

第5章 局地風の将来予測の可能性

日本には、だし風・おろし風などと呼ばれる地形によって強化される局地風が数多く存在する。局地風は電車の脱線や船の転覆などの事故を起こすこともあるので、これらが発生する可能性がある時は注意が必要である。これまでの局地風を取り扱った数値実験は、一般風によるものやケーススタディーが主であった。最近では地球温暖化に対する関心が高まり、これらの局地風が地球温暖化によってどのように変化するかという事が多くの人の関心を集めている。そこで、ここでは地球温暖化予測情報第8巻のデータで、地域特有の気象が現在気候で再現されているのか、また将来温暖化によってどのように変化するのかを調べた。

5.1 六甲おろしの将来変化予測の可能性

六甲おろしは、兵庫県神戸市の北に東西に広がる六甲山から吹き降ろしてくる冷たい北風の事である。ここでは、まずその六甲おろしが、現在気候でどの程度再現されているのかについて述べ、次にその将来予測可能性について、温暖化予測情報第8巻のデータを使って検討してみる。

検証には1979年から2008年までの30年間の特別値のアメダス観測データを使っている。この中から欠測と風速が0.5m/s未満を除く248,678時間のデータを使う。

データの比較には、それぞれ神戸及び三田にあるアメダス観測所から最も近い陸上の格子点値を用いた。NHRCM05における風速は地上から10mの高度におけるもので、アメダス観測における高度とは異なる。

まず、現在気候再現実験（1980-2000年）において六甲おろしがどの程度再現されているかを調べてみる。六甲おろしの定義であるが、ここでは神戸において特別値で風速8.5m/s以上風向が北北西～北北東の時をおろしが起きていると定義した。アメダスでは0.39%、NHRCM05の現在気候では0.92%の確率でおろしが起きている。

アメダスでは六甲おろしが吹く日は、96%の確率で神戸の風速の方が三田より大きくなっており、その差の平均は5.3m/sである。これに対しNHRCM05では、その確率は74%で風速差は1.6m/sと小さくなっている。これは、六甲山の山頂は実際931mあるのには対し、モデル地形では403mと半分以下の高度になっており、5kmの格子では十分におろしを表現しきれていないことが最大の原因であると考えられる。

六甲おろしの例として2000年2月11日21UTC（モデル時間）に起きたおろしについて述べる。当日鉛直断面で等温緯線を見ると（図5.1.1）、山を越えた所で高温位の部分が下方に垂れ下がっていることがわかる。また、山を越えて地表へ向かう流れがその風下で再び上昇しており、ハイドロリックジャンプが見られる。NHRCM05でおろしが起きている時にはほとんどの場合この現象が見られ、神戸におけるおろしによる風速の強化はアメダス観測よりは弱いものの、NHRCM05でおろしを再現すること可能であることが示された。

季節別の六甲おろしの発生頻度を見ると（図5.1.2）、観測、モデル共に夏にはほとんど発生していないが、その他の季節で発生しており、特に春と秋の発生頻度が高い。NHRCM05が季節変化をよく再現していることがわかる。神戸における冬季の風向の最大頻度は、西寄りの風で特に風速8.5m/s以上の時は77%が西南西から西北西の風向となっており、北寄りの頻度は多くない。いずれの季節にも共通して言えることは、おろしが発生するのは低気圧が日本を通過し神戸が低気圧の後面になった時である。そのため低気圧が日本付近を通過する頻度の高い春と秋におろしの発生頻度が高くなる。

また、21世紀末（2075-2099）には年間のおろしの発生頻度は減少するが、その大きな原因は春と秋のおろしの発生頻度が減少することであり、冬季の発生頻度はほとんど変わらないことがわかる。特におろしの減少している4月と9月について、現在と将来の低気圧の存在頻度の差を図5.1.3に載せる。これを見ると、関東

