

新潟県とその沿岸海上におけるだし風の再現実験

荒木 健太郎*

1. はじめに

新潟県内の河川沿いでは、特定の気圧パターンのときに「だし風」と呼ばれる局地風が発生する。だし風は地峡風やおろし風の特徴を持ち、下越では荒川や胎内川、三面川、阿賀野川（安田）沿い、上越では姫川、関川沿いなどで発生する（第1図右参照）。

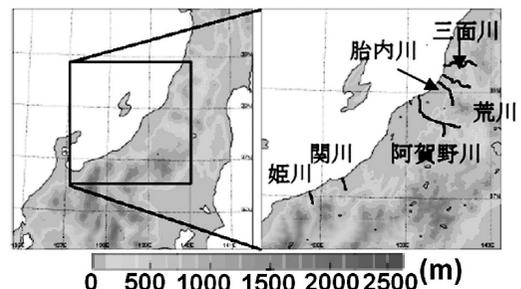
これらのだし風は、列車の運休を含む交通障害、家屋被害、農業被害の原因となっている。鴨宮（1970）は特別観測を行ってだし風の発生地域を調査し、これにより各だし風の発生地域や気圧場のパターンはある程度特定され、定量的な発生予測手法も提案されている。また、水科ほか（2003）は気象庁非静力学モデルJMANHM（以後NHM）による再現実験・感度実験を行い、鴨宮（1970）で報告された荒川だしを再現した。過去の研究では主に陸上での強風について議論されており、だし風が吹くときにその延長線上にあたる沿岸海上で吹く強風については観測手段も乏しく、ほとんど議論されていない。

本研究では、荒川、安田、関川、姫川のだし風について、過去の事例を抽出し、発生環境場と現象との関係を調査する。また、荒川だしの典型事例をNHMで再現し、だし風の詳細な発生地域を特定する。さらに、海上での強風について、感度実験の結果と衛星による海上風や海上での観測データとを比較することで、その要因を明らかにすることを目的とする。衛星による海上風として、MetOp-A衛星（Europe's first polar-orbiting meteorological satellite, 2006年10月打ち上げ）に搭載されているマイクロ波散乱計ASCAT（Advanced Scatterometer）と、QuikSCAT衛星（Quick Scatterometer, 1999年6月打ち上げ, 2009年11月運用終了）に搭載されたマイクロ波散乱計SeaWindsから推定されたものを用いた。

2. だし風事例の抽出とNHMの設定

2007～2009年の3年間に新潟県で強風災害の報告があった事例から、地上天気図、アメダスとJRの風向風速の観測資料を用いて、だし風事例を10ケース抽出した。この中でだし風の典型的な2事例（第1表参照）について、NHMによる再現・感度実験を行った。

NHMの計算領域と設定はそれぞれ第1図と第1表に示す。地形データはアメリカ地質調査所（USGS）の水平解像度約1kmの全球地形標高データ（GTOPO30）から作成した。以降、水平格子間隔5kmと1.5kmのNHMを5km-NHMと1.5km-NHMと表記する。5km-NHMの初期値・境界値はそれぞれ気象庁メソ解析（水平解像度：10km）、気象庁全球モデルの予報値（水平解像度：20km）から作成した。1.5km-NHMは5km-NHMの3時間予想値にネスティングした。湿潤過程としては、氷相を含むバルク法の雲物理過程を用い、5km-NHMではKain-Fritschの湿潤対流パラメタリゼーションを併用した。その他については、Saito *et al.* (2007)と同様に設定した。



第1図 モデルの計算領域と地形、だし風の吹く河川。塗分は標高（m）を表す。左：5km-NHM、右：1.5km-NHM（地形データにはUSGSのGTOPO30を使用）。右図の横幅は一辺約250kmである。

* Kentaro ARAKI, 銚子地方気象台技術課。

第1表 抽出した事例日とNHMの設定.

