

夏季において有明海に吹き込む南風の特徴

CHARACTERISTICS OF SOUTH WIND BLOWING INTO ARIAKE SEA IN SUMMER SEASON

松永信博¹・油野俊也²・久田由紀子³・李洪源⁴

Nobuhiro MATUNAGA, Shunya YUNO, Yukiko HISADA and Hongyuan LI

¹フェロー会員 工博 九州大学教授 大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

²学生会員 九州大学 大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

³正会員 博(工) 九州大学学術研究員 大学院総合理工学研究院
(〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

⁴学生会員 修(工) 九州大学 大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

The characteristics of south wind, which is predominant in Ariake Sea in the summer season, have been investigated by analyzing the wind data acquired at the AMeDAS sites placed along the Ariake Sea and the observation site in Isahaya Bay and by performing the numerical simulation by using WRF model. The existence of Mts. Tara and Unzen gives the strong influence to the behaviors of the south wind blowing into the Ariake Sea. A pair of horizontal circulations forms behind each mountain and makes the wind fields on the Ariake Sea complicated. The wind blowing through between the two mountains is very stable because of the contraction and the acceleration of wind, and the wind speed is about 1.2 times as fast as that in the case where the mountains are removed.

Key Words : Data analysis of wind, numerical simulation of wind, Ariake Sea

1. はじめに

近年、有明海の水質悪化が社会問題となっている。特に、諫早湾における干拓事業により潮受け堤防が建設された後、諫早湾および有明海北部の水質環境は著しく悪化しており、水産資源への影響が懸念されている^{1), 2)}。このような状況において、有明海や諫早湾を対象として多くの現地調査および研究が行われているが、それらの多くは、潮汐流動や水質および底質環境を対象としたもの^{3), 4), 5)}で、海上風が海域に及ぼす影響についての研究はあまり行われていない。木谷⁶⁾は有明海周辺のAMeDAS観測点のデータから、有明海では夏季に南風が卓越し、秋季から春季にかけては北風が卓越することを明らかにした。また、冬季、有明海において北風の影響で引き起こされる吹送流が平均流に占める寄与率を算定した。その結果、冬季の有明海において吹送流の効果は無視できないことを示した。李ら⁷⁾は、密度成層時の諫早湾において南風が吹き込み、せん断応力が海表面に作用する場合、島原半島沿岸において低酸素水塊の湧昇が生じることを現地観測から見出した。これらの研究から、有明海内の流れと物質輸送を理解する上で、有明海

上に卓越する風況とその特性を知ることが極めて重要であると考えられる。

本研究の目的は、有明海周辺のAMeDAS観測点および諫早湾内の観測塔で得られた風向風速データから、夏季における風向風速出現確率分布を求めるとともに、気象モデルWeather Research Forecasting(WRF)を用いて有明海周辺の大気流動シミュレーションを行い、有明海上の風況特性を明らかにすることである。

2. 夏季における有明海周辺の風況特性

図-1に諫早湾周辺に設置されたAMeDAS観測点の位置と九州農政局が諫早湾内に設置した観測塔の位置を示す。以下では、諫早湾と有明海湾奥に着目し、AMeDAS観測点の中から島原、白石、川副、大牟田、岱明及び観測塔の6地点で得られた風向風速データに基づいて議論する。解析に使用したAMeDASデータは2006年から2008年夏季(6月、7月、8月)の10分平均値である。観測塔におけるデータは同じ期間における毎正時の10分平均値である。

図-2に各地点における風向・風速出現確率分布を示す。ここで、出現確率は、風向を16方位に分類し、風速を

1m間隔で20mまで区分し、出現頻度を求め、総数出現回数で割ることにより求められている。さらに、16方位上で求められた確率の常用対数を取り、得られた値を等値線でつなぐことにより風向・風速出現確率分布図が描かれている。島原や観測塔においては北寄りの風の卓越も見られるが、全体的に有明海北部では木谷⁸⁾が指摘したように、夏季において南寄りの風が卓越していることがわかる。それぞれの観測点の特性を見てみると、白石では10m/s以上の風速は出現しておらず、他の観測点と比較して南寄りの風の発生頻度が少ないことがわかる。これは、白石に吹き込む風が弱く、風向きが安定していないことを示唆している。川副では10m/s以上の風速の風がかなりの頻度で発生しており、南寄りの風が卓越していることがわかる。大牟田では風速5m/s以下の南寄りの風が卓越していることがわかる。岱明では白石と同様に風は弱く、2~3m/sの風が卓越しているが、他の観測点と比較して卓越風向は広い範囲に分布している。これは、白石と同様に風向きの揺らぎが大きいことを示唆してい