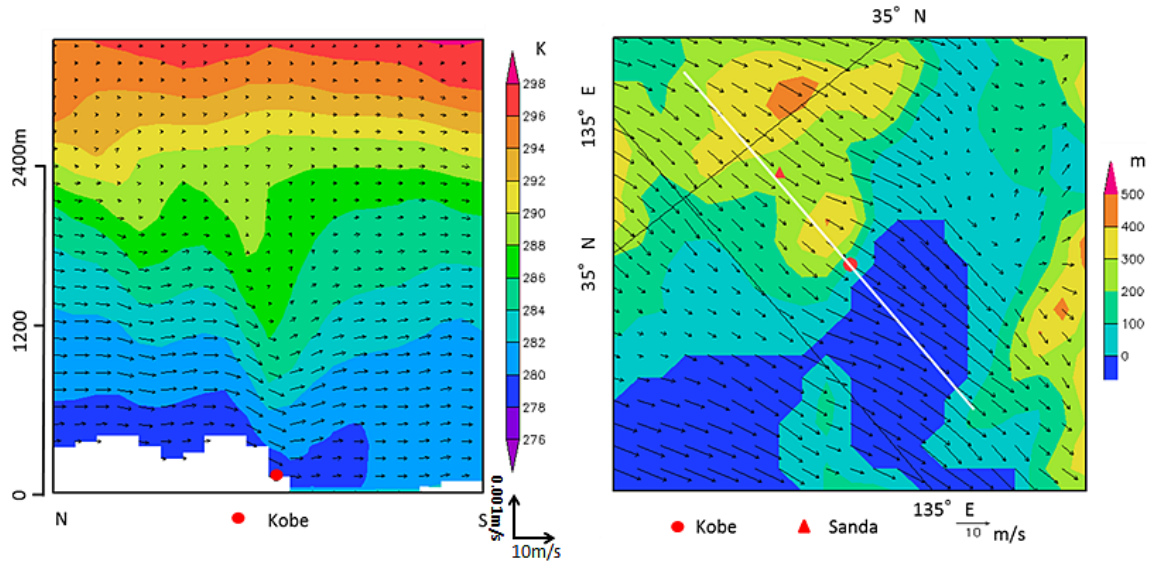


図5.1.1 おろしが起きた2000年2月11日21UTC（モデル時間）における右の図の白線上における温位と風の鉛直断面図（左）。神戸付近の地上風の分布（右）。コンターはモデル高度。

