解析では各観測点における現象の生起時刻の相互比較は数十分程度以上のタイムスケールで行うので、時計のずれは考慮しない。

### 3. やまじ風と舞々風の定義

2008 年の春にもっとも典型的なやまじ風は、5 月 18 日から 19 日にかけての事例である。まず、この事例について、やまじ風と舞々風、フェーンの関係概観し、やまじ風と舞々風の定義をおこなう。

図 4 に、樋ノ口における風の南北成分、東西成分と気温の観測値を示した。18 日の 19 時ころから 20 日の 15 時ころにかけて時折南寄りの強風が観測されている。しかし、この強風はかなり間欠的で、数時間以上のあいだ中断している。18 日 19 時半頃から 21 時頃にかけては南風成分が大きく、やまじ風の吹走時間と考えてよさそうである。やまじ風発生の少し前から気温の上昇が見られ、フェーン現象が発生していることを示している。対応して風速の大きく変



動する非常に乱れの大きな時期が見られる。よく見ると、強風が始まるよりも以前の18日の18時前ころに急激に乱れは大きくなっている。舞々風がやまじ風に先んじて現れている様子を示しているものと考えられる。興味深いことに、風の乱れの増加とフェーン現象の開始とが対応しているように見える。風の乱れは、やまじ風の最盛期のころだけでなく、やまじ風が一時的に中断しているようにみられる19日の2時ころから11時半ころにかけての時期や、南風成分がふたたび大きくなった11時半ころから15時ころにかけての時期などにもみられる。この時期は、必ずしも風速の絶対値が大きくないにもかかわらず、乱れが大きくなる。舞々風は、やまじ風の発生前だけでなくその前後にも、数時間以上の広がりを持って観測されるものであることがわかる。また、フェーン現象の発生時期の特定には困難が伴うものの、風の乱れの大きさの変動や、強い南風成分の出現などと全体として良い対応を示していることは確認できる。

図5に、南中における観測結果を示す。やまじ風はより顕著であり、乱れもはっきりしている。やまじ風の始まる18日の17時ころよりも数十分まえから乱れの大きな時期が始まっている。やまじ風の中絶の時期にも乱れが継続することなど、特徴の多くが樋ノ口と共通している。ただ、18日のやまじ風、フェーンの開始のタイミングは1時間近く早い。ここでは、やまじ風の発生、舞々風の発生、フェーンの開始がほぼ同時となっている。

以上のような観測値からやまじ風と舞々風の発生期間を客観的に定義する方法を以下検討し、提案する。上記の考察に対応するタイムスケールは、約1時間である。したがって、やまじ風と舞々風の発生期間の判定は、毎正時前1時間の期間ごとに行うこととする。

やまじ風の定義は、秋山(1956)による以下の定義

- ① 主風向（もっとも風が強いときの風向）がSE～SWの間にあること

② フェーン現象を伴っていること

③ 風速がその前後に比べて多少とも増加していること

が用いられている。高見(1991), 白鳥(2000, 2002), 紀井(2008), 紀井ら(2008)などの統計的解析では, 平均風速  $5\text{ms}^{-1}$  を風速の閾値として採用した。用いられる風速の値は, 風速の平均期間, 風速計の設置地点の高さや位置, 周辺の状態等によって影響を受けるが, ここでは観測地点にかかわらない時間単位のやまじ風定義を以下の通り行うこととする。毎正時前1時間の平均風向・風速が以下の条件を満たす場合をやまじ風発生期間と定義する。

① 前1時間16方位平均風向がSE~SWの間にあること

② 前1時間平均風速が  $5\text{ms}^{-1}$  以上あること

ここで平均風向, 平均風速は, その期間の風のベクトル平均にできるだけ近い定義を採用するものとする。樋ノ口, 南中ともに, 前1分間のベクトル平均風向, 風速の値が得られるので, これらから東西風, 南北風成分を計算することにより, 前10分間, 前1時間のベクトル平均風向, 風速を求める。また, フェーンの定義は客観化が難しい。そこで, 上記の定義を満たす事例を見いだした後でフェーンとの対応を議論することにより, 伝統的なやまじ風定義との異同を確認する方法をとる。

舞々風の特徴に対応する風の乱れを定量化するため, 以下のように「舞々風インデックス」を定義する。まず毎正時から10分ごとに, 前10分間分の前1分間平均風速10個分を平均して, 東西・南北成分ごとに前10分間平均風速  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$  を計算する。さらに, 同じ10分間の前1分間平均風速のデータについて不偏分散  $\sigma_u^2$ ,  $\sigma_v^2$  を計算し, その和の平方根  $m = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$  を舞々風インデックスと定義する。従って, 舞々風インデックスは, 毎正時から10分ごとに前10分間の風の乱れの大きさを表す物理量として定義される。

樋ノ口における 2008 年 5 月 18-19 日の舞々風インデックスの時間変化を、図 6a に示す。5 月 18 日 18 時前に突然大きな値になり、その後翌日の 14 時ころまで継続している様子が分かる。途中 19 日 5 時ころから 11 時ころまで少し値が小さくなっている。図 4a, b に示した風の乱れの様子を端的に表す量になっている。図 6a の舞々風インデックスの増加と図 4c のフェーンに伴うと考えられる気温の急激な上昇がよく対応している。図 6b には南中の舞々風インデックスの時間変化を示した。樋ノ口に約 1 時間先んじて風の乱れが増加している様子がわかる。ここでも、図 6b の舞々風インデックスの増加と図 5c の気温の急激な上昇とがよく対応している。フェーンややまじ風の動向と対応しながら、舞々風インデックスも変動をしていることがわかる。一般的に、やまじ風による南よりの強風が見られるときは、やはり舞々風インデックスも大きく、風の乱れが大きいことを示している。

舞々風発生期間を以下の通り定義する。

- ① 前 1 時間平均風速が  $5\text{ms}^{-1}$  未満であること
- ② 前 1 時間の  $m$  の自乗平均の平方根が  $2\text{ms}^{-1}$  以上であること

舞々風は平均風向の定まらない状態のもとでの風の乱れの大きい状態を表すので、上記①の条件を定めている。この条件により、やまじ風発生期間と舞々風発生期間とは排他的となる。

②の条件の意味を示すため、図 7 に、樋ノ口のデータによる 10 分間平均風速と舞々風インデックスとによる散布図を示した。図 7d は強いやまじ風の見られた 2008 年 5 月 18-19 日のデータから作成したものであり、大きな風の乱れが観測されている。一方、図 7a に示した 2008 年 2 月 23 日は強い冬の季節風が見られた事例である。この図からも明らかなように、やまじ風に付随する風の乱れはきわめて特異なものである。冬の季節風に伴う風の乱れ(図 7a)は、前 10 分

間平均風速の増加に伴い増加する常識的な関係性を示している。ところが、やまじ風に付随する強い風の乱れ(図 7d)は、前 10 分間平均風速とほぼ無相関である。特に、平均風速が  $5\text{ms}^{-1}$  を下回る非やまじ風発生期間において特異性が際立っている。冬の季節風の際には、 $5\text{ms}^{-1}$  を下回る平均風速の場合に舞々風インデックスが  $2\text{ms}^{-1}$  を超える事例は皆無であるのに対して、やまじ風に付随する風の乱れに対応する舞々風インデックスは、 $2\text{ms}^{-1}$  を大きく超過している。図 7b は、2008 年 4 月 16-17 日の事例である。この日  $5\text{ms}^{-1}$  を超えることはほとんどなく、やまじ風発生の定義を満たすことはなかった。ところが、風の乱れは大きく、舞々風のみが見られる日となっていることがわかる。図 7c は、2008 年 5 月 15 日の穏やかな晴天日の典型的な風の状況を示したものである。風速はおおむね  $3\text{ms}^{-1}$  以下でおだやかであり、風の乱れも小さい。風速の増加に伴って風の乱れが大きくなる一般的傾向は、この図からも確認できる。

以上をまとめると、以下のことがわかる。風速  $5\text{ms}^{-1}$  未満の非やまじ風発生期間において、 $2\text{ms}^{-1}$  を上回る舞々風インデックスが観測される事例が見られること。それはやまじ風発生の前後に付随してみられる、強い冬の季節風の際などには見られないこと。そして、やまじ風に必ずしも付随しない舞々風も見られることもわかる。これらの考察を背景に、舞々風の②の定義における閾値を決定した。

#### 4. 典型事例の解析

典型的な 2008 年の 2 つのやまじ風事例について、樋ノ口と南中における観測結果を以下に示す。湿度観測のある樋ノ口を先に示した。また、図 7a に示した冬型の気圧配置による強い季節風が吹いた 2008 年 2 月 23 日の事例を、対照事

例として示す。図 7b に示した、舞々風だけが見られる 2008 年 4 月 16-17 日の事例についてさらに触れる。

2 つのやまじ風事例は、2008 年のうち、南中におけるやまじ風発生期間が比較的長く継続したものを採ることによって決定した。

#### 4.1. 2008 年 4 月 6-7 日に発生したやまじ風

図 8 に、この事例に対応する期間の地上天気図を示す。4 月 6 日 9 時、東シナ海にあった 1012hPa の前線を伴った発達中の温帯低気圧が東進し、4 月 7 日 9 時には、中心気圧 1010hPa と勢力を強め、紀伊半島の南の海上に移動した。九州には新しく 1006hPa の低気圧が発生し、揚子江と太平洋の高気圧に低気圧がはさまれるような気圧配置になっている。四国地方では、低気圧とその前面の移動性高気圧との間で等圧線が南北に並び、気圧の谷の前面に南風が吹き込む気圧配置になっており、やまじ風が発生したと考えられる。東シナ海を經由して日本の太平洋側を東進する低気圧の役割が重要な役割を果たしている。

##### (1) 樋ノ口集会所

樋ノ口でのやまじ風発生時の気象要素の変化を図 9 に示す。やまじ風発生期間、舞々風発生期間をそれぞれ□、■で表している。

この地点のやまじ風は、4 月 7 日 1 時から同日 2 時にかけての短い時間の間発生している。図 9a を見る限り、継続時間は 2 時間弱程度と見られる。最大 10 分間平均風速は 4 月 7 日 1 時 40 分の  $8.2\text{ms}^{-1}$ 。やまじ風時前後の最大瞬間風速は 4 月 7 日 1 時 19 分の  $16.1\text{ms}^{-1}$  である。また、やまじ風が終息した後、4 時から 8 時まで間欠的に舞々風が発生している。舞々風発生期間の最大瞬間風速はやまじ風発生期間よりも大きく、 $16.5\text{ms}^{-1}$  に達している(7 時 46 分)。やまじ風発生に伴い、乱れの大きさの値の増加とフェーン現象による気温の  $4^{\circ}\text{C}$  くら

いの上昇(図 9c), 相対湿度の低下と, 比湿のわずかな低下が見られる(図 9d). 4時半頃から 8時半頃までの期間についても気温が上昇, 相対湿度と比湿が低下しており, 舞々風とよく対応している(図 9a). やまじ風発生より 2時間ほど前から, ときおり乱れの大きさが  $1\text{ms}^{-1}$  を越える高い値を示しており, 舞々風の定義には到達しないものの, 風の息の大きい状態が始まりつつあることがわかる.

## (2) 三島南中学校

4月 6-7日のやまじ風事例における南中での気象要素の変化を図 10 に示す. やまじ風は, 4月 6日 22時から 7日 9時にかけて, 間に舞々風発生期間を 1時間挟んで約 11時間継続している. 最大 10分間平均風速は 4月 7日 4時 20分の  $11.7\text{ms}^{-1}$ . 最大瞬間風速は 4月 7日 4時 13分の  $25.9\text{ms}^{-1}$  である.

やまじ風が始まる前に, 前兆的な舞々風発生期間が 1時間ほどある. 平均風の東西成分は小さく, 風向がほぼ南であったことを示している(図 10b). 舞々風の発生した 21時からやまじ風がいったん終息した 7日 9時ころにかけて気温も上昇していた. フェーン現象は, やまじ風と舞々風の両方に対応して発生している(図 10c). すなわち, フェーン現象をもたらす高温気塊は, やまじ風の強風域だけではなく, その周辺の舞々風の吹く乱流域も覆っている.

樋ノ口でのやまじ風やフェーン現象の発生や, 舞々風インデックスの値の増加は, 南中よりも 3-4時間ほど遅れている. 樋ノ口でやまじ風が発生していた 7日 1時から 2時ころは, 南中ではむしろ平均風速の小さい舞々風発生期間に当たる. やまじ風は南中では 9時頃に終息したが, 樋ノ口ではその少し前の 8時頃に舞々風が終息していた.

南中では 14時から 15時までふたたびやまじ風が発生し, 舞々風インデックスと気温の上昇が見られた(図 10a, c). これにほぼ同期して樋ノ口でも舞々風インデックスの増加と気温の上昇, 湿度の小刻みな変化がみられた(図 9a, c, d).

やまじ風がそれぞれ終息した後の 10 時から 11 時頃と 13 時から 14 時頃に、大きな西風成分を持った強風が見られ 1 時間ほど継続している(図 9b, 図 10b), 古くから知られる「かえし風」に当たるものと思われる. 平均風速や最大瞬間風速ではやまじ風にも匹敵しているが, 舞々風インデックスの値は比較的小さめである(図 9a, 図 10a).