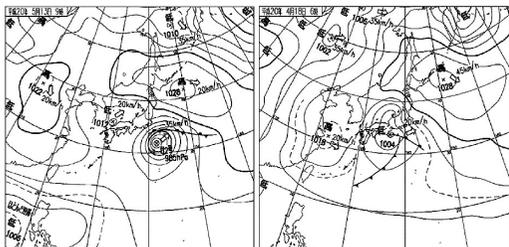
	5km-NHM	1.5km-NHM
格子数	102×102×50	165×165×50
水平格子間隔	5km	1.5km
鉛直格子	可変(最下層:20m, モデル上端:21801m)	
積分間隔	24秒	8秒
中心緯度経度	(37.6, 138.6)	(37.65, 138.7)
事例日 発現しただし風	初期時刻 (FT: 積分時間)	
2008年4月18日 荒川・安田岬	4月17日21時 (FT:15)	4月18日0時 (FT:12)
2008年5月12-13日 荒川・安田岬	5月12日9時 (FT:15)	5月12日12時 (FT:12)
	5月13日3時 (FT:9)	5月13日6時 (FT:6)

3. 荒川だしの事例解析

3.1 総観場

荒川だしの2事例が発生した時の地上天気図を第2図に示す。2008年5月13日09時(本文中の時刻については日本標準時とする)には、本州の南海上には東進する発達した低気圧が、日本海西部には別の低気圧が存在している。また、太平洋側にオホーツク海高気圧が張り出している影響で、新潟県付近では南西-北東方向に気圧傾度が大きくなっている。同時刻の秋田と輪島での高層観測によると、900hPa付近に逆転層が存在し、それより下層は安定層となっていた。これは、オホーツク海高気圧による沈降性逆転層だと考えられる。

2008年4月18日06時でも、本州の南岸を低気圧が東進し、北日本に高気圧が張り出している気圧配置にともなって、新潟県付近では東西方向に気圧傾度が大きくなっている。各地点の高層観測によると4月17日09時には、高気圧ともなう沈降性逆転層が存在していた。4月18日09時には、輪島では逆転層は存在しなかったが、秋田では600hPa付近に逆転層が存在



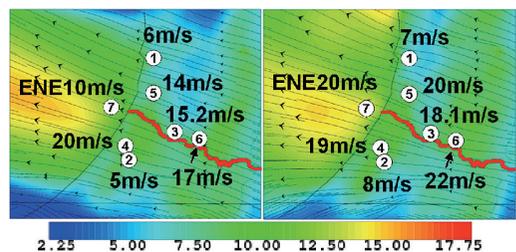
第2図 地上天気図. 左図は2008年5月13日09時, 右図は2008年4月18日06時.

し、800hPa付近より下層は安定層となっていた。

3.2 荒川だしの再現実験

1.5km-NHMで予想された荒川周辺の高度10mの水平風速分布(相似則により、高度20mのデータから診断)、アメダスとJR、および日本海洋石油資源開発(株)の観測点で観測された風速を第3図に示す。第3図中の数値は、アメダス観測地点の中条、村上是对象時刻付近の前10分平均風速、下関は前10分最大瞬間風速の、それぞれ値の大きいものを数値で表している。JRの観測点は最大瞬間風速、日本海洋石油資源開発(株)の観測点は瞬間風速を表す。また、第4図に1.5km-NHMと5km-NHMで予想された高度10mの水平風速分布を示す。

どちらの事例でも陸上での強風域は荒川沿いに同様に分布している(第3図)。実況では2008年5月13日朝にJR胎内川橋で 20ms^{-1} 、JR第一荒川で 17ms^{-1} を観測しており、アメダス下関でも 15.2ms^{-1} を観測している。2008年4月18日朝にはJR第一荒川とJR岩舟町駅で 22ms^{-1} 、JR胎内川橋で 19ms^{-1} 、アメダス下関で 18.1ms^{-1} を観測しており、1.5km-NHMで再現された風速分布と概ね一致している。また、これは鴨宮(1970)や水科ほか(2003)が解析した荒川だしの風速分布とも一致している。なお、5km-NHMよりも1.5km-NHMの方が風速を強く表現して強風域も集中しており、実況とも対応が良い(第4図)。これより、だし風を正確に再現するには5km格子では不



第3図 (a)2008年5月13日09時と(b)2008年4月18日06時の1.5km-NHMが予想した高度10mの水平風速分布(ms^{-1})。黒実線は流線、図中の数値・英字は観測された最大瞬間風速・風向、赤線は荒川を示す。横幅は一辺約40kmである。第4図a中の白枠の領域に対応している。また、図中の記号は以下の地点を示す。①村上、②中条、③下関:アメダス観測地点、④JR胎内川橋、⑤JR岩船町駅、⑥JR第一荒川、⑦日本海洋石油資源開発(株)プラットフォーム。