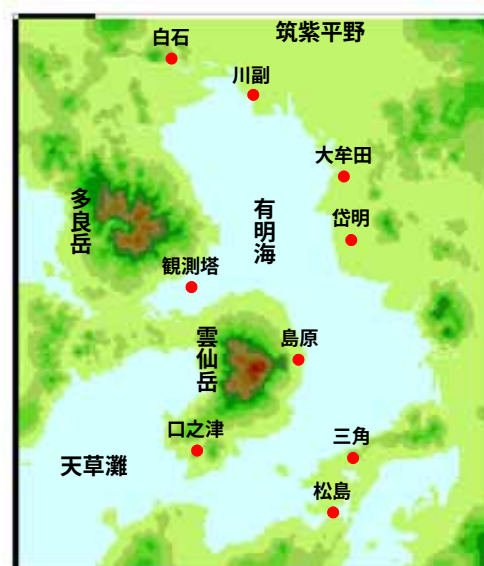


図-1 有明海周辺の地形およびAMeDAS観測点と九州農政局所有の観測塔の位置。

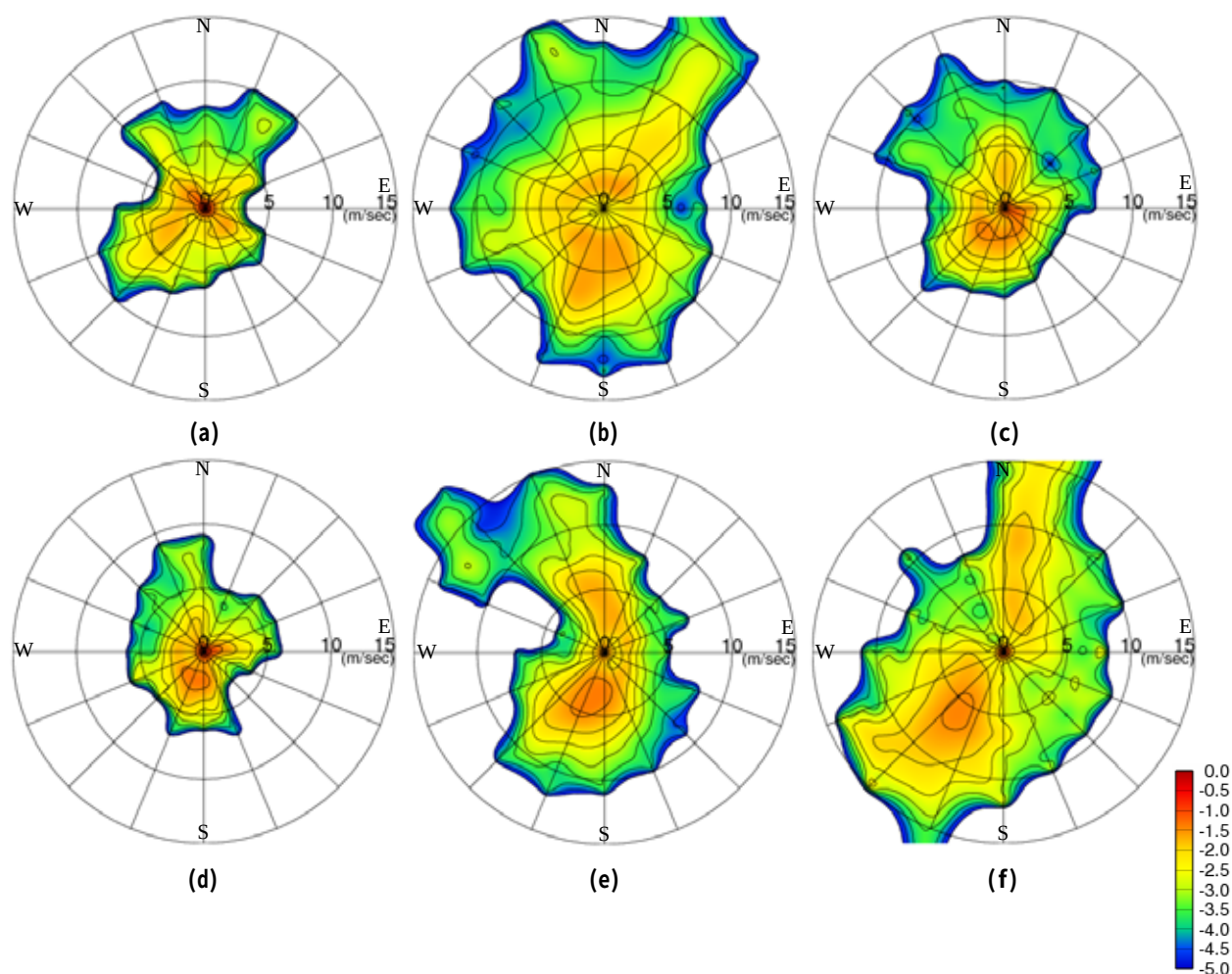


図-2 2006年から2008年の夏季における風向・風速出現確率分布。(a)；白石，(b)；川副，(c)；大牟田，(d)；岱明，(e)；島原，(f)；観測塔。

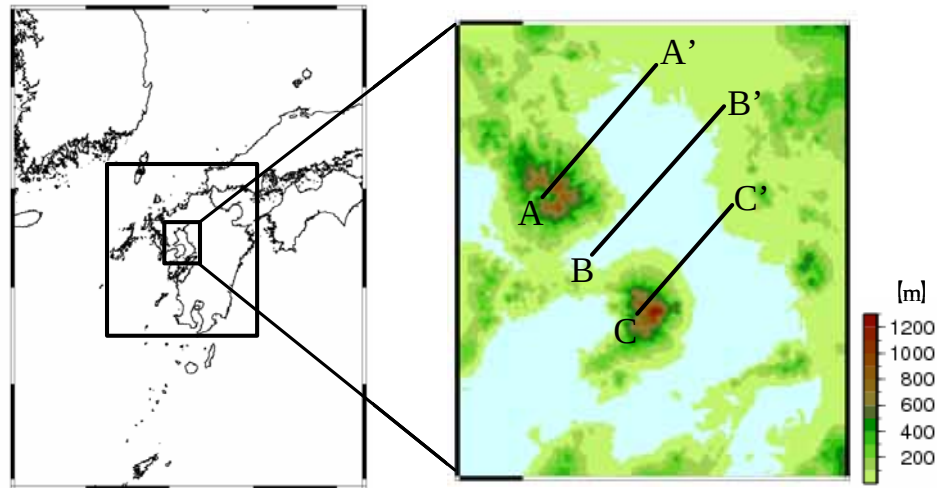


図-3 計算領域。(直線A-A', B-B', C-C'は、鉛直断面内の風速ベクトル分布を議論する際に選ばれた解析ライン。)

る。島原では南北に卓越した風向をもつ風が明瞭に現れている。出現する風の速度もかなり大きいことがわかる。これは、島原半島の地形的影響を受け、半島に沿った強い風が安定して形成されていることを示している。観測塔では6～10m/sの南西の風が安定して吹いており、他の地点と比較してその風速は大きいことがわかる。これは、南風が多良岳（標高983m）と雲仙岳（標高1483m）の間をすり抜ける際に縮流され、加速して諫早湾に噴き出すためと考えられる。