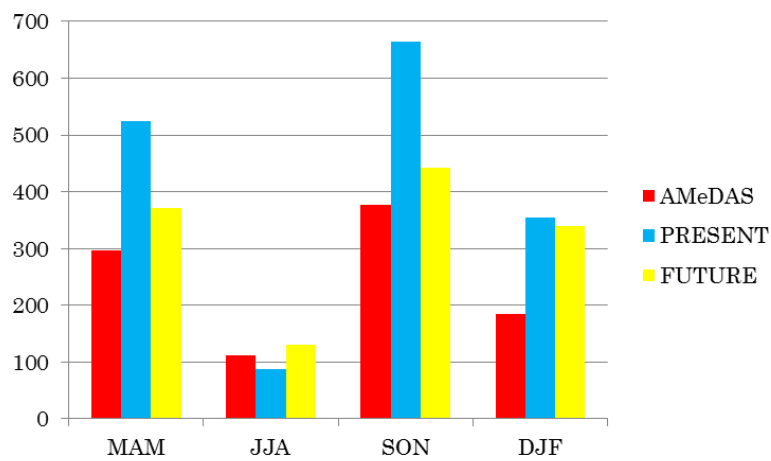


図5.1.2 アメダスとNHRCM05の現在、将来における六甲おろしの発生頻度。

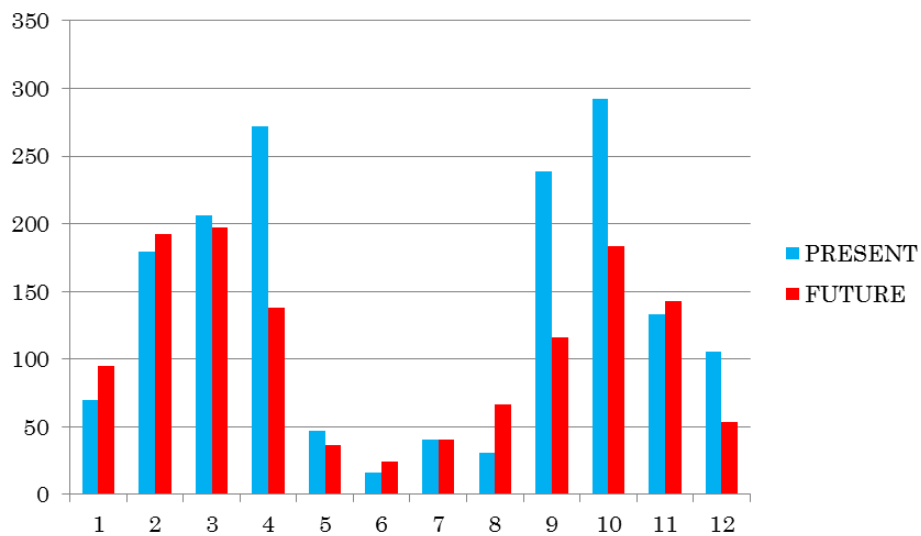


図5.1.3 NHRCM05における各月ごとの六甲おろしの発生頻度。

沖と三陸沖の太平洋上で低気圧の存在頻度が減少している。このため将来の六甲おろしの頻度が減少したものと考えられる。

現在気候において六甲おろしの再現性はその頻度、強度共によく再現しているとは言い難い。しかし、鉛直構造から見ると、山越え気流の特徴を再現していることや、発生時に低気圧が神戸より東側に位置していることなどから、定量的なおろしの将来変化予測は現段階では難しいが、定性的には将来おろしは減るであろうという事は推測される。

5.2 やまじ風の再現性と将来変化

やまじ風は、四国の法皇山脈から瀬戸内沿岸地域にかけて吹き降ろす強風である。この風は日本の三大悪風に数えられ、時に40m/s 近くの強風が吹くこともあり、瀬戸内沿岸地域にとって防災上非常に重要な風となっている。

高見（1991）は、三島アメダスのデータを用いてやまじ風を以下の3つの条件で調査している。

- 平均風速 5 m/s 以上
- 風向が南東～南西
- フェーン現象による昇温

1980年から2000年の20年間のアメダスデータの1時間値から、この条件を用いて事例を抽出したところ、やまじ風の発生回数は年平均10.3回であった。

次に、水平解像度 5 km の地域気候モデル（NHRCM05）で、やまじ風がどのように再現されているかを調査した。NHRCM05でやまじ風を再現していると思われる時刻における四国の南北断面をみると、山の風下側でハイドロリックジャンプや温位の落ち込みが見られ、上空にはよどみ層が見られていた（図5.2.1）。また、同時刻に四国の南側の上空に、鉛直シアーが再現されていた（図5.2.2）。このような状況は、実際にやまじ風が吹くときに現れるものであり、NHRCM05でやまじ風が発生するような環境場を再現できていることが確認された。

NHRCM05によるやまじ風発生時の環境場の再現が確認できたので、やまじ風の発生回数について調査した。アメダスでの事例数の捕捉と同じ条件を用いて事例数を調べたところ、20年間の平均で50.4回となった。アメダスから求めた事例数と比べ約5倍であり、NHRCM05ではかなり多い結果だった。