十分であり、地形をより詳細に表現できる1.5km 格子程度まで解像度を上げる必要があるといえる。

また、荒川沖の海上には陸上よりも顕著な強風域があり、佐渡の北海上まで達している。荒川沖4 km 付近の位置に日本海洋石油資源開発(株)のプラットフォーム(海洋ガス油田掘削施設)では、2008年5月13日09時に東南東 10ms^{-1} 、2008年4月18日06時に東南東 20ms^{-1} を観測している。これは、1.5km-NHMの結果とほぼ一致している。

3.3 荒川だしの海上風の感度実験

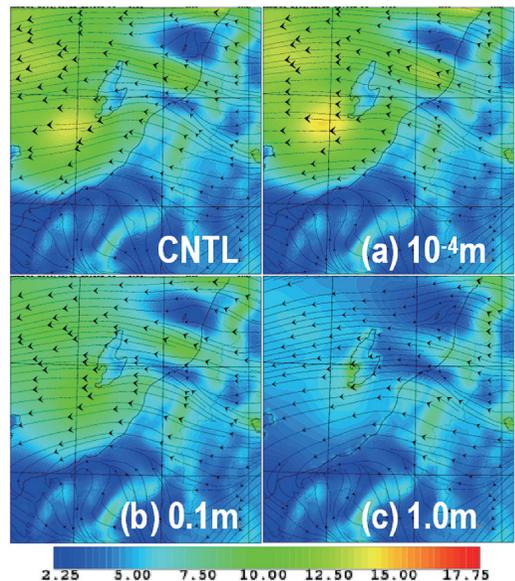
NHMでの陸上の粗度は土地利用状況を考慮して各格子で設定した値を予報時間内で変化させずに用いているが、海面の粗度は風速に依存するため、大気最下層の風を用いて毎ステップ診断して変化させている(原 2008)。そこで本研究では、粗度の違いによる海上風の表現を調べるために、日本海上の格子を陸上に変更し、粗度を変えて感度実験を行った。

2008年5月13日の荒川だしの事例について、5 km-NHMで陸上として扱う日本海上の格子の粗度を、(a) 10^{-4}m (海面と同程度)、(b)0.1m(草丈1mの畑や草地と同程度)、(c)1.0m(森林~大都市と同程度)にして計算した。第5図に感度実験の結果を示す。

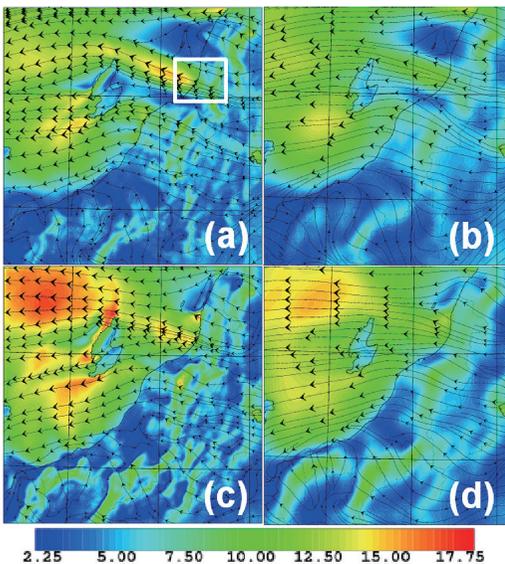
標準実験の結果では海上風が強いところで 14ms^{-1}

弱であるのに対し、(a)では対応する領域の風速が 14.5ms^{-1} であり、やや強く表現されているがほとんど違いはない。このことは、海上でも陸上でも粗度が同程度であれば同じ程度の風が表現されることを示している。これに対して、(b)では海上の強風域の風速は 11ms^{-1} 程度に弱まり、さらに粗度の大きい(c)では強風域が表現されなくなる。

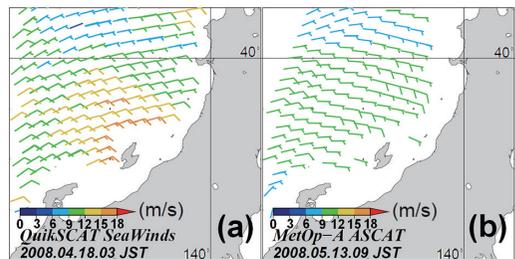
以上から、だし風の延長線上にある海上の強風域は、だし風が粗度の大きい陸上から粗度の小さい海上へ抜けて強まっていると結論づけられる。



第5図 左上図は第4図上段右と同じ(標準実験)、その他は陸上として扱った日本海上の格子の粗度を(a) 10^{-4}m 、(b)0.1m、(c)1.0mとした感度実験の結果。