3. WRFを用いた風況シミュレーション

3.1 計算概要

図-3に計算領域を示す。計算にはメソ気象モデルWRFを用いた。全ての計算領域は有明海が中心となるように設定されており、領域1は784×1080km(格子幅8×8km)、領域2は344×400km(格子幅2×2km)、領域3は80×94km(格子幅500×500m)とした。領域1と領域2における土地利用データと地形データには、米国地質調査所から公表されている2分メッシュ値を用いた。領域3では、土地利用データとして国土地理院の1/10細分区画土地利用データを、地形データとして数値地図50mメッシュを使用した。初期条件及び境界条件にはNCEPから提供されているFNL Global Analysisデータを使用し、大気境界層スキームにはMYJスキームを、雲物理スキームにはWSM6スキームをそれぞれ用いた。図-3において示されている3本の直線A-A', B-B', C-C'は、後に鉛直断面内の風速ベクトル分布を議論する際に選ばれた解析ラインを示す。A-A'は多良岳と川副を結ぶライン、B-B'は観測塔を通りA-A'に平行なライン、C-C'は雲仙岳と岱明を結ぶラインである。

南風により島原半島沿岸で低酸素水塊の湧昇が観測された日、2008年8月2日を計算対象日を選んだ(李ら⁷⁾)。

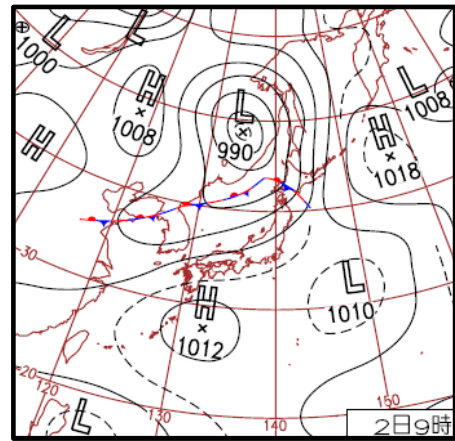


図-4 2008年8月2日9時の天気図。

図-4に2008年8月2日9時の天気図を示す。当時、九州南部にある高気圧から風が吹き出し、有明海には等圧線に沿って南寄りの風が吹きこんでいたものと考えられる。計算期間は助走時間を考慮し、2008年8月1日0時から72時間とした。計算で広領域と狭領域を設定し、ネスティング手法を用い2-Wayネスティングを採用した。また、多良岳と雲仙岳の存在が、有明海に吹き込む風に及ぼす地形の影響を評価するために、同じ条件で多良岳と雲仙岳を標高50mの平地に置き換えた場合の仮想計算も行った。

3.2 解析結果

図-5(a)～(d)に解析から得られた地表10mの高さにおける風速ベクトルの空間分布を6時間ごとに示す。図中の赤丸は、図-1で示したAMeDAS観測点と諫早湾観測塔の位置を示す。全体として、1日を通して天草灘から有明海に南西の風が安定して吹き込んでいたことがわかる。0時には雲仙岳と多良岳の間を通過した南西の風が縮流され、強められ、ジェットとなって有明海に吹き出していることがわかる。風向きも安定しており、南西寄り