#### 4.2. 2008 年 5 月 18-19 日に発生したやまじ風

図 11 に, この事例に対応する期間の地上天気図を示す. 5 月 18 日 9 時, 大陸東岸にあった 1004hPa の温帯低気圧が東進して発達しながら朝鮮半島を横断, 5 月 19 日 9 時ごろには日本海を東進し, 中心気圧 998hPa と勢力を強めた. この事例では以下でも述べるが, 二つのやまじ風が連続して吹いた. 一つ目のやまじ風は, 5 月 18 日 20 時頃に最盛期を迎えており, 日本の西に到達した気圧の谷の前面の南風域内において, やまじ風が発生したものと考えられる. 二つ目のやまじ風は, 5 月 19 日正午に最盛期を迎えており, 勢力を強めながら日本海を東進する低気圧に吹き込む南風の影響により発生したものと考えられる. 低気圧の中心位置も, 大阪管区气象台(1958)や深川(1981)が示したやまじ風の強く吹く際の代表的な低気圧の通過領域である東経 132-134 度, 北緯 34-42 度の範囲に対応している.

##### (1) 樋ノ口集会所

樋ノ口での気象要素の変化を図 12 に示す. この地点では, 5 月 18 日 20 時から 22 時にかけて一回目のやまじ風が発生しており, その前後の 5 月 18 日 17 時から 19 日 7 時にかけて舞々風が継続している. その後 19 日 11 時までの中断を挟んで再び舞々風が発生し, 14 時から 15 にかけてのやまじ風を最後に一連の現象は終息している(図 12a). やまじ風が発生途中で中断する他の事例につい

ては、深川(1981), 白鳥(2002), 紀井(2008)にも紹介されている。この期間における最大 10 分間平均風速は 5 月 18 日 20 時 10 分の  $9.8\text{ms}^{-1}$ 。最大瞬間風速は、前半の期間に関しては 18 日 20 時 11 分の  $20.0\text{ms}^{-1}$ , 中断を挟んだ後半については、舞々風発生期間の 19 日 11 時 30 分の  $21.6\text{ms}^{-1}$  である。

舞々風発生は 18 日 20 時頃のやまじ風発生より約 3 時間前である。海風の名残と見られる北風と連続するように弱い北風の平均風の状態が続き(図 12b), 20 時前のやまじ風発生を迎えた。フェーンに伴う気温の上昇と湿度の低下は、舞々風の開始と同時に始まっており(図 12c, d), やまじ風の開始と気温や湿度の変化とは特に対応しない。19 日 4 時頃からは北西風が卓越し(図 12b), 一時的な気温の低下もみられる(図 12c)。舞々風の終息後、フェーンは一時中断する。

19 日 11 時頃の舞々風の再開とほぼ同時にフェーンを示す気温の上昇と湿度の低下が見られ、やまじ風終息から約 1 時間後の 16 時頃まで継続する(図 12c, d)。「かえし風」に対応する西よりの風は明確には確認できない。

## (2) 三島南中学校

5 月 18-19 日のやまじ風事例における南中での気象要素の変化を図 13 に示す。やまじ風は、5 月 18 日 17 時から 19 日 6 時にかけて、舞々風による 1 時間の中断を挟んで約 13 時間継続している。やまじ風発生前の 16 時頃から舞々風が先んじて始まっており、やまじ風終息後の 3 時間、9 時頃まで舞々風が継続している。1 時間のあいだ現象は中断するが、10 時頃から 14 時頃まで再びやまじ風が発生し、その後 15 時頃まで約 1 時間舞々風期間が続いている(図 13a)。19 日 9-10 時頃の中断の前と後についてそれぞれ最大平均風速と最大瞬間風速を記す。中断前の最大 10 分間平均風速は 5 月 18 日 23 時 00 分の  $13.6\text{ms}^{-1}$ 。最大瞬間風速は 19 日 1 時 26 分の  $34.5\text{ms}^{-1}$  である。中断後の最大 10 分間平均風速は 19 日 11 時 30 分の  $13.0\text{ms}^{-1}$ 。最大瞬間風速は 19 日 12 時 33 分の  $26.6\text{ms}^{-1}$  である。



中断前の 18 日 17 時 10 分頃から 19 日 2 時 20 分頃までは、 $10\text{-}12\text{ms}^{-1}$  の非常に安定した南風が吹いている(図 13b).

フェーンの開始タイミングはやまじ風よりもわずかに早く、舞々風の開始との対応が良い(図 13c). 19 日 9 時頃の舞々風の終息の 1 時間ほど前、気温が 2 度ほど低下している. 10 時頃のやまじ風の再開とともに、気温の上昇が見られる. 気温の上昇は舞々風の終息後約 1 時間継続している.

フェーンおよび舞々風の開始は樋ノ口よりも 1 時間ほど早い(図 12, 13). フェーンは樋ノ口の方が早く終わっているように見える. 中断後のやまじ風・舞々風の再開もやはり南中の方が 1-2 時間ほど早い.

やまじ風発生 of 30 分ほど前から、風速の絶対値が小さいにも関わらず、舞々風インデックスの増加とフェーン現象によるとみられる気温の上昇がある(図 13b, c).

#### 4.3. 冬型の気圧配置による季節風とやまじ風の比較

やまじ風発生時に風の乱れの大きい状態が観測されることが示されたが、このようなことは強風が発生する場合には一般的に見られることなのではないかという疑問が生じる. そこで、強風発生前後の風の乱れが、やまじ風に固有の特徴を有するかどうかを検証するため、やまじ風と同じ程度の風速の絶対値がある冬型の気圧配置による季節風と比較した.

2008 年に起こった冬型の気圧配置による季節風のうち、三島アメダス、樋ノ口、南中でいずれももっとも 10 分間平均風速が大きく、持続時間が長かった 2 月 23-24 日のケースを比較対象とした.

図 14 に、冬の季節風の吹いたこのケースに対応する期間の地上天気図を示す. 2 月 22 日 21 時に日本海西部で発生した低気圧が 23 日には急速に発達しながら

夕方、津軽海峡付近に達した。このとき中心気圧は 992hPa となり、22 日 21 時から 24 時間で 28hPa 低下した。冬型の気圧配置が強まり、西日本では、23 日の午前中から風が強まった。四国地方の瀬戸内海沿岸には西よりの強い季節風が吹いた。

この事例について、樋ノ口(図 15)、南中(図 16)の気象要素の時系列を示す。両方の観測点ともに、23 日 3, 5, 6 時頃にほぼ同じ強さの一時的な強風を同時に観測したあと、8 時頃から急速に西北西の季節風が強まって 10 時頃にはほぼピークに達し、10 分間平均風速  $5\text{ms}^{-1}$  を超える季節風が終日継続している。樋ノ口の最大 10 分間平均風速は 2 月 23 日 16 時 20 分の  $9.1\text{ms}^{-1}$ 。最大瞬間風速は 23 日 11 時 13 分の  $20.0\text{ms}^{-1}$ 。南中の最大 10 分間平均風速は 2 月 23 日 10 時 10 分の  $10.7\text{ms}^{-1}$ 。最大瞬間風速は 23 日 9 時 59 分の  $20.4\text{ms}^{-1}$  である。風向は西または西北西(図 15b, 16b)。10 分間平均風速は途中で大きな変化はなく  $6\text{-}10\text{ms}^{-1}$  で安定している。

乱れの大きさの値は、風速の増大に対応して徐々に上昇しており、最大  $2.0\text{-}2.6\text{ms}^{-1}$  に到達する。気温は、風速が増大したあと夕方になるにつれて徐々に低下している(図 15c, 16c)。

冬型の気圧配置による季節風時の舞々風インデックスの大きさは、平均風速が  $10\text{ms}^{-1}$  近くになっても最大  $2.5\text{ms}^{-1}$  程度であった。それに対して、やまじ風事例の場合は  $2.5\text{ms}^{-1}$  を大きく超える舞々風インデックスがしばしば観測された。特に、舞々風事例のように、平均風速  $5\text{ms}^{-1}$  未満のケースにおいても、頻繁に  $2.5\text{ms}^{-1}$  を超える舞々風インデックスが観測された。このようなことは冬の季節風のケースでは見られなかった。風速の増大前や減少後における乱れの大きさの増大も冬の季節風のケースには見られなかった。これらのことは、やまじ風が特異な風であることを示している。

#### 4.4. 舞々風だけが観測されるケース

2008年の舞々風発生日の中には、やまじ風の発生が見られず、舞々風だけが長時間持続するケースも複数見いだされた。その特に典型的なものとして、2008年4月16-17日の事例について以下に特徴を示す。

図17に、舞々風だけが観測されたケースの地上天気図を示す。4月16日に東シナ海で前線上で発生した低気圧は、発達をしながら17日の朝には日本の南岸へと到達した。四国付近は低気圧前面の移動性高気圧との間の南風域に入っており、山越え気流が吹きやすい条件にあった。やはり低気圧の前面の南風によるやまじ風の発生が見られた4月6-7日のやまじ風ケースの天気図(図8)と似ている。

この事例について、樋ノ口(図18)、南中(図19)の気象要素の時系列を示す。両方の観測点ともに、やまじ風の発生は見られなかった。しかし、樋ノ口では16日20時から17日3時にかけて、南中では16日18時から17日10時にかけて舞々風が継続した。10分間平均風速を見る限り、風は強くないように見える。実際、舞々風発生期間中の最大10分間平均風速は、樋ノ口では16日23時40分の $5.1\text{ms}^{-1}$ 、南中では16日19時50分の $5.8\text{ms}^{-1}$ にすぎない。ところが、最大瞬間風速は大きく、樋ノ口では17日0時29分の $15.3\text{ms}^{-1}$ 、南中では16日19時25分の $26.9\text{ms}^{-1}$ に達している。

10分間平均風速の風向は定まらず、必ずしも南風ではない(図18b, 19b)。舞々風の発生に対応して気温の上昇と比湿、相対湿度の減少が見られる(図18c, 19c)。南中のデータについて大きな目で見ると、16日18時から22時頃、17日2時から4時頃、8時から10時頃の3回にわたって、最大瞬間風速、舞々風インデックス、風の南北成分、気温の4要素に関して少し大きくなる傾向がある時期

が見られる(図 19).

## 5. やまじ風・舞々風と運動量輸送

乱れの構造について調べるために、毎正時から 10 分ごとの各時刻に対して、前 10 分間の 1 分平均風ベクトルの東西、南北成分  $u, v$  に対して、風の東西・南北成分の共分散  $C = \frac{1}{n-1} \sum (u - \bar{u})(v - \bar{v})$  を計算した。この値は、乱流による北向き運動量の東向き輸送を表す。

第 4 節で調べた 4 つの事例に対する 10 分間ごとの  $C$  の値を樋ノ口、南中に対してプロットし、図 20, 21 にそれぞれ示した。図 20a, 21a は冬の季節風のケース。図 20b, d, 21b, d はやまじ風のケース。図 20c, 21c は舞々風のみが見られたケースについてのものである。やまじ風発生期間を□で、舞々風発生期間を■で示した。

やまじ風、舞々風発生期間はいずれも乱れの大きい時期に当たるため、 $C$  の絶対値も大きくなっている。同時に、樋ノ口のやまじ風、舞々風発生期間に関しては、 $C$  の値が負に偏るケースが多いように見える(図 20b-d)。冬の季節風の場合(図 20a, 21a)や南中のやまじ風、舞々風発生期間の場合(図 21b-d)には、期間によっては偏りがある場合もあるものの、明瞭な傾向は見いだしにくい。

いずれも 10 分値であるため統計的ばらつきが大きいので、毎正時前 1 時間ごとに、1 時間平均共分散  $\bar{C}$  を前 1 時間の  $C$  の平均値と定義して、その特徴を見ることにする。毎正時ごとの 1 時間平均舞々風インデックス  $\bar{m}$  を、前 1 時間の舞々風インデックス  $m$  の自乗平均の平方根と定義し、 $\bar{m}$  と  $\bar{C}$  の関係を散布図としたものが図 22, 23 である。図 22 は樋ノ口について、図 23 は南中についての結果である。春のやまじ風を含む 2 月～6 月までのデータについて作成した。や

まじ風発生期間のデータは□、舞々風発生期間のデータは■でプロットし、どちらにも属さない期間のデータを小さい点でプロットした。ケースを増やすため、2008年だけではなく、2009年のデータも利用した。

この図から、樋ノ口におけるやまじ風、舞々風発生期間の1時間平均共分散 $\bar{C}$ は負の値となりやすいことがわかる。2008年については(図 22a)、1時間平均舞々風インデックスの値は大きくないものの、やまじ風、舞々風発生期間については、有意に多くの1時間平均共分散 $\bar{C}$ が負の値となっている。この傾向は2009年により顕著である(図 22b)。両年を通じて、 $\bar{m}$ が3.5を超える場合に $\bar{C}$ が正となることはなかった。南中では、 $\bar{C}$ について樋ノ口のような顕著な傾向は見られない(図 23)。

やまじ風、舞々風発生期間について、樋ノ口では西方向への北向き運動量輸送が卓説していることが示された。やまじ風のもっとも強く吹くのは三島南中学校周辺を含む寒川地区周辺とされており、樋ノ口集会所はそこから数 km 西に位置している。やまじ風は大きな北向き運動量を寒川地区に供給している。樋ノ口集会所に見られる北向き運動量の西向き輸送は、寒川地域に供給される過剰な北向き運動量を西へと輸送する役割を、舞々風ややまじ風に含まれる乱流が果たしていることを強く示唆している。