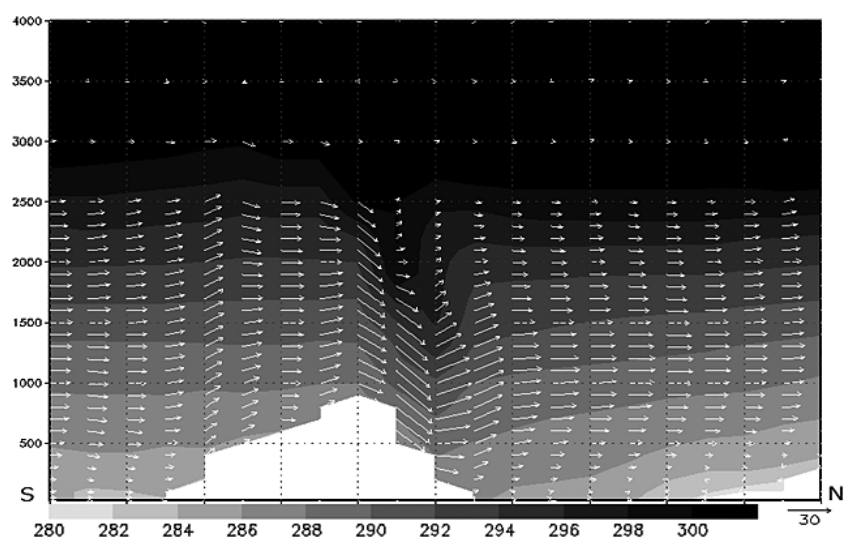


図5.2.1 温位（シェード）と南北・鉛直風（ベクトル）。白色は地形。

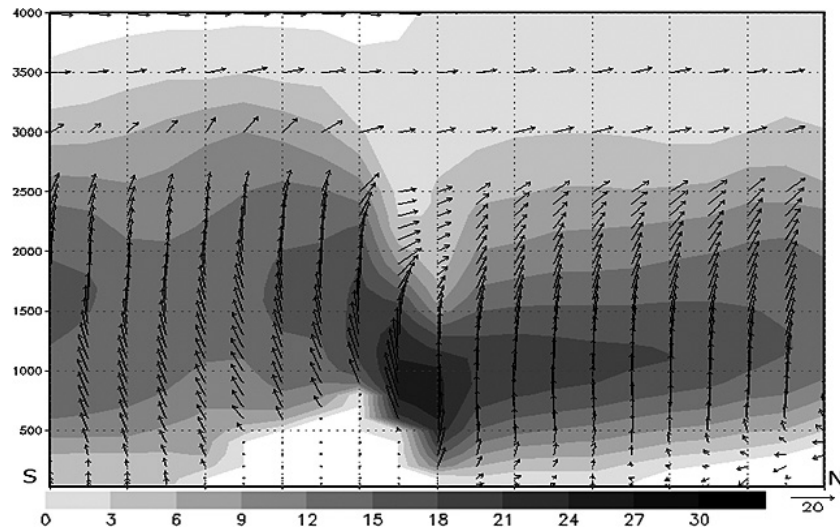


図5.2.2 南風成分の風速（シェード）と水平風（ベクトル）。

NHRCM05とアメダスの平均風速を比較したところ、アメダスが1.54m/sであったのに対し、NHRCM05の地点では4.12m/sとなっていた。やまじ風の条件である南寄りの風の風速頻度分布をみると、実際よりも強い風の頻度が多かった（図5.2.3）。また、5 m/s以上の風の風配図を見ても、アメダスと比較して南風の割合が高くなっていた（図5.2.4）。これらの影響により、NHRCM05ではやまじ風の発生回数が多くなってしまったと考えられる。

NHRCM05で風速が強く再現され、風向ではアメダスと比べ南風が大きくなった要因として、NHRCM05の地形の再現性の低さが考えられる。三島アメダスの南側の地形では、実際は1,400m以上の標高が、NHRCM05では800m程度の高さとなっていた。また、瀬戸内側の斜面が実際の地形と比べ、なだらかな地形になってしまった。このため、南風が山にさえぎられることが少なくなり、南風の割合が増加したと考えられる。