第4図 高度10mの水平風速分布 (ms^{-1})。 (a) 1.5 km-NHM・(b) 5 km-NHMは2008年5月13日09時、(c)1.5km-NHM・(d) 5 km-NHMは2008年4月18日06時。黒実線は流線を表す。



第6図 QuikSCAT/SeaWindsとMetOp-A/ASCATの海上風速分布。(a)はQuikSCAT(2008年4月18日03時)、(b)はASCAT(2008年5月13日09時)を表す。

3.4 QuikSCAT/Seawind, MetOp-A/ASCAT
の海上風と NHM 地上風の比較

第 6 図に両事例発生時の QuikSCAT/SeaWinds と MetOp-A/ASCAT による海上風 (高度10m, 水平解像度25km) を示す。なお, 2008年 4月18日の事例については, だし風が吹いている期間に ASCAT が第 4 図の領域を捕捉していなかった。2008年 4月18日03時の QuikSCAT は, 1.5km-NHM の結果 (第 4 図c) と非常に良く対応している。2008年 5月13日09時の ASCAT では, 佐渡の北海上で約11ms⁻¹を解析しているが, Cobb *et al.* (2008) によると ASCAT の海上風は10~15ms⁻¹以上では QuikSCAT よりも2.5~5 ms⁻¹程度弱く表現されるとされており, これを考慮すると1.5km-NHM (第 4 図 a) との対応が良いといえる。また, 両事例の ASCAT, QuikSCAT とともに佐渡の北海上で風速を強く表現しており, 1.5km-NHM との表現とも一致している。

第 2 表 事例毎の高層観測実況と各種パラメータ。事例毎に代表できる観測点を灰色で, だしが観測された時間帯を括弧内に示した。

だし風の種類 高層観測時刻 (だし風が発生した時刻)	高層観測地点	u ₀	θ ₁	θ ₂	h ₀	m ₀	Fr	Mc
荒川だし 2008年5月13日09時 (12日20時~14日0時)	秋田○	11.8	284.9	294.4	1290	819	0.577	0.640
	三沢●	10.8	261.8	269.1	1332	819	0.761	0.931
	籠野○	18	300.5	300.3	3061	819	0.645	0.269
安田だし 2008年5月13日09時 (12日20時~14日0時)	秋田△	11.8	284.9	294.4	1290	1148	0.577	0.897
	三沢▲	10.8	261.8	269.1	1332	1148	0.761	0.931
	籠野△	18	300.5	308.3	3061	1148	0.645	0.375
荒川だし 2008年4月18日08時 (18日03時~19日08時)	秋田●	26.7	304.3	308.2	4425	819	1.131	0.155
	三沢・籠野○				逆転層なし			
	相模○	5.14	290	290.9	996	819	0.264	0.822
安田だし 2008年4月18日08時 (18日03時~18日12時)	秋田▲	26.7	304.3	308.2	4425	1148	1.133	0.259
	三沢・籠野△				逆転層なし			
	相模△	5.14	290	290.9	996	1148	0.264	1.153
荒川だし 2008年3月13日21時 (13日15時~4日06時)	秋田○	19.078	284.6	289.8	1390	819	1.346	0.593
	三沢○	21.1	284.1	289.7	1317	819	1.458	0.622
	籠野●	27.756	290.5	306.3	2566	819	0.761	0.312
安田だし 2008年3月13日21時 (13日15時~4日06時)	秋田△	19.078	284.6	289.8	1390	1148	1.346	0.832
	三沢△	21.1	284.1	289.7	1317	1148	1.458	0.872
	籠野▲	27.756	290.5	306.3	2566	1148	0.761	0.437
関川だし・堀川だし 2008年3月13日21時 (13日15時~4日06時)	秋田□	19.078	284.6	289.8	1390	972	1.346	0.704
	三沢□	21.1	284.1	289.7	1317	972	1.458	0.738
	籠野■	27.756	290.5	306.3	2566	972	0.761	0.333
荒川だし 2008年5月13日09時 (12日20時~14日0時)	山台●	18	303.2	304.1	4506	819	1.052	0.133
	秋田○	29.8	304.0	309.2	5590	819	1.063	0.147
	三沢○	26.2	298.1	299.2	2409	819	2.756	0.389
	籠野○	8.7	306.5	300.6	3152	819	0.820	0.260
安田だし 2008年5月13日09時 (12日20時~14日0時)	山台▲	18	303.2	304.1	4506	1148	1.052	0.223
	秋田△	29.8	304.0	309.2	5590	1148	1.063	0.206
	三沢△	26.2	299.1	299.2	2409	1148	2.756	0.459
	籠野△	8.7	306.5	300.6	3152	1148	0.820	0.364
関川だし・堀川だし 2008年5月13日09時 (12日20時~14日0時)	山台□	18	303.2	304.1	4506	972	1.057	0.212
	秋田□	29.8	304.0	309.2	5590	972	1.063	0.176
	三沢□	26.2	298.1	299.2	2409	972	2.756	0.389
	籠野■	8.7	306.5	300.6	3152	972	0.822	0.233