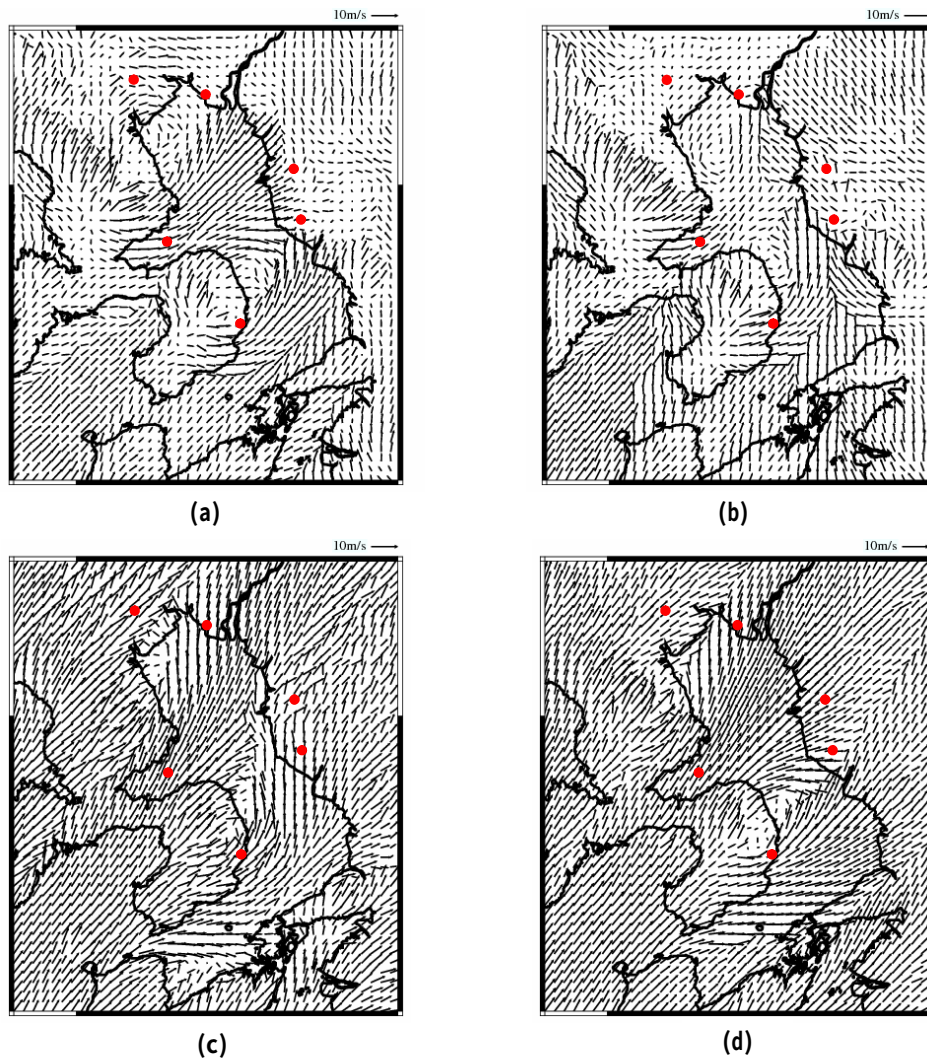


図-5 2008年8月2日を対象に解析された地表10mの高さにおける風速ベクトルの空間分布。(図中の赤丸は、AMeDAS観測点と諫早湾観測塔の位置を示す。)(a) ; 0時, (b) ; 6時, (c) ; 12時, (d) ; 18時。

ある。また、雲仙岳と多良岳の背後では、山を回り込む流れにより明瞭な渦対が形成されている。午前6時には天草灘から吹き込む南寄りの風が弱まったためか、諫早湾に吹き込む風が全体的に弱まり、有明海全体に渦流れが形成され、有明海上の風は非常に複雑な流れとなっている。12時には南西の風が強まり、有明海に吹き出す風も強まっていることがわかる。多良岳と雲仙岳背後に形成される渦対は若干明瞭ではないが、南から南西寄りの風が有明海全体に形成されていることがわかる。18時には南寄りの風はさらに強まり、諫早湾を吹き抜ける風はジェットとなり、筑紫平野にまで吹き込んでいるのがわかる。多良岳と雲仙岳背後では、渦対が明瞭に形成されている。

図-2で示したように、白石と岱明において風速が弱く、かつ風向が揺らぐ理由は、多良岳と雲仙岳を回り込む風が衝突し、弱められ揺らぐためと推測される。一方、川副で観測される安定した強い南寄りの風は、多良岳と雲仙岳の間から噴き出す安定したジェットによるものと思われる。ジェットが吹き込む大牟田において、安定した

強い南寄りの風が卓越しない理由は、AMeDAS観測点の地形に関係していると思われるが、今後詳細な検討を行う必要がある。島原では、解析結果からもわかるように、南西寄りの風は雲仙岳を回り込み、南寄りの風となっている。これは、島原AMeDASの観測結果とよく一致している。諫早湾では、南寄りの風は多良岳と雲仙岳の間を吹き抜け加速されることに加え、観測塔が海上に設置されていることにより、観測塔における風速が大きくなる理由と考えられる。