## 6 まとめ

われわれは、やまじ風のみられる宇摩平野に、自動気象観測装置を複数導入し、継続的にデータ収集を行ってきた。本論文では、そのデータを用いて、やまじ風の中でも特にその前後に付随して見られることが古くから知られている乱流現象である「舞々風」の特性に注意して解析を行った。特に、①1分間隔

の平均風向風速のデジタルデータが得られたこと。②気温や湿度の同時観測。

③その複数地点での比較が可能となったことは重要であった。

やまじ風に伴って見られる「舞々風」を表す指標として舞々風インデックスを定義した。この指標をあわせて用いて、やまじ風発生前後における風の乱れの特徴について議論した。1時間平均風速や1時間平均舞々風インデックスを定義して、やまじ風、舞々風の有無を1時間単位で記述する方法を提案した。

その結果、住民の間の言い伝えのとおり、舞々風に対応すると考えられる風の乱れが本格的なやまじ風の開始以前から発生し、顕著な風速と風向の変動現象として観測されることがわかった。このような現象は、冬の季節風による強風によっては起こらないことも示された。また、フェーンによる昇温と舞々風インデックスの増加との明瞭な対応関係が見られた。このことは、やまじ風をはじめとするおろし風の本質的な側面と舞々風現象が関連している可能性を示唆する。やまじ風や舞々風の発生期間やそれらの変動は、わずか数 km 東西に隔たった二つの観測点、三島南中学校と樋ノ口集会所とで大きく異なることがわかった。明瞭なやまじ風を伴わず、舞々風だけが数時間以上継続するケースもあることが示された。

さらに、樋ノ口集会所の風の乱れには北向き運動量の西向き輸送を示す特徴が明瞭に見られた。舞々風をはじめとするやまじ風に付随する乱流が、三島南中学校のある寒川地区に供給される過剰な北向き運動量を、西向きに運び去っていることを示唆する。

今後の研究課題について述べる。

やまじ風のような山越え気流の強化は一般におろし風と呼ばれ、山を過ぎる流れに発生する「跳ね水現象」としてしばしば説明される(斉藤, 1994). Rocky 山脈を吹き降りる米国コロラド州のシヌークなどについて、おろし風の観測が多

く行われている。しかし、地上で観測される乱流特性に着目したおろし風の研究はほとんどみられない。これは、やまじ風を引き起こす地形的な特徴が世界的に見ても特異であるためかもしれない。こうした地形的条件のもとで引き起こされる跳ね水による不連続的な風の変化がいかなる乱流をまわりの大気に引き起こすか、理論的にも興味深い問題であり、地上の観測データも用いた研究が必要である。特に、やまじ風前後の時期に舞々風インデックスが大きくなるという特徴は、跳ね水にあたるやまじ風の先端部（やまじ風前線）における風の乱れを示しており興味深い。本研究では、地上観測で得られる風データから、系統的な運動量輸送を示す乱流特性を明らかにすることができるケースがあることを示した。こうした特徴が他のおろし風現象にも共通するのか、それともやまじ風だけに見られる特異なものなのかについて、比較観測を通じて明らかにする意義は大きい。

やまじ風現象を、やまじ風（高速気塊）・舞々風（高乱流運動エネルギー気塊）・フェーン（高温低湿気塊）の構造の総合として理解することが重要だと考える。本報告では、やまじ風に付随して前兆的に発生する乱流現象として知られる舞々風の客観的記述に道をつけた。今後、やまじ風前後の舞々風やその空間分布、フェーンの開始タイミングとの関係などに着目し、高時間分解能の乱流を解像できるデータを用いて舞々風の発生時期や空間的広がりについて記述したい。

そのために、高時間分解能の風・気温・湿度・気圧の観測をかつてなく高密度に配置する観測を計画中である。1分間隔の風観測は現時点ではまだ2地点でしか行われていない。また、われわれの観測は主に風を中心に行われており、気温は三島南中学校と樋ノ口集会所のみに、湿度と気圧の観測は樋ノ口集会所のみに限られている。フェーンに伴う高温気塊の振る舞いや、その気塊の比湿、気圧の微変動・メソ低気圧の振る舞いなどとその空間的広がりを密に観測する

ためには、いっそうの観測設備の系統的な拡充が求められる。やまじ風前線の振る舞いにも注意しながら、東西方向数 km、南北方向 1km の観測を展開することをめざしたい。

また、やまじ風の海上での振る舞いも興味深い。やまじ風の海上へのひろがりには数 km とされているが、近代的観測手法による海上の直接観測は行われていない。ましてや、やまじ風本体の向こう側にもひろがっていると考えられる高温気塊、高乱流エネルギー気塊の振る舞いのようすはよくわかっていない。ENVISAT 等搭載の合成開口レーダーは、海上の風向・風速の 100m スケールでの推定を可能にしている(Hasagar et al., 2005)。やまじ風事例に対応する衛星画像が得られれば、海上でのやまじ風前線やメソ低気圧の振る舞いを初めて観測することができる。股島や伊吹島などの離島に自動気象観測装置を設置することも検討している。

これらの結果をメソスケール数値モデルの計算によって総合することも重要である。数値モデルの結果は絶対的なものではないが、先行研究にもあるように、数値モデルは観測網によっては十分つかみきれない特徴に関する知見をいくつも提起している。観測結果に表れた特徴の意味を、時空間方向に押し広げて解釈する上で、数値モデル計算は必要なツールである。数値モデル計算の結果から逆に新しい仮説と観測デザインが提起される可能性も高い。

やまじ風の具体的諸相を明らかにするこれらの研究は、沿岸環境へのやまじ風のインパクト理解への展望を開く環境気象学の基礎研究でもある。やまじ風の基本的メカニズムは、山岳波の理論と浅水波の跳ね水の理論によって大枠は明らかになっている(斉藤, 1994)。しかし、やまじ風のより具体的な時間発展や空間的ひろがりとその変動、海上でのより具体的な振る舞い、本研究が明らかにした舞々風のような問題の深く理解するためには、もう一步踏み込ん



だより小スケールにおけるやまじ風の振る舞いを明らかにする必要がある。そのことは同時に、やまじ風に関連する地域の環境課題に気象学研究として応えていくための基礎研究となる。

例えば、海洋との関係では、ひうち灘東部で低気圧性循環を伴って発達する貧酸素水塊と海上風との関係も射程に入る。比較的浅い瀬戸内海において、海上風やメソスケールの気圧配置の海流への影響や、風塵による物質循環への寄与の見積もり等の研究が可能となる。また、沿岸の埋め立てのやまじ風に対する効果についても、より高時空間分解能のやまじ風構造理解を通じて理解を深めることが期待できる。

## 謝辞

本研究のために、やまじ風対策協議会の風速計のデータを使用させていただきました。愛媛県東予地方局産業振興課地域農業室四国中央農業指導班の皆様および、三島南中学校の皆様にご感謝いたします。樋ノ口集会所における気象観測の実施にあたり便宜を図っていただいた、四国中央市教育委員会人権啓発課にご感謝いたします。本研究は、福武学術文化振興財団平成 20 年度瀬戸内文化研究・活動支援助成研究課題「人工衛星およびカメラを用いた瀬戸内海における局地的強風の気候学的特質の研究」の成果の一部を含んでいます。また、観測機器の整備にあたっては、京都大学防災研究所の林泰一准教授と、香川大学危機管理研究センターより支援していただいています。謝意を表します。

## 参考文献

秋山敏夫, 1953: やまじ風の機構に対する考察(第1報). 気象庁研究時報, 6, 375-380.

秋山敏夫, 1956: やまじ風の機構に対する考察(第2報). 気象庁研究時報, 8, 627-641.

深川良子, 1981: やまじ風の気候学的考察. 愛媛大学法文学部昭和 56 年度卒業論文.

深石一夫, 1992: 愛媛の気候—ふるさとの大気環境を探る—. (財)愛媛文化振興財団, 318pp.

Hasager, C. B., M. Nielsen, P. Astrup, R. Barthelmie, E. Dellwik, N. O. Jensen, B. H. Jørgensen, S. C. Pryor and O. Rathmann, 2005: Offshore wind resource estimation from satellite SAR wind field maps. *Wind Energy*, 9, 63-74.

紀井伸章, 2008: やまじ風発生時の気象状況についての研究. 香川大学大学院平成 19 年度修士論文.

紀伊伸章, 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.

松岡孝昌, 寺尾 徹, 森 征洋, 2008: やまじかぜ前線における風向・風速の乱れの研究. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 116, 41-44.

松岡孝昌, 2009: やまじ風前線における風向・風速の乱れの研究. 香川大学教育学部平成 20 年度卒業論文.

大阪管区气象台, 1958: やまじ風総合調査報告. 大阪管区气象台, 57pp.

Saito, K. and M. Ikawa, 1991: A numerical study of the local downslope wind “Yamaji-kaze” in Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 69, 31-56.

Saito, K., 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. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 71, 247-271.

斉藤和雄, 1993: 「やまじ風」の数値的研究(2). *気象研究所研究発表会誌*, 11-24.

Saito, K., 1994: A numerical study of the local downslope wind “Yamaji-kaze” in Japan. Part 3: Numerical simulation of the 27 September 1991 windstorm with a non-hydrostatic multi-nested model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 71, 247-271.

斉藤和雄, 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.

白鳥 勇, 2000: やまじ風の発生頻度について. 香川大学教育学部平成 11 年度卒業論文.

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.

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.

高見佳浩, 1993: 「やまじ風」の調査（第 9 報）—やまじ風による被害調査について—. *平成 5 年大阪管区府県気象研究会誌*, 352-353.

寺尾 徹・森 征洋, 2008: やまじ風に付随して発生する舞々風現象の定量的評価. *日本気象学会関西支部例会講演要旨集*, 116, 45-48.

表 1 : 本研究で用いた観測地点と観測項目

観測地点	場所	標高	測器	風速計 高度	観測項目
三島南中学校	三島南中学校 3階建校 舎屋上	45m	風車型風向風速計 コーシンペーン KVS-500 光進電気工業 KK 白金抵抗温度計	18m	10分平均風向 (角度) 10分平均風速 10分平均ベクトル 最大瞬間風速・風向 風向・風速の標準偏差 気温 1分平均風速・風向
樋ノ口集会所	樋ノ口集会所 一階建屋 上	10m	風車型風向風速計 Young Model 05103-5 温湿度計 -VAISALA HMP45A 通風カバー -VAISALA PVC-04		1分平均風速・風向 最大瞬間風速 気温 湿度 気圧 日射 降水量
三島アメダス	松柏小学校 庭の北西角	20m	風車型風向風速計	10.5m	10分平均風向 (16方位) 10分平均風速 気温, 降水量, 日照時間

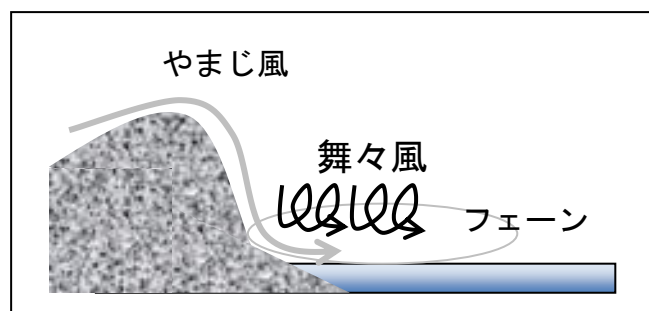


図 1：四国山地から宇摩平野に流れ下るやまじ風と，それに付随する舞々風，フェーンについての模式図．フェーンは海上にも広がっていると考えられる．

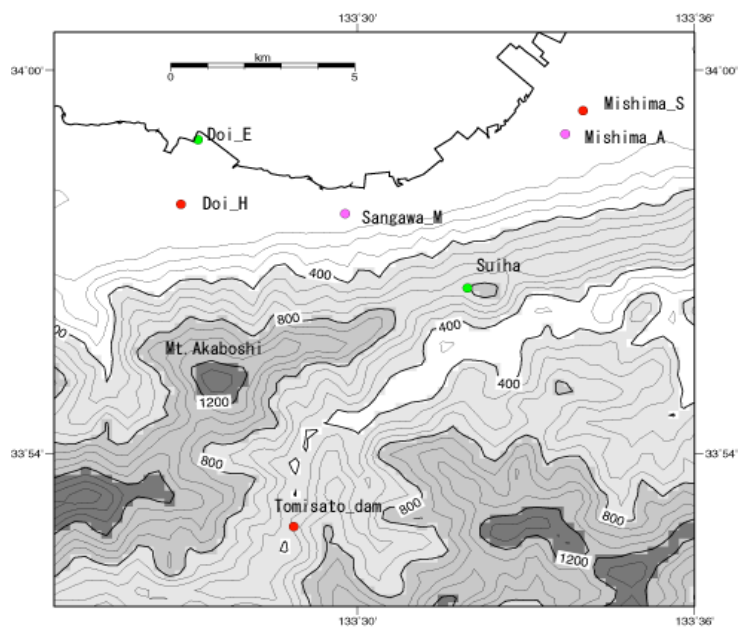


図 2： 気象観測装置を設置している 4 地点（エコトピア(Doi-E)、樋ノ口集会所(Doi-H)、三島南中学校(Sangawa-M)、翠波高原(Suiha)）と、三島アメダス(Mishima-A)等の位置. 本発表では、三島南中学校、樋ノ口集会所のデータを主に用いている. アメダスは 2009 年 2 月に移転している.