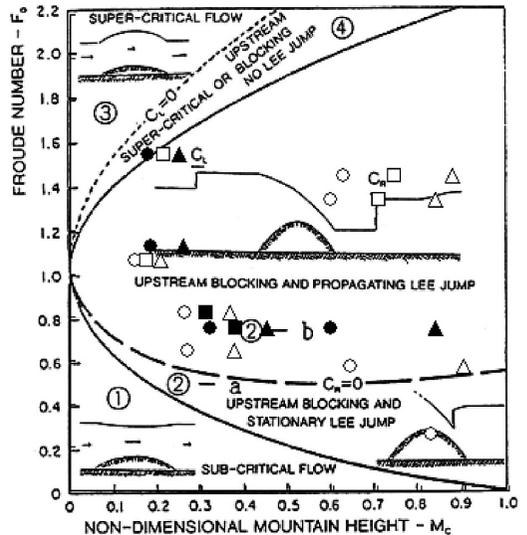
4. 結果の解釈

おろし風などの山越え気流では跳ね水現象 (hydraulic jump) が発生していると考えられる場合が多い (齊藤 1994; 宮川 2002)。水科ほか (2003) と同様に, 抽出した事例についてフルード数等のパラメータを高層観測から読み取って計算したものを第 2 表に, Saito (1992) で示された hydraulic jump の種類を判定するレジーム図に上述のパラメータをプロットしたものを第 7 図に示す。

浅水流 (流体層の厚さよりも水平スケールが十分大きい流れ) を仮定したとき, 下層大気の流れは流体層の深さで無次元化した山の高さ Mc とフルード数 Fr で第 7 図のように決定される。山を越える浅水流を考える場合に, 内部重力波の位相速度で無次元化した上流側の流速として Fr は

$$Fr = \frac{u_0}{\left(\frac{\theta_2 \theta_1}{\theta_1} g h_0\right)^{\frac{1}{2}}}$$

で与えられる。ここで, u_0 は逆転層下の最大風速 (ms⁻¹), θ_1 は逆転層下の温位 (K), θ_2 は逆転層上の温



第 7 図 山を越える浅水流のレジーム図 (Saito 1992)。第 2 表の Fr (縦軸の Fo は Fr と同じ), Mc をプロットしており, 第 2 表の高層観測点に付加した記号と対応している。

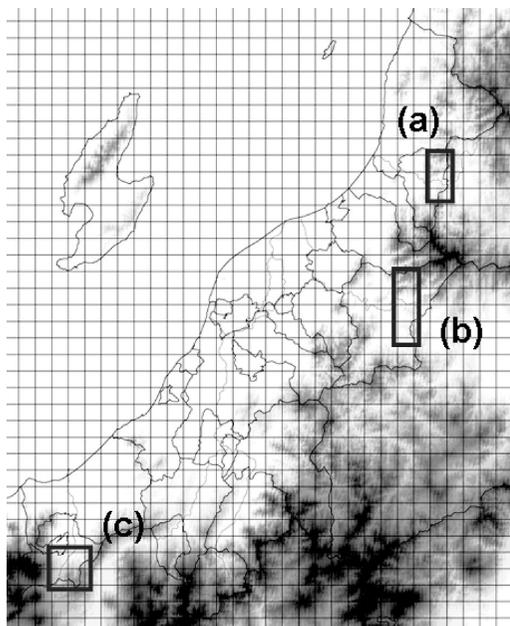
位 (K), h_0 は逆転層の高さ (m) である。また, Mc は上流側の流体の深さで無次元化した山の高さで,

$$Mc = \frac{m_0}{h_0}$$

で与えられる。ここで, m_0 は平均標高 (m) であり, 本研究では国土地理院発行の数値地図250mメッシュ (標高) から河川毎に一定領域 (第8図参照) をとってその標高の最大値として定義した。