図-6(a)～(f)は、2008年8月2日のAMeDAS及び観測塔で得られた地上風の風向・風速と解析結果との比較を示す。直線の長さは風速を表し、風向は、上方を北側とし、直線の延びる向きが風下方向を示している。解析で得られた結果は、各地点のAMeDASデータと定性的によく一致しており、解析精度が比較的良好であることを示している。特に、白石と岱明で観測される風向の揺らぎ、川副、島原、観測塔で観測される安定した強い南寄りの風など、定性的特性が十分再現されている。

図-7(a)と(b)は、白石におけるAMeDASデータから得

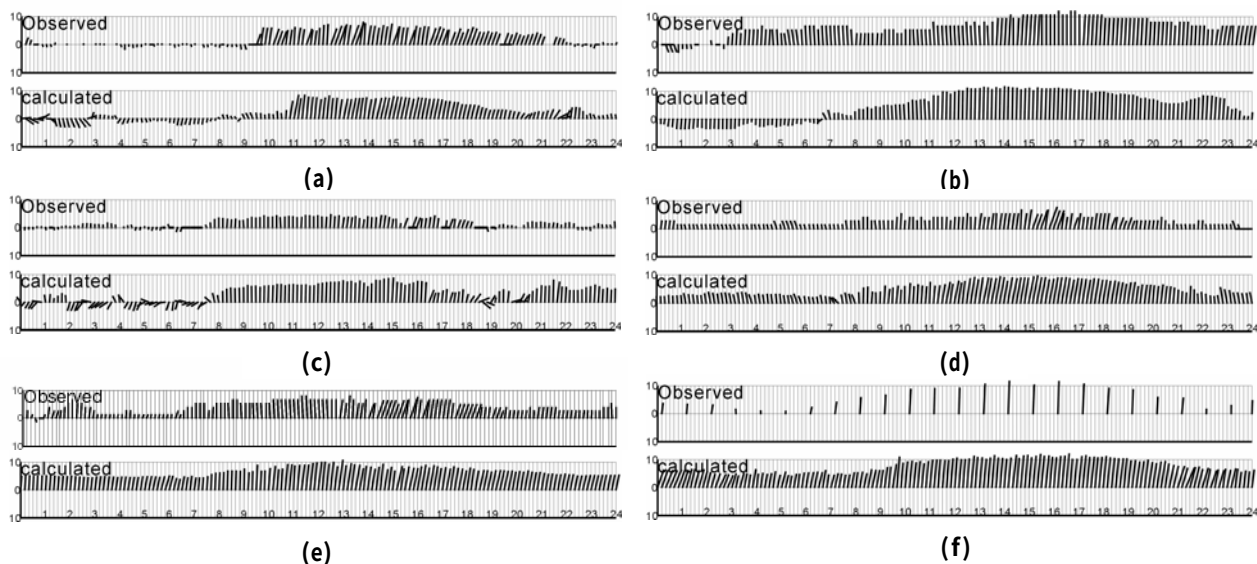


図-6 2008年8月2日のAMeDAS及び観測塔で得られた地上風の風向・風速と解析結果の比較。
(a)；白石, (b)；川副, (c)；岱明, (d)；大牟田, (e)；島原, (f)；観測塔。