図 3 : 樋ノ口集会所 (左), 三島南中学校 (右) の観測機器の設置状況

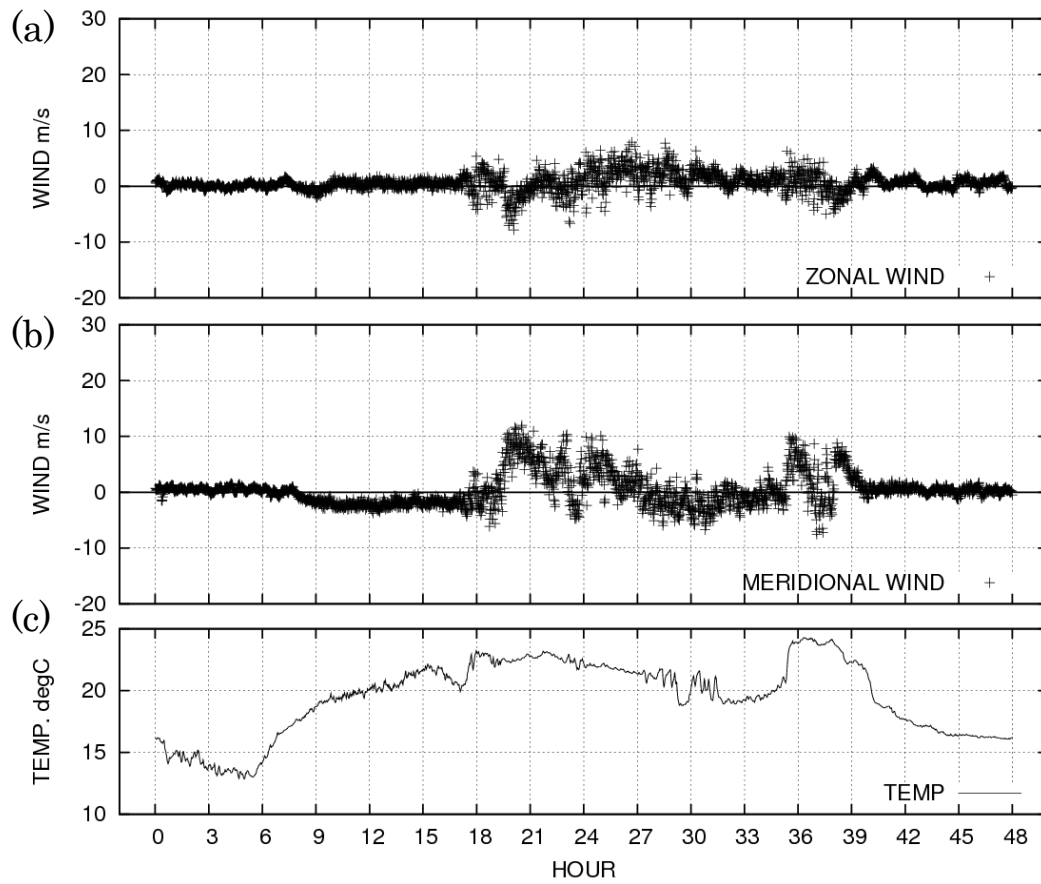


図4: 2008年5月18日から19日にかけての樋ノ口の観測値。(a)風の東西風成分と(b)南北風成分(いずれも  $\text{ms}^{-1}$ )および, (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ )。1分間平均で示している。横軸は5月18日0時からの経過時間。



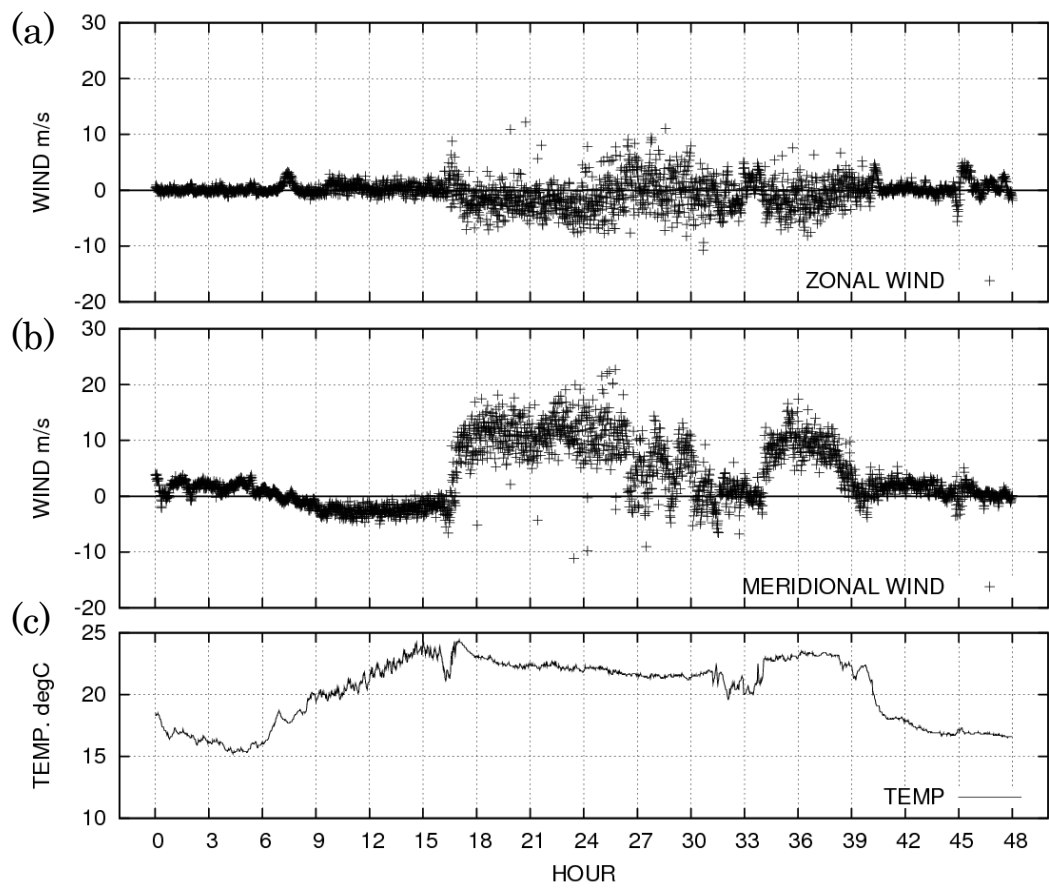


図 5 : 図 4 に同じ. ただし南中の観測値.

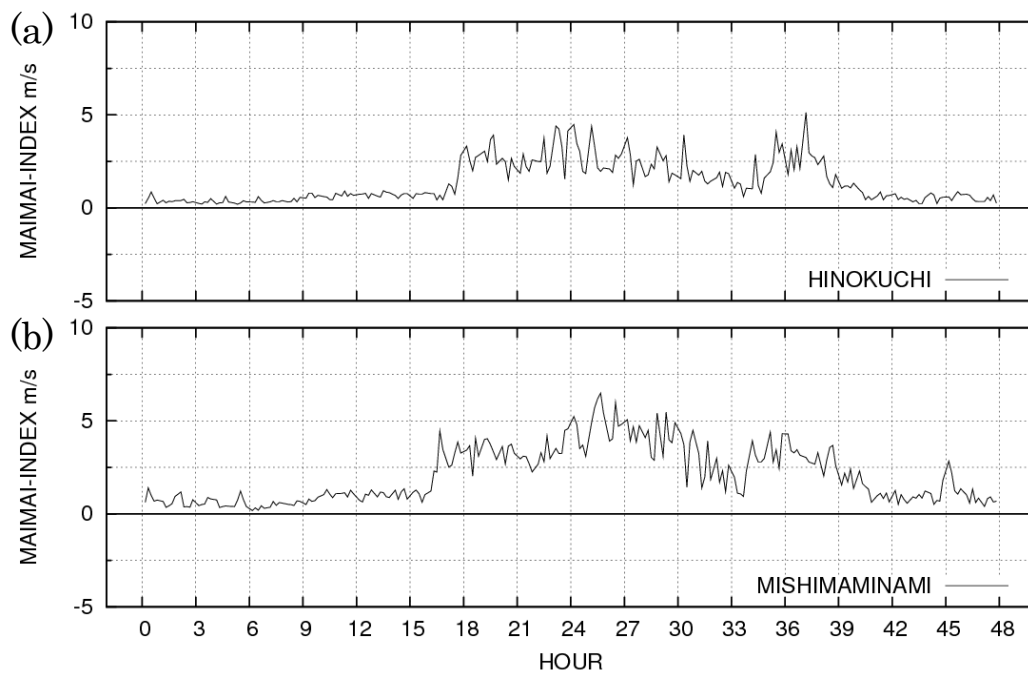


図 6 : 2008 年 5 月 18 日から 19 日にかけての (a) 樋ノ口と, (b) 南中の舞々風インデックスの変化. 縦軸の単位は  $\text{ms}^{-1}$ . 舞々風インデックスは 10 分ごとに前 10 分間の代表値として定義される. 横軸は 5 月 18 日 0 時からの経過時間.

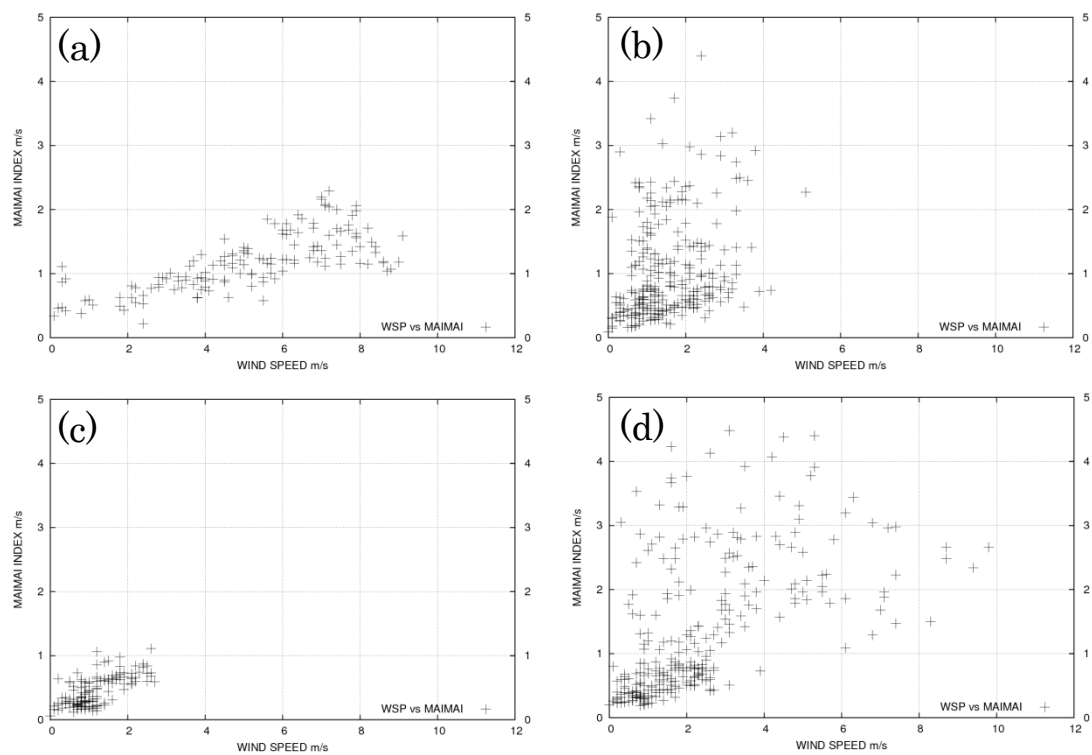


図 7: 条件の異なる 4 つの期間の 10 分間平均風速(横軸, 単位は  $\text{ms}^{-1}$ ) と舞々風インデックス(縦軸, 単位は  $\text{ms}^{-1}$ ) に関する散布図. 樋ノ口のデータを用いた. 各点はそれぞれ 10 分間の一つずつ定義される. (a)2008 年 2 月 23 日, (b)2008 年 4 月 16-17 日, (c)2008 年 5 月 15 日, (d)2008 年 5 月 18-19 日のケースについて示す.

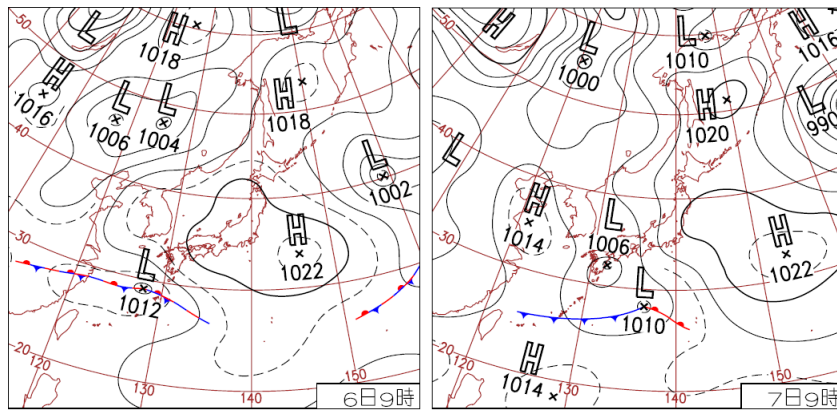


図8：2008年4月6-7日に発生したやまじ風に対応する期間の地上天気図(気象庁, 日々の天気図, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html> による). 左は4月6日9時, 右は4月7日9時のもの.