地形の再現性を高めるため、解像度を高めた格子間隔2 kmのNHRCMを実行した（NHRCM02）。NHRCM02はNHRCM05からダウンスケールし、5年分のデータを作成した。解像度を高めることによる風速や風向への影響と、やまじ風の発生事例数の変化について調査した。

NHRCM02では、弱い風の頻度が増え、5 m/s以上の風の割合が減り、風速に改善が見られ、アメダスの頻

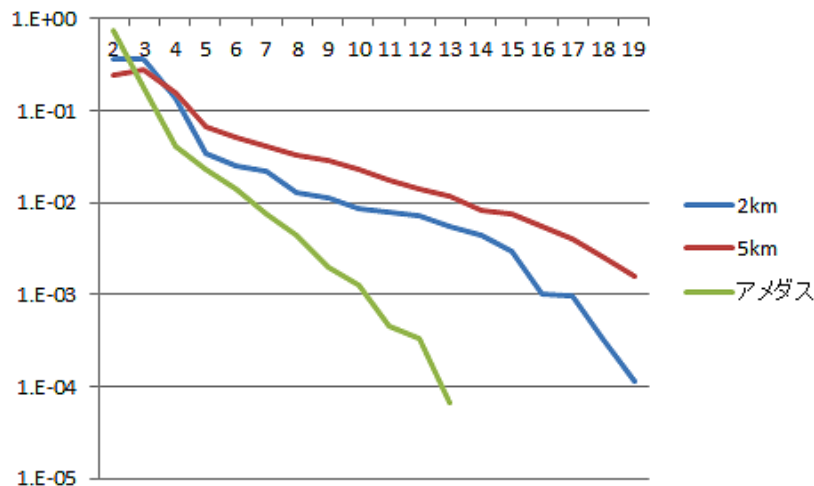


図5.2.3 南西から南東風の風速頻度分布。

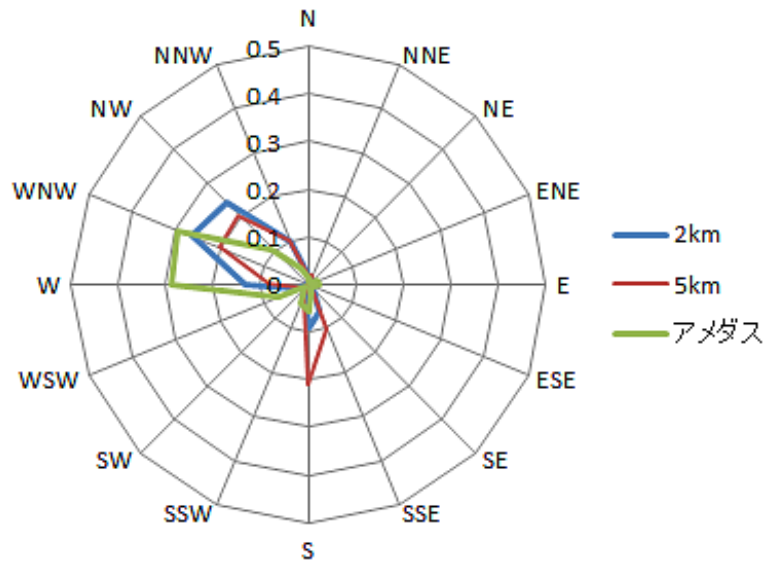


図5.2.4 風速 5 m/s 以上の風配図。

度分布に近づいた。また、5 m/s 以上の風の風配図については南よりの風の割合が減少し、アメダスの分布に近づいた。解像度を高めることにより風の再現性が高まったことが確認された。

やまじ風の事例数をこれまでと同様の条件で NHRCM02 から抽出したところ、5 年間の平均で 30.6 回となった。NHRCM05 の年平均 50.4 回と比較するとかなり少なくなったが、アメダスの年平均 10.3 回と比較すると多い。