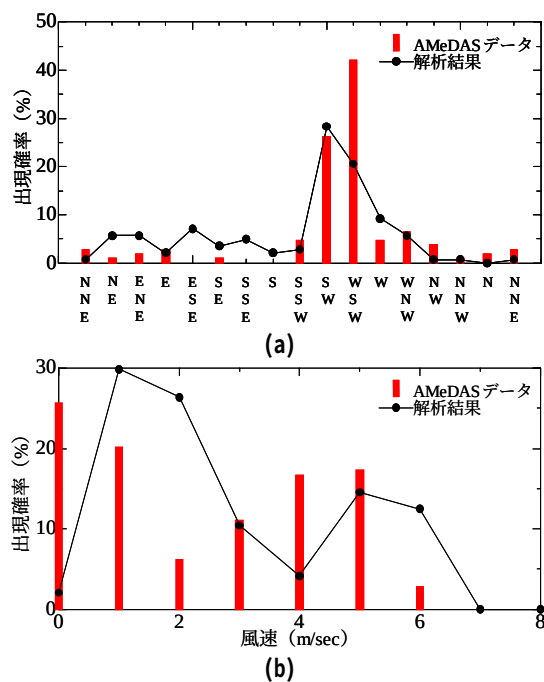


図-7 白石におけるAMeDASデータと解析結果における風向・風速出現確率の比較。(a)；風向, (b)；風速。

られた2008年8月2日の風向・風速の10分平均値の出現確率(棒グラフ)と解析から得られた10分ごとの瞬間風向・風速の出現確率(折れ線グラフ)を比較したものである。平均値と瞬間値の違いはあるものの、出現確率分布はかなり良く一致しており、解析結果は観測値を十分再現していると判断される。

図-8(a)～(c)は、それぞれ図-3に示したA-A', B-B', C-C'で示される鉛直断面内における風速ベクトル分布を示す。時刻は18時である。図-8(a)から、多良岳の背後にトラップされた小さな渦流れが形成されていることがわかる。図-8(b)からわかるように、B-B'断面では上空

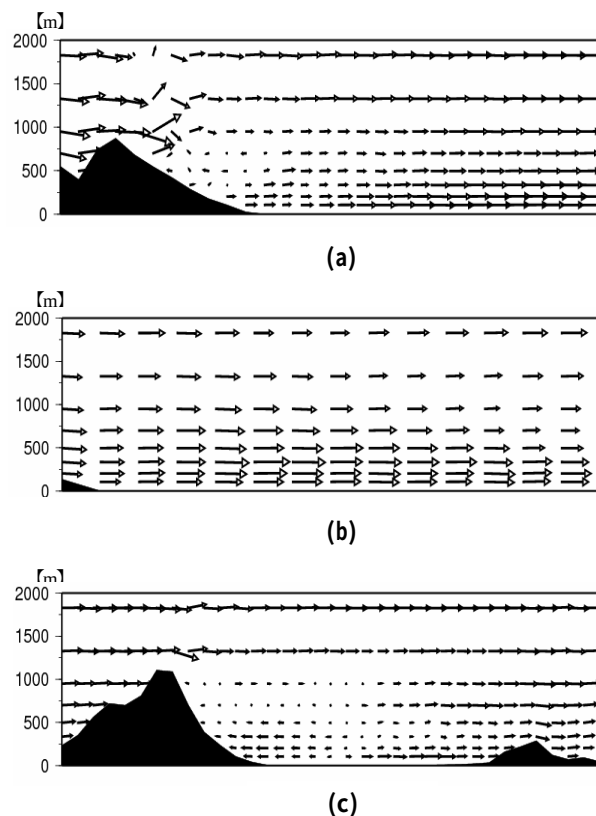


図-8 鉛直断面内における風速ベクトル分布。(a)；A-A'断面, (b)；B-B'断面, (c)；C-C'断面。

の風よりも海表面付近の風の方が強くなっていることがわかる。この理由は、前述したように、2つの山の間を吹き抜ける際に風が加速され、ジェットとなって海上に吹き出すためである。図-8(c)から、雲仙岳の背後では多良岳背後より大規模な渦流れが形成されていることがわかる。また、海表面で形成される逆流域も有明海の中央にまで達していることがわかる。これは、雲仙岳が