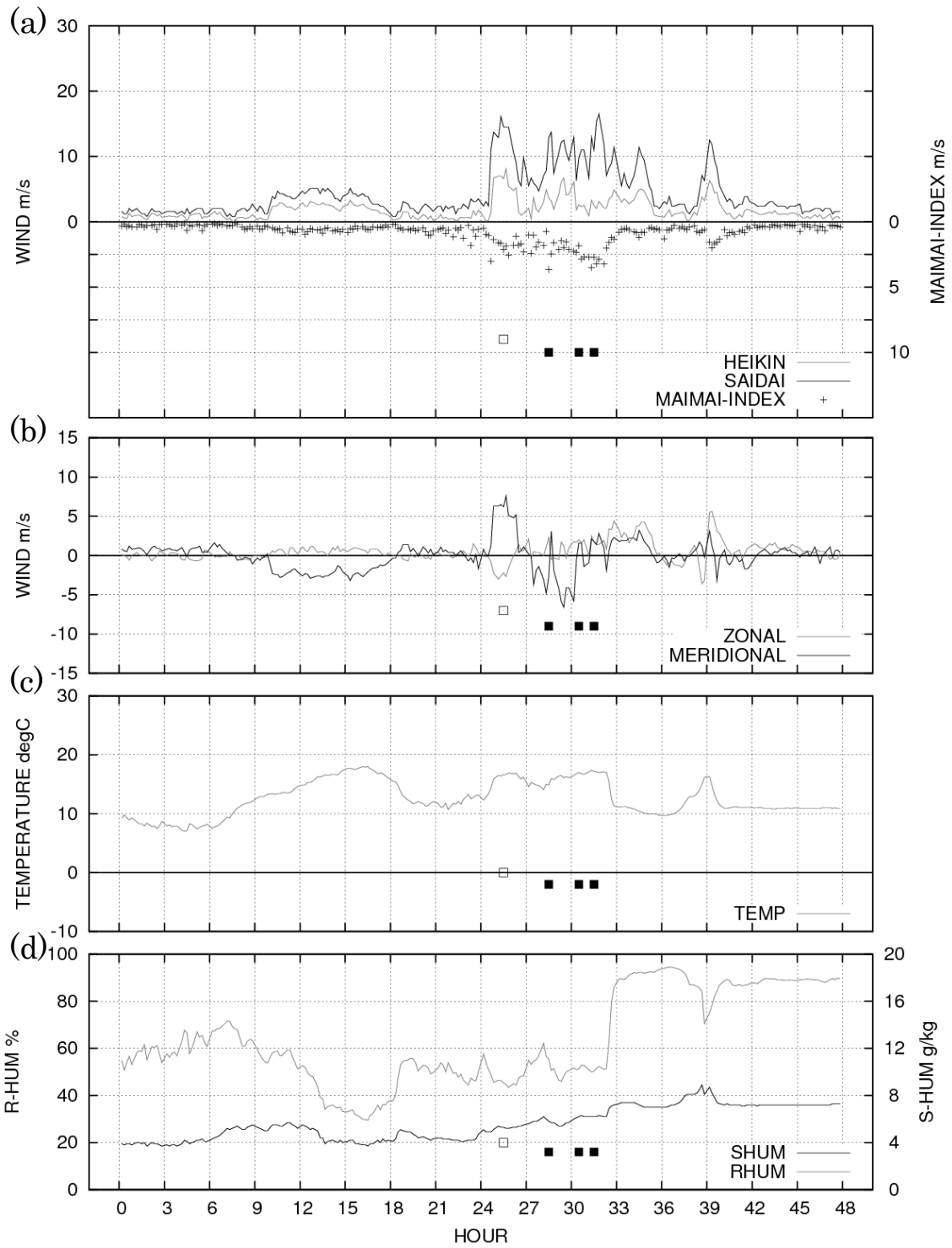


図9:2008年4月6-7日に発生したやまじ風時の樋ノ口での気象要素の時系列。(a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で、いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ 。(b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ 。(c)気温( $^{\circ}\text{C}$ )。(d)相対湿度(細実線, %)と比湿(実線,  $\text{g/kg}$ )。横軸は4月6日0時からの経過時間。やまじ風発生期間を□印で、舞々風発生期間を■で示した。

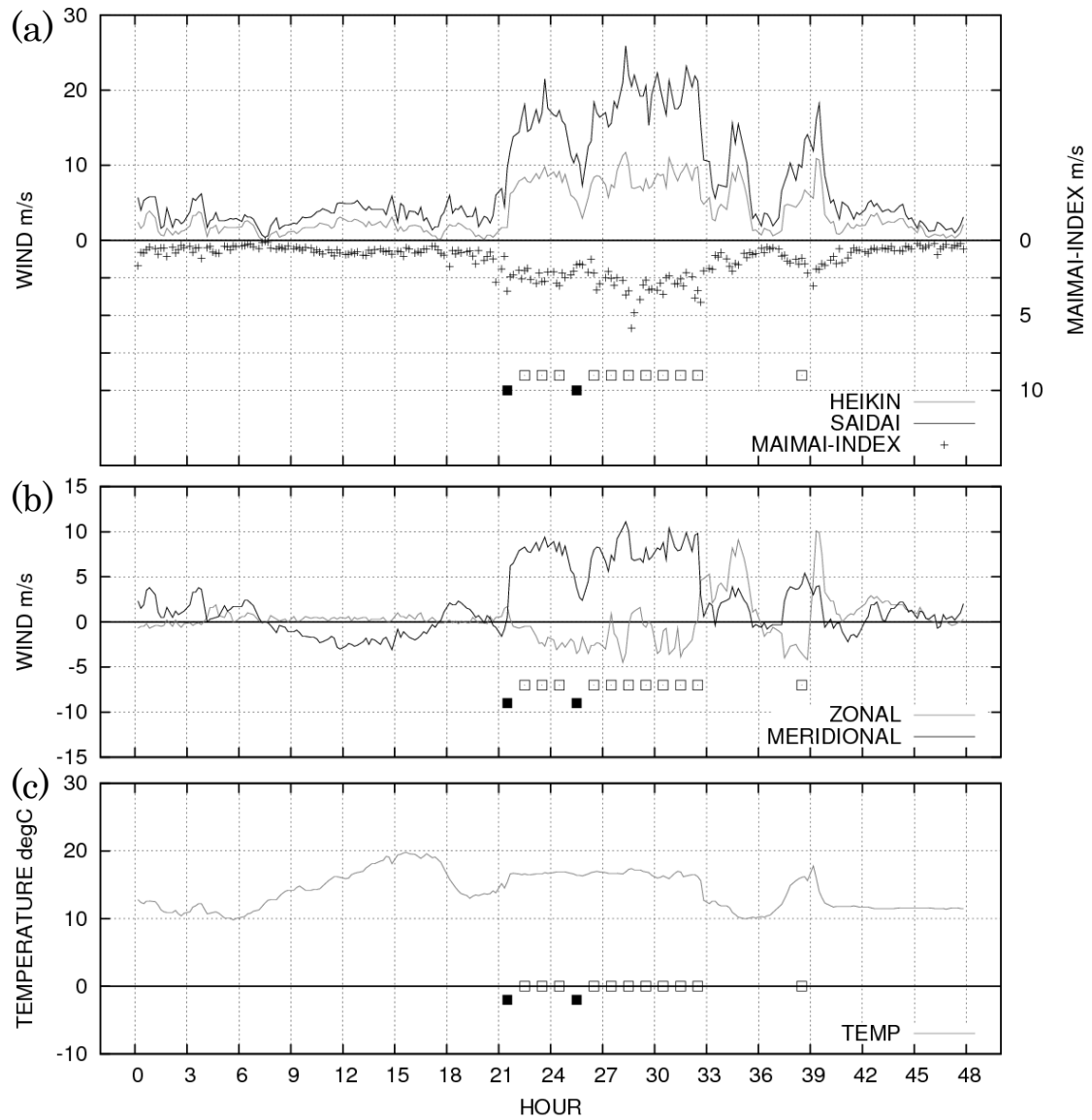


図 10 : 2008 年 4 月 6-7 日に発生したやまじ風時の南中での気象要素の時系列。(a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). 横軸は 4 月 6 日 0 時からの経過時間. やまじ風発生期間を□印で, 舞々風発生期間を■で示した.

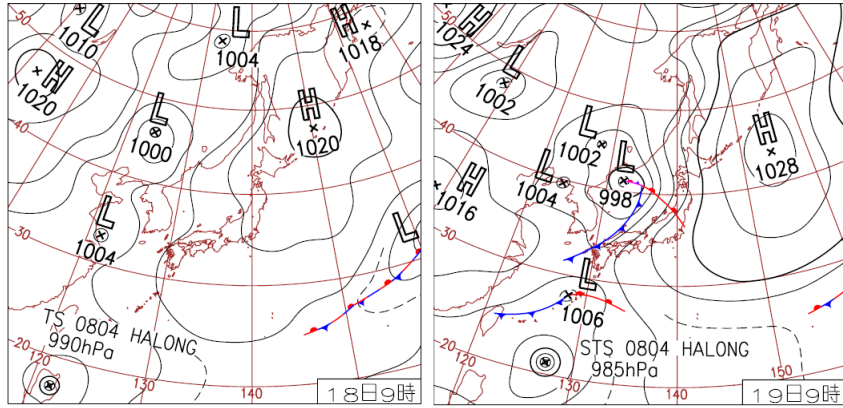


図 11： 2008 年 5 月 18-19 日に発生したやまじ風に対応する期間の地上天気図（気象庁，日々の天気図，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html> による）。左は 5 月 18 日 9 時，右は 5 月 19 日 9 時のもの。

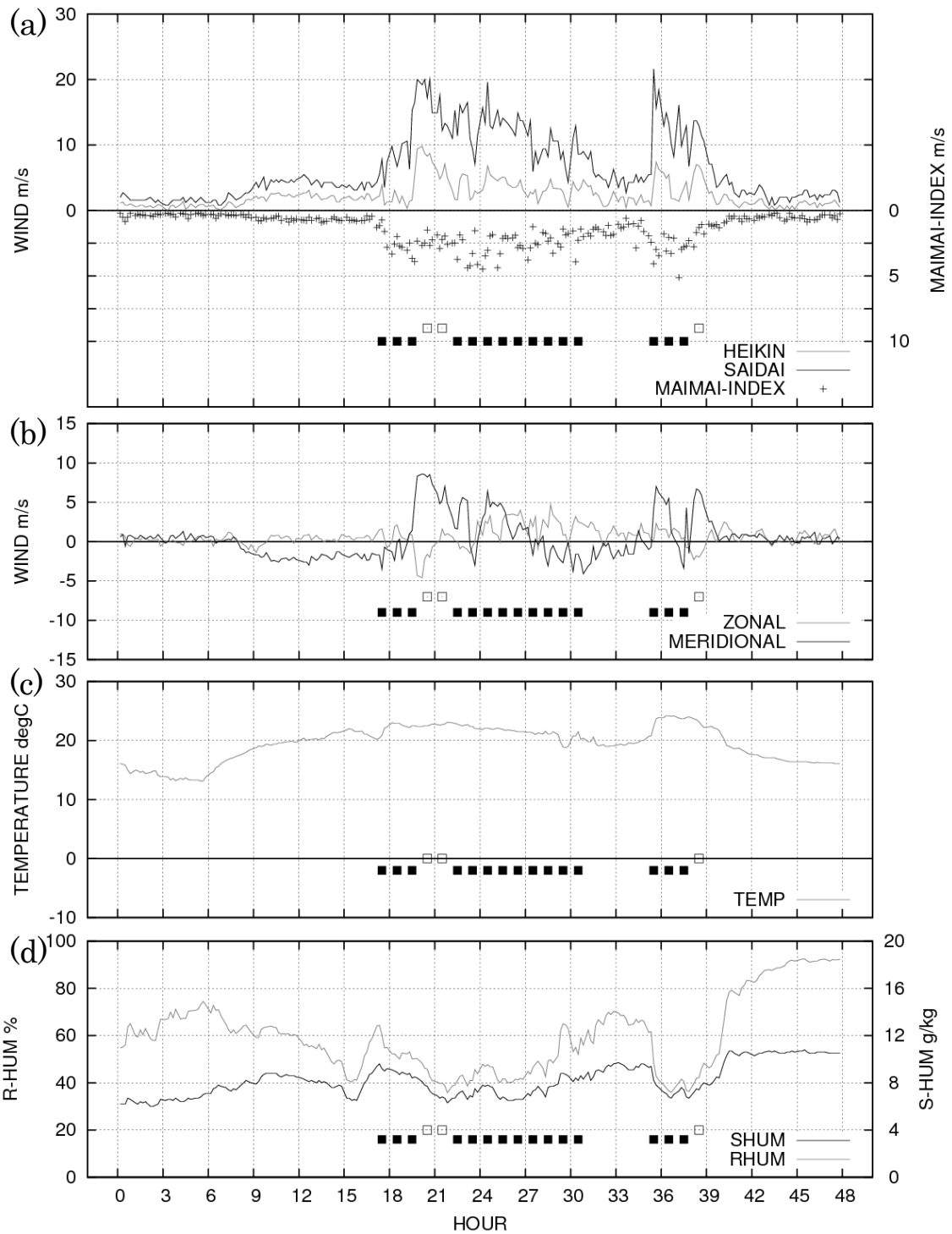


図 12 : 2008 年 5 月 18-19 日に発生したやまじ風時の樋ノ口での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). (d)相対湿度(細実線, %)と比湿(実線,  $\text{g/kg}$ ). 横軸は 5 月 18 日 0 時から経過時間. やまじ風発生期間を□印で, 舞々風発生期間を■で示した.