2008年4月18日の事例では, 09時に太平洋側の海上で濃霧が発生していたため, 三沢や館野では逆転層が見られないが, 他事例では全て逆転層が存在している。高層観測点については, 各事例の総観場と風向に基づき, だし風の対象地域の上流側の成層状態を表すと考えられるものを代表地点として採用し, 第2表中で高層観測点の名称を灰色で塗りわけした。

第2表の気象状態から推定される下層大気の流れは, ほぼ全ての事例で hydraulic jump が発生し, jump の先端は風下側に移動し, 流速 (Fr) が大きいほどその移動速度は大きくなる種類であると考えられる。しかし, だし風の詳しい力学構造については今後の検討が必要である。



第8図 Mc を算出した領域。(a) 荒川だし, (b) 安田だし, (c) 姫川・関川だし。

5. まとめ

2007~2009年の強風事例から新潟県で発生しだし風の典型的な2事例について, NHMによる再現実験を行った。陸上での強風域については, これまでの調査とほぼ同様の結果が得られ, 観測事実とも一致していた。5km-NHMよりも1.5km-NHMの方が地上の風速を強く表現しており, 実況との対応が良かった。また, これまで詳細な調査がなかった海上については, QuikSCAT/SeaWindsとMetOp-A/ASCATの海上風, 海上観測点の実況も踏まえて, だし風の延長線にあたる沿岸海上では強風がさらに強まっていることがわかった。海上の粗度を変更する感度実験から, 海上での風速の強化は, 陸上と海上の粗度の違いによって生じていることがわかった。

本研究では荒川だしの事例を取り上げたが, 安田だし, 関川だし, 姫川だしについてもNHMによる再現実験で海上の強風が予想されており, 実際に強風が吹いていたと考えられる。いずれのだし風も, 気圧パターンのほか安定層や鉛直シアの存在も発生条件のひとつとして監視する必要がある, 気象防災情報の発表にあたっては陸上だけではなく海上も対象として発表する必要があるといえる。本研究の結果が, 漁業・船舶関係者を対象にした海上の強風注意報・警報の運用に利用されることが期待される。

謝辞

本研究の原稿作成にあたって, 気象庁予報部数値予報課の加藤輝之博士から非常に丁寧にご指導いただきました。天気編集委員として本稿を担当していただいた気象研究所予報研究部藤部文昭第三研究室長には数々の有益なコメントをいただきました。この場を借りて感謝を申し上げます。また, 新潟地方気象台中垣昭夫さん, 須藤正成さんには, 新潟県のだし風の特徴や解析方法について有益な助言をいただきました。気象庁数値予報課の片山桂一さん, 高橋昌也さんには QuikSCAT / SeaWinds と MetOp-A / ASCAT の海上風のデータ品質や取り扱いについてご教授いただきました。心から感謝を申し上げます。

実況解析の風データは, JR東日本: 東日本旅客鉄道株式会社と日本海洋石油開発(株)に提供いただきました。海上風の解析には NASA の QuikSCAT / SeaWinds と KNMI の MetOp-A / ASCAT のデータを使用しました。また, NHM の地形データには USGS の GTOPO30 を使用しました。hydraulic jump

の種類を判別する際の Mc は国土地理院発行の数値地図250m メッシュ (標高) を使用して計算しました。各関係者の皆様に心より感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- Cobb, H. D. III, R. Knabb, P. S. Chang and Z. Jelenak, 2008: Preliminary assessment of the utility of ASCAT ocean surface vector wind (OSVW) retrievals at the Tropical Prediction Center / National Hurricane Center (TPC/NHC). 28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 15B.4.
- 原 旅人, 2008: 地表面過程. 数値予報課報告・別冊, (54), 166-186.
- 鴨宮亀保, 1970: 荒川ダシ観測調査報告. 研究時報, 22, 417-427.
- 宮川良弘, 2002: NHM でみた山越え気流によるウインドシヤー, 東京管区調査研究会誌, (35).
- 水科 進, 斎藤寿秋, 須藤正成, 足立晋平, 2003: ミニスーパー版 NHM による, だし風のシミュレーション. 東京管区調査研究会誌, (36).
- Saito, K., 1992: Shallow water flow having a lee hydraulic jump over a mountain range in a channel of variable width. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 775-782.
- 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.
- Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita and Y. Honda, 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.