NHRCM02 の平均風速をみると、3.75 m/s と NHRCM05 と比べると小さくはなっているが、アメダスの 1.54 m/s と比較してまだ風速が大きく、やまじ風の事例数が多くなっていると考えられる。

風に対してバイアス補正を行うことで、やまじ風の再現性を高められないか検討した。風速の補正方法は、地球温暖化予測情報第 8 巻で気温や降水量に適応した Piani *et al.* (2010) の手法を参考にし、アメダスと NHRCM02 の風速データをそれぞれ西風成分と南風成分に分け、それらを降順にならべ、NHRCM02 とアメダスのデータ間に線形関係があることを仮定し、最小二乗法により補正係数を求め、風速を補正した。

風速を補正した結果、平均風速は 2.35 m/s となり改善された。また、南風の風速頻度分布でも 10 m/s 以上の風で大幅に改善していることが確認された (図 5.2.5)。この補正をしたデータを用いて、やまじ風の条件をあてはめ事例数を調査したところ、年平均 16.8 回となり大幅に改善された。

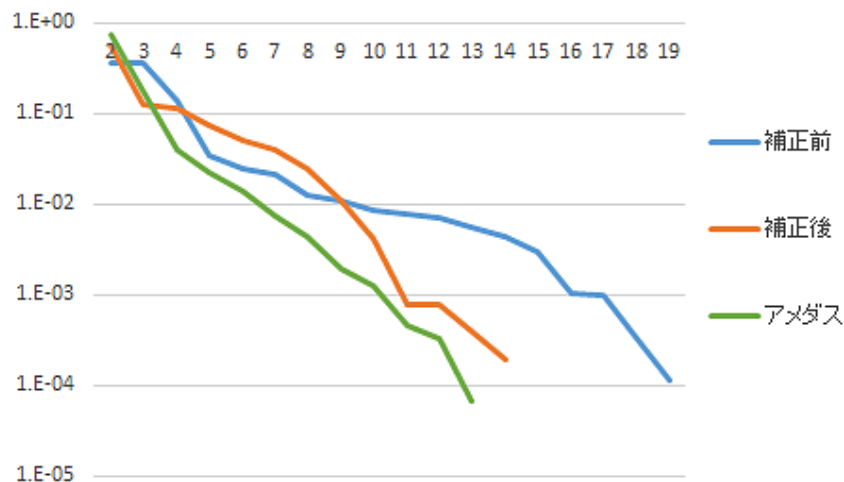


図5.2.5 南西から南東風の風速頻度分布。アメダスと NHRCM02。

表5.2.1 やまじ風の事例数

	年平均発生回数 (回)
アメダス	10.3
NHRCM02 (現在、補正前)	30.6
NHRCM02 (現在、補正後)	16.8
NHRCM02 (将来、補正前)	33.4
NHRCM02 (将来、補正後)	17.4

NHRCM02の結果は実際のアメダスの観測よりも風が強く、やまじ風の事例数の再現では多く予測していたが、バイアス補正を行うことで事例数に改善が見られた。地球温暖化予測情報第8巻は、将来気候の予測を5 kmのNHRCMで行っている。この将来気候のデータをダウンスケールし、解像度2 kmで5年分計算し、現在気候と同様にバイアス補正を行ったうえで、将来におけるやまじ風の発生回数を調査した。アメダス、現在気候、将来気候のやまじ風の発生回数を表5.2.1に示す。将来のやまじ風の発生回数をみると、現在の発生回数とほとんど変化していないことがわかる。将来気候のNHRCM02の平均風速は3.75m/s、補正後の平均風速は2.26m/sに対し、現在気候の平均風速は3.75m/sと2.35m/sとほとんど変わらない値であるため、現在と将来においてやまじ風の発生状況はほとんど変化しないと考えられる。