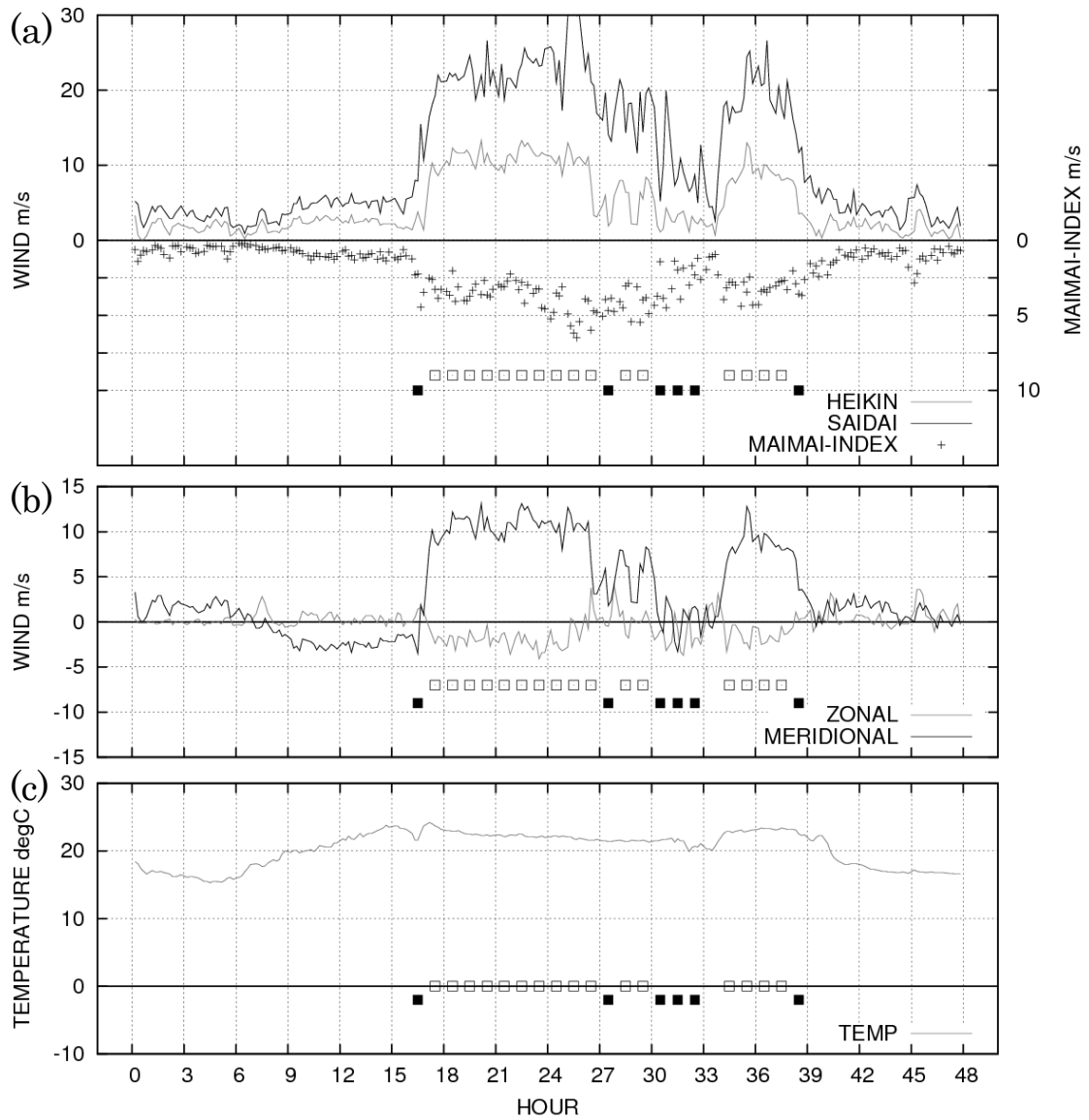


図 13 : 2008 年 5 月 18-19 日に発生したやまじ風時の南中での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). 横軸は 5 月 18 日 0 時からの経過時間. やまじ風発生期間を □印で, 舞々風発生期間を ■で示した.

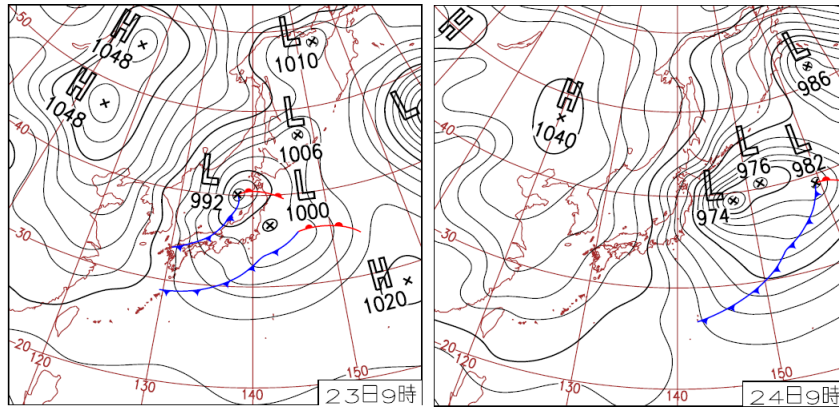


図 14:2008 年 2 月 23-24 日の冬型の気圧配置に起因する強風時の地上天気図(気象庁, 日々の天気図, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html> による). 左は 2 月 23 日 9 時, 右は 2 月 24 日 9 時のもの.

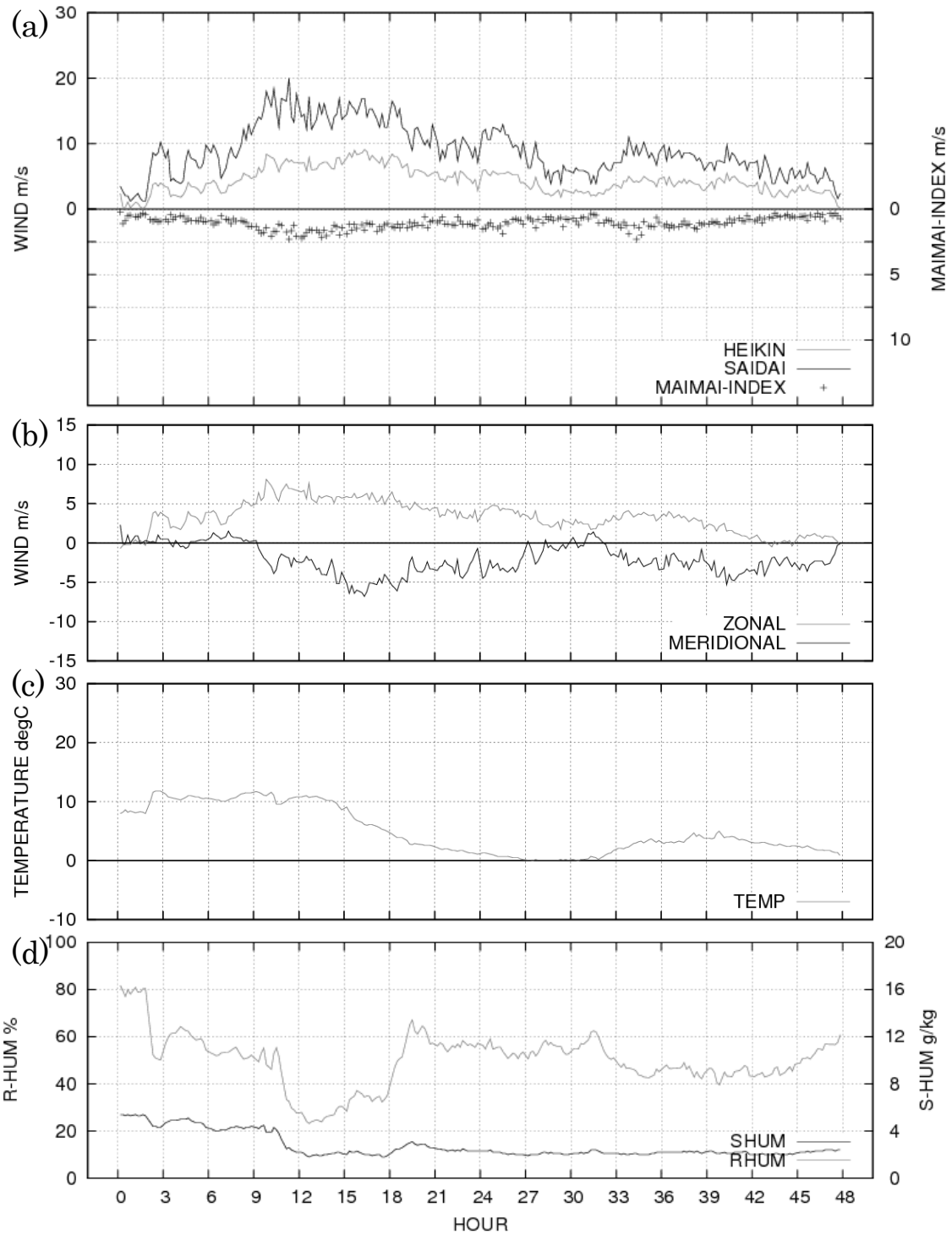


図 15 : 2008 年 2 月 23-24 日の冬型の気圧配置に起因する強風時の樋ノ口での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). (d)相対湿度(細実線, %)と比湿(実線,  $\text{g/kg}$ ). 横軸は 2 月 23 日 0 時から経過時間. やまじ風, 舞々風の定義を示す期間はなかった.

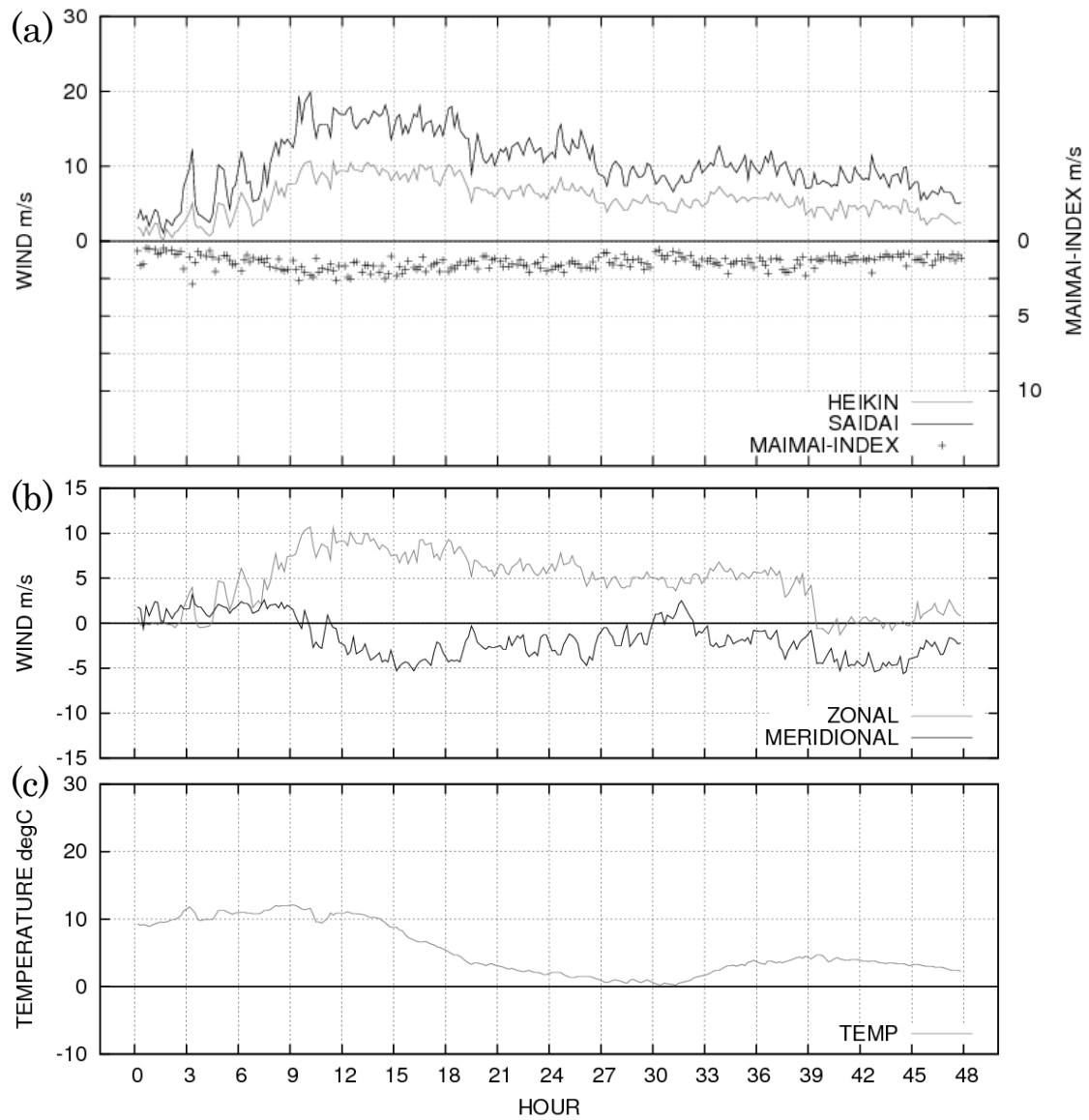


図 16 : 2008 年 2 月 23-24 日の冬型の気圧配置に起因する強風時の南中での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $\text{degC}$ ). 横軸は 2 月 23 日 0 時からの経過時間. やまじ風, 舞々風の定義を満たす期間はなかった.