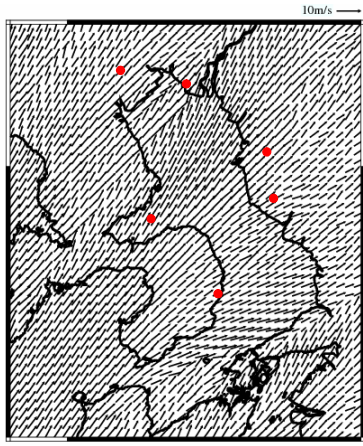


図-9 多良岳と雲仙岳を標高50mの平地に置き換えた場合の仮想計算結果（時刻は18時）。

多良岳よりも高いことに起因していると思われる。多良岳と雲仙岳の背後に形成される渦流れの高さは、山の標高と同程度で、高度約1000mに達している。

3.3 現況計算と仮想計算の比較

図-9では、多良岳と雲仙岳を標高50mの平地に置き換えた場合における仮想計算の結果を示す。時刻は18時である。海上での加速は見られるものの、図-5(d)と比較して、多良岳及び雲仙岳の背後に形成されていた渦流れは形成されず、南西の風が天草灘から有明海にほぼ一様に吹き込んでいることがわかる。図-10に現況計算と仮想計算によって得られた観測塔地点の海上10mにおける風速の比較を示す。現況における風速は、仮想の風速に比べて大きく、諫早湾に吹き込む南風の風速は雲仙岳と多良岳の影響で約20%程度強められることがわかる。

4 おわりに

有明海周辺のAMeDASデータおよび観測塔で得られたデータを用いて、風速・風向出現確率分布を作成し、有明海周辺の夏季の風況特性を明らかにした。また、WRFモデルを使用して、有明海周辺の風況の再現計算（現況計算）を行った。さらに、雲仙岳と多良岳の存在が風況特性に与える影響を明らかにするために、2つの山を平地に置き換えた仮想計算を行い、比較検討した。得られた結果を以下に要約する。

- (1) 夏季において、有明海では南風が卓越する。
- (2) 諫早湾に吹き込む南風は、雲仙岳と多良岳によって縮流、加速され、安定した風向をもつ。
- (3) 雲仙岳および多良岳背後には、渦対が形成され、この渦対の変動が有明海において複雑な風況を形成する。

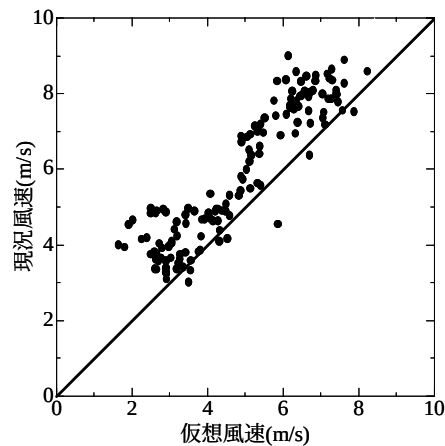


図-10 観測塔地点での現況計算と仮想計算における風速の比較。

(4) 諫早湾に吹き込む南風の風速は雲仙岳と多良岳の影響で約20%程度強められる。

今後は、春季から秋季にかけて卓越する北風についてもシミュレーションを実施し、有明海に吹き込む風の季節変化について検討していきたい。

謝辞：本研究は平成21年度科学研究費補助金（基盤研究(A)，21246078，代表研究者：松永信博）の援助を受けました。また、農林水産省九州農政局からは諫早湾内に設置された観測塔より得られた風向・風速データをご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤正典編：有明海の生きものたち，海游舎，2001。
- 2) 佐藤正典，東 幹夫，佐藤慎一，加藤夏江，市川敏弘：諫早湾・有明海で何が起きているのか？，科学7月号，岩波書店，pp. 882-894，2001。
- 3) 小松利光，矢野真一郎，斎田倫範，田井 明：有明海の潮流ならびに物質輸送の変化に関する研究，海岸工学論文集，第53巻，pp. 326-330，2006。
- 4) 堤 裕昭，岡村絵美子，小川光代，他6名：有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係，海の研究，12 (3)，pp. 291-305，2003。
- 5) Li H, N. Matunaga and T. Takino: Investigation on biochemical environments of seabed in Isahaya Bay, *Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, Vol.53, pp.1501-1506, 2009。
- 6) 木谷浩三：有明海における冬季の平均流について，海と空，第78巻，pp.129-134，2003。
- 7) 李 洪源，樋口秀太郎，松永信博：南風により諫早湾南岸で発生した低酸素水塊の湧昇，海岸工学論文集，第56巻，pp. 406-410，2009。

(2009.9.30受付)