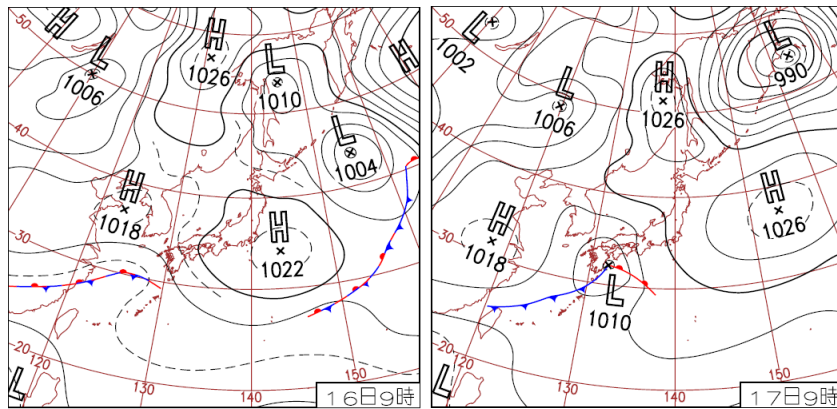


図 17 : 2008 年 4 月 16-17 日に発生した舞々風に対応する時期の地上天気図(気象庁, 日々の天気図, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html> による). 左は 4 月 16 日 9 時, 右は 4 月 17 日 9 時のもの.

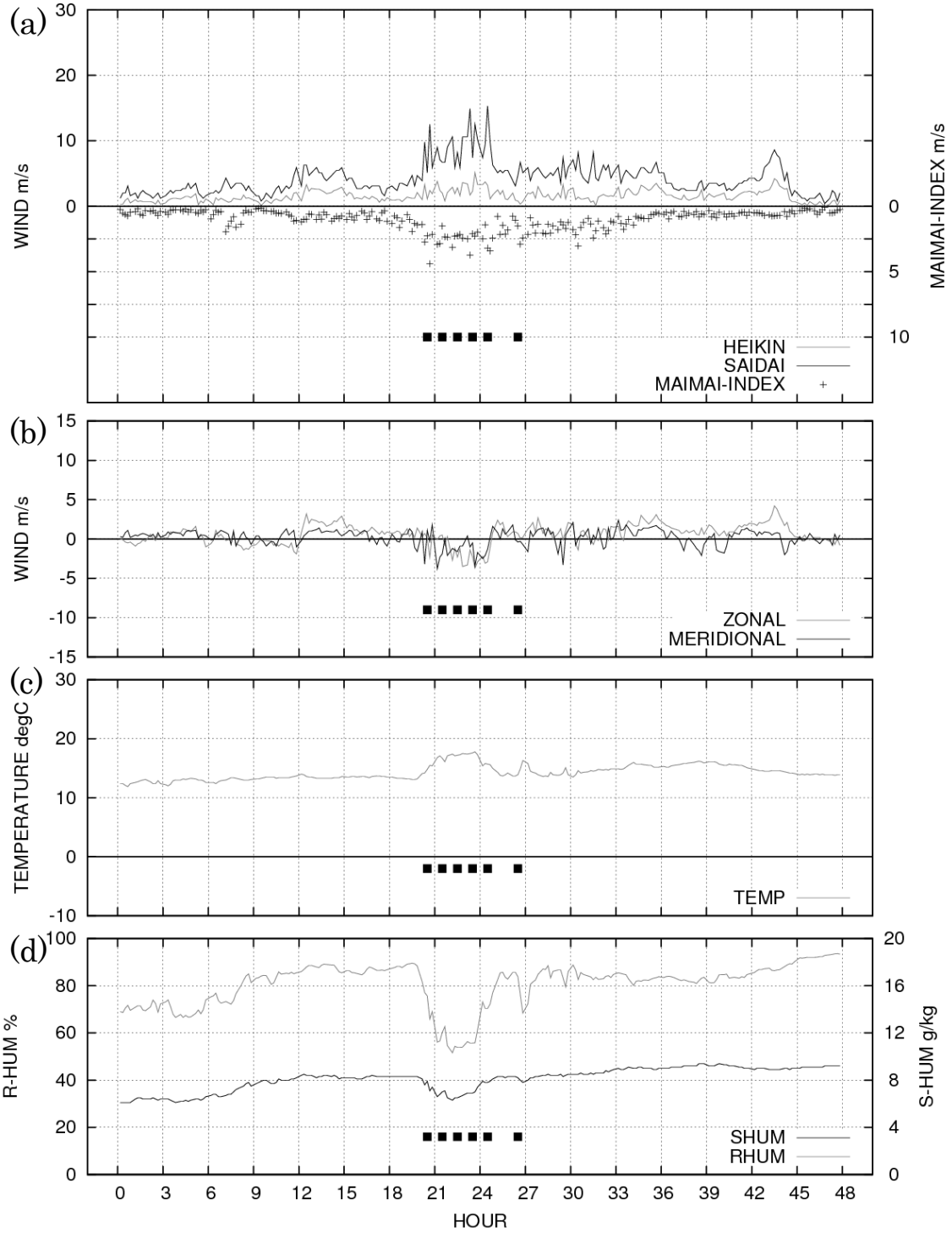


図 18 : 2008 年 4 月 16-17 日の樋ノ口での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). (d)相対湿度(細実線, %)と比湿(実線,  $\text{g/kg}$ ). 横軸は 4 月 16 日 0 時から経過時間. やまじ風の定義を満たす期間はなかった. 舞々風発生期間を■で示した.

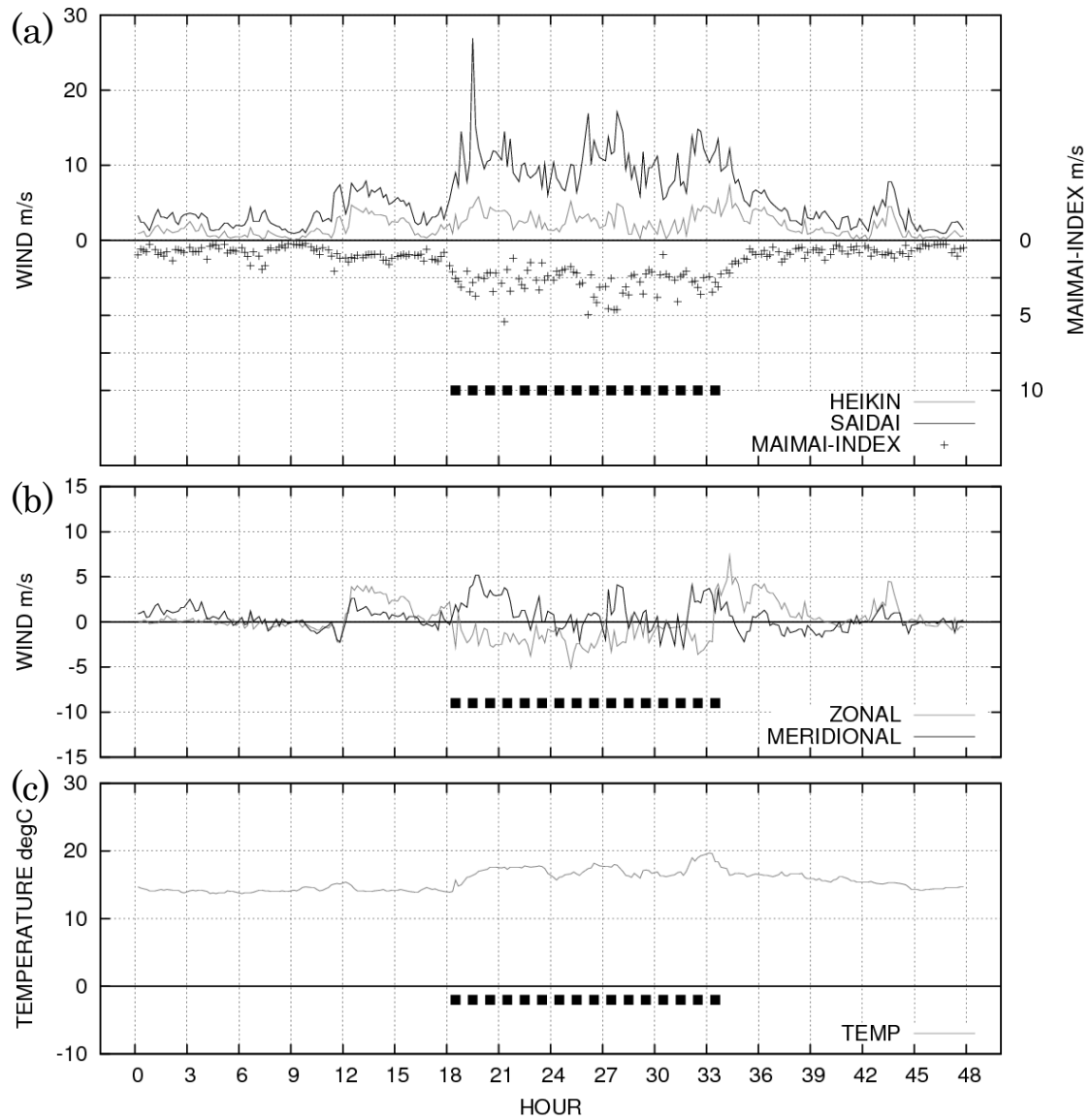


図 19 : 2008 年 4 月 16-17 日の南中での気象要素の時系列. (a)風速(細実線), 最大瞬間風速(実線)と舞々風インデックス(+印, 右縦軸)で, いずれも単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (b)風の東西成分(細実線)と南北成分(実線)で単位は  $\text{ms}^{-1}$ . (c)気温( $^{\circ}\text{C}$ ). 横軸は 4 月 16 日 0 時からの経過時間. やまじ風, 舞々風の定義を満たす期間はなかった. やまじ風の定義を満たす期間はなかった. 舞々風発生期間を ■ で示した.

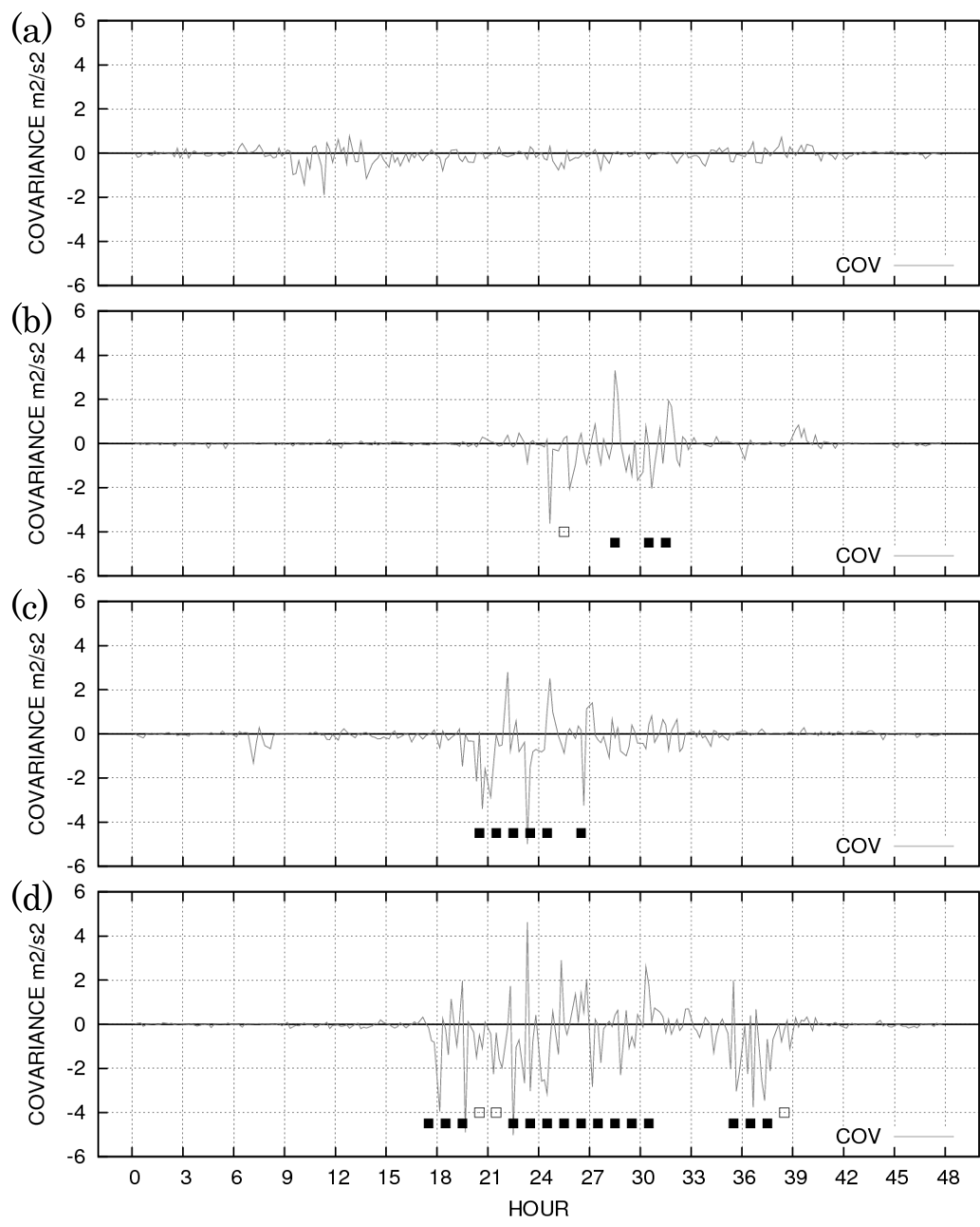


図 20 : (a)2008 年 2 月 23-24 日, (b)4 月 6-7 日, (c)4 月 16-17 日, (d)5 月 18-19 日の樋ノ口での東西風変動と南北風変動の共分散の時系列(単位は  $m^2s^{-2}$ ). 横軸はそれぞれ 1 日目の 0 時からの経過時間. やまじ風発生期間を□で, 舞々風発生期間を■で示した.



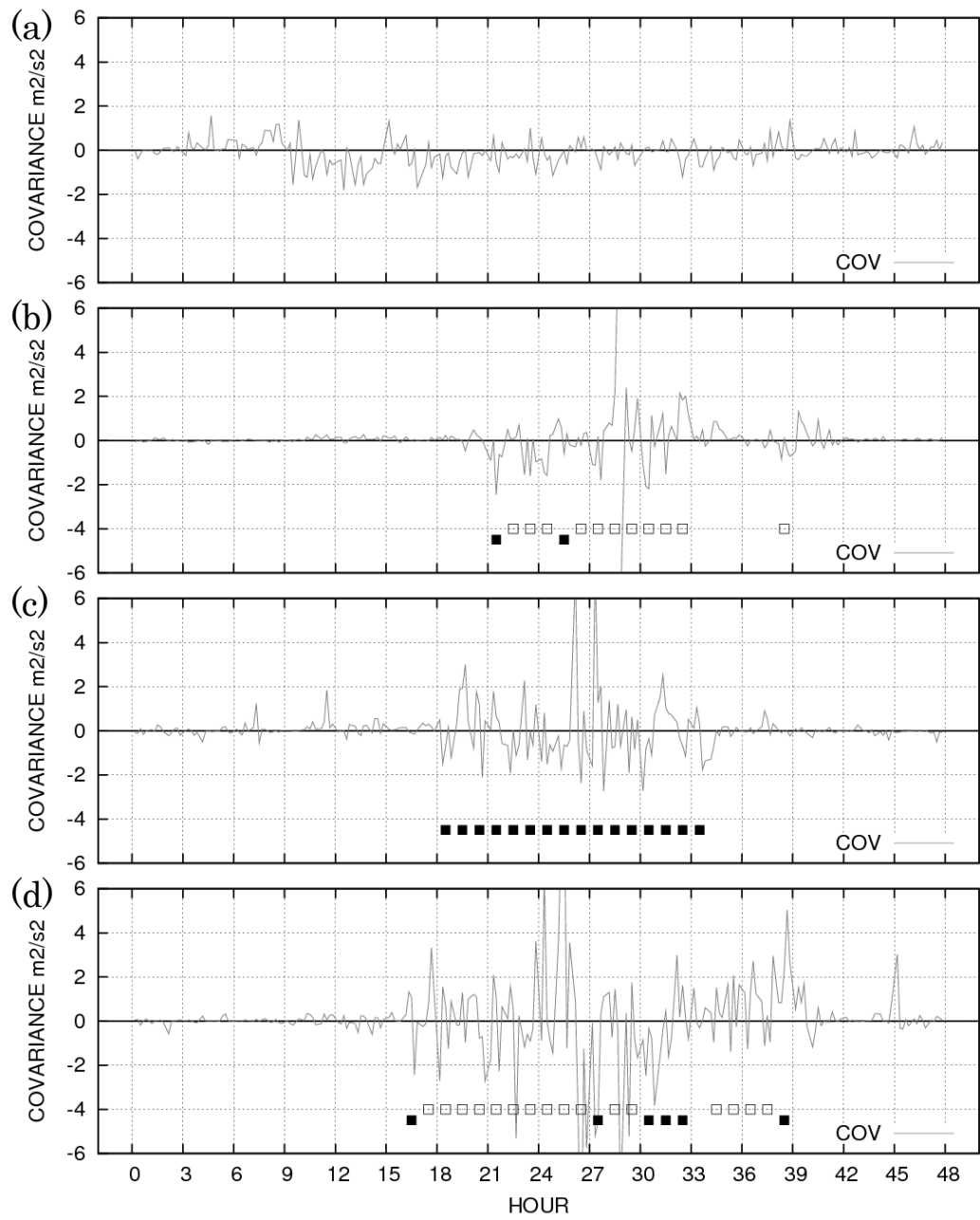


図 21 : 図 20 に同じ. ただし南中についての図.

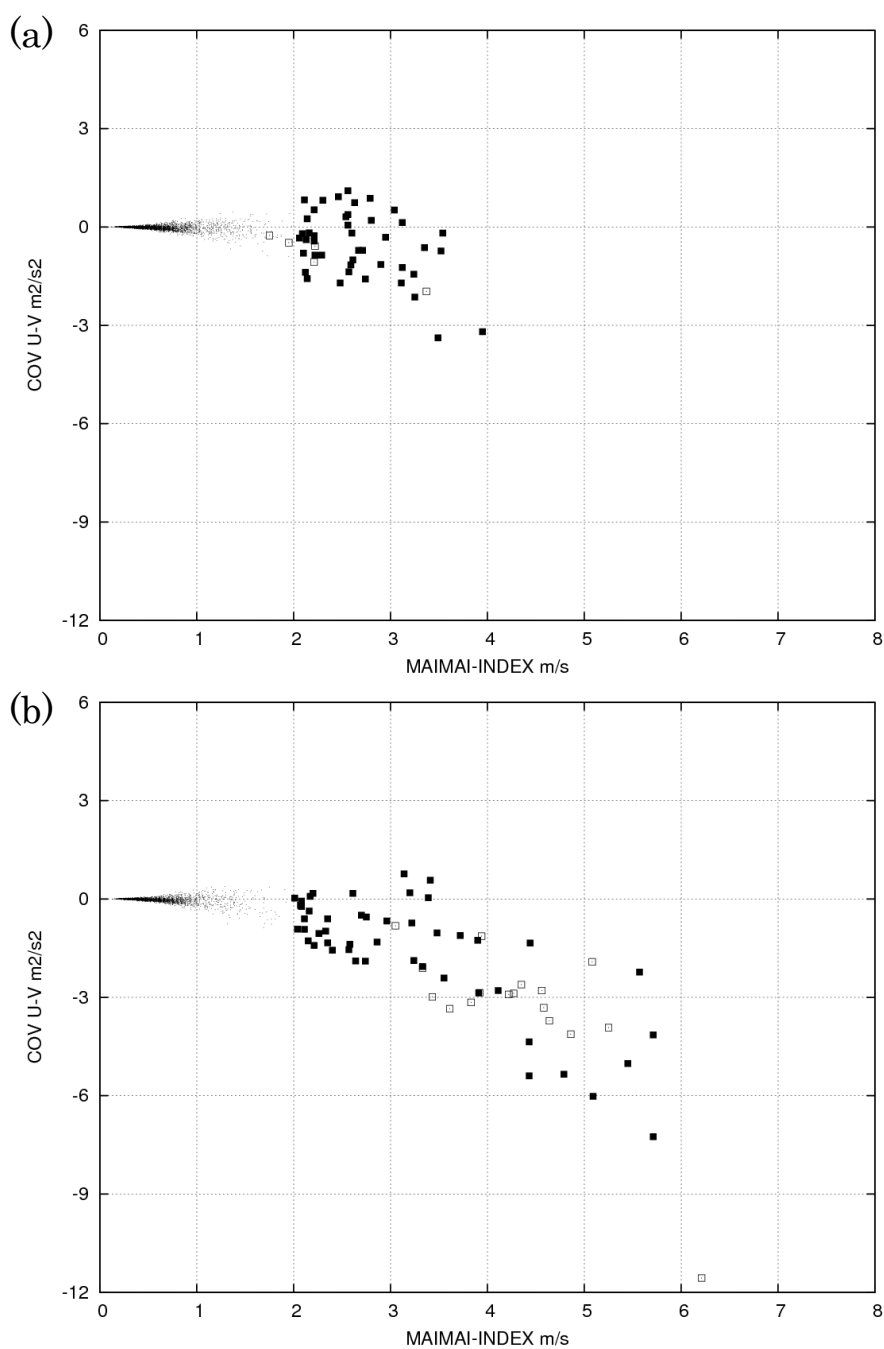


図 22 : 樋ノ口の 1 時間平均舞々風インデックス  $\bar{m}$  (横軸, 単位  $\text{ms}^{-1}$ ) と, 風の東西・南北成分の 1 時間平均共分散  $\bar{C}$  (縦軸, 単位  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) との関係を示す散布図. 2 月~6 月のデータについて示している. やまじ風と定義される場合を □ で, 舞々風と定義される場合を ■ で示した. どちらにも判定されない時刻のデータは小さい点で示した. (a)2008 年のものと, (b)2009 年のもの.

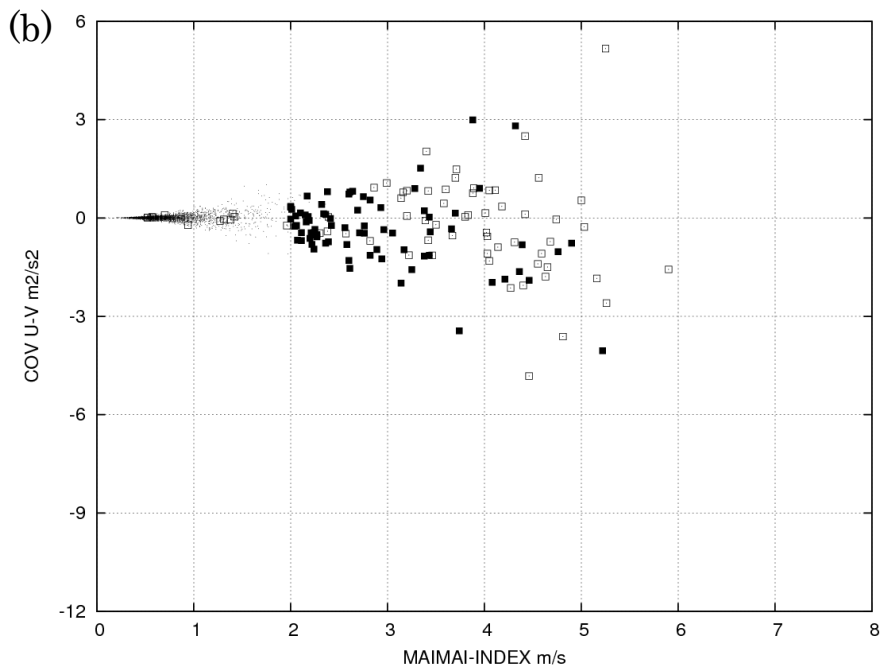
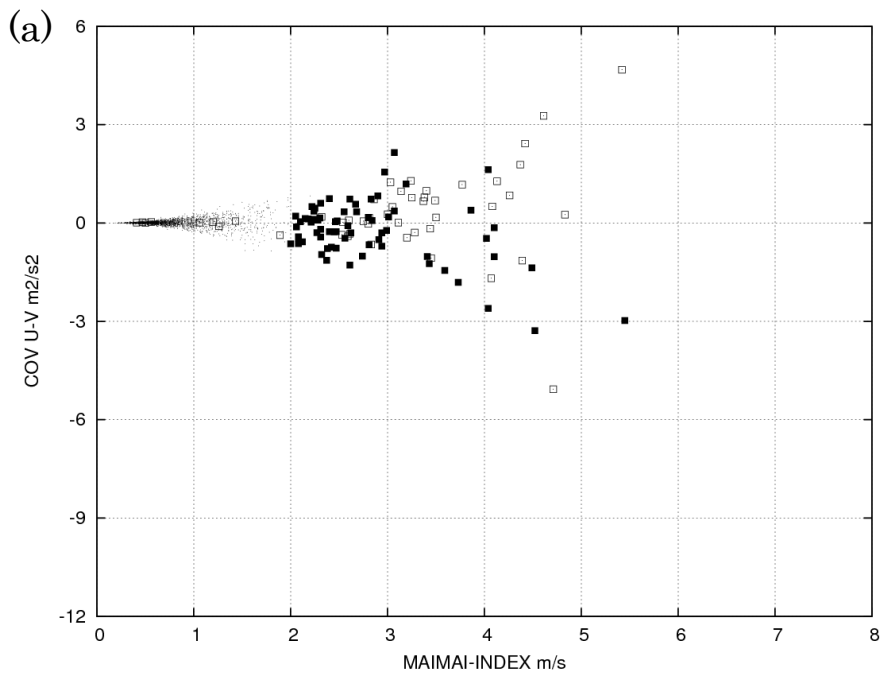


図 23 : 図 22 に同じ. ただし南中のデータ.