地域気候モデルによるやまじ風の再現性について、NHRCM05では風速が大きく出すぎており、やまじ風の事例数が多くなりすぎた。この要因としては地形の再現性の低さがあった。NHRCM02では地形の再現性は向上し、風速はやや改善したが、アメダスと比較すると大きく、発生事例数も多かった。バイアス補正をすることで風速を抑え、やまじ風の発生事例数をより現実近づけることができた。また、それらを利用し、将来のやまじ風の事例数の変化を調べた結果、やまじ風の発生状況について、将来においてもほとんど変化しないということが分かった。

5.3 山形県清川だしの再現性と将来変化

4～7月にかけて、新庄盆地から庄内平野へ向かって南東の強風が吹く。この風は清川だしと呼ばれており、この地方の農作物に被害をもたらすことがある。清川だしのような局地風が、地球温暖化に伴う気候変動により変化が生じるのか検証した。ここでは、清川だしの発生日として、日最大風速が10m/s以上で、その風向が東南東～南東であった日と定義し、主に6月について議論する。観測データとしては、山形県狩川のアメダスデータを用いる。狩川のアメダスは、清川だしを捉えるのに適した位置に設置されている。図5.3.1は、NHRCM05の地形データを用いた山形県付近の地形図である。水平解像度5 kmのNHRCM05は、新庄盆地から庄内平野へと続く谷筋を良く再現している。

図5.3.2aは狩川における風速の階級頻度分布である。NHRCM05の現在気候データと観測データの分布はほぼ一致している。また、風配図(図5.3.2b)は、NHRCM05・観測ともに東南東～南東の風が卓越しており、狩川におけるNHRCM05の地上風の再現性が良いことが分かる。図5.3.3cは、狩川で清川だしが発生した日を抽出し、再解析データJRA-25の海面気圧・風向・風速をコンポジット(合成)した図である。日本海に低気圧性の循環があり、日本の東海上に高気圧が存在するという特徴がある。一般的に清川だしは、日本海の低気圧に向かって山形県付近に東風が吹く場合や、オホーツク海高気圧が卓越し広範囲で東風が吹く場合に発生しやすい(竹内 1986)。JRA-25での平均場でもそれらの特徴がよく表現されている。図5.3.3bはNHRCM05における狩川に相当する格子点で、清川だしが発生した日を抽出し、NHRCM15で計算した海面気圧・風向・風速場のコンポジットである。JRA-25のものよりも日本海の低気圧性循環が鮮明になっているが、清川だしが発

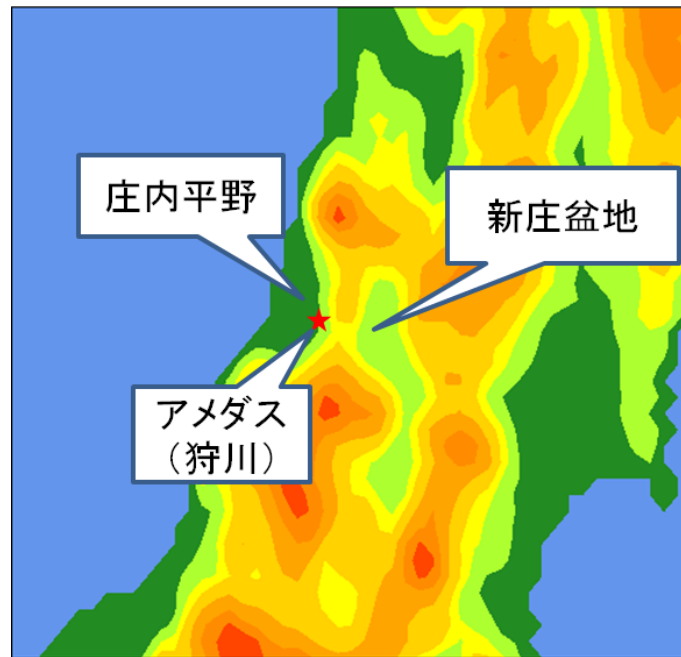


図5.3.1 山形県、狩川付近の地形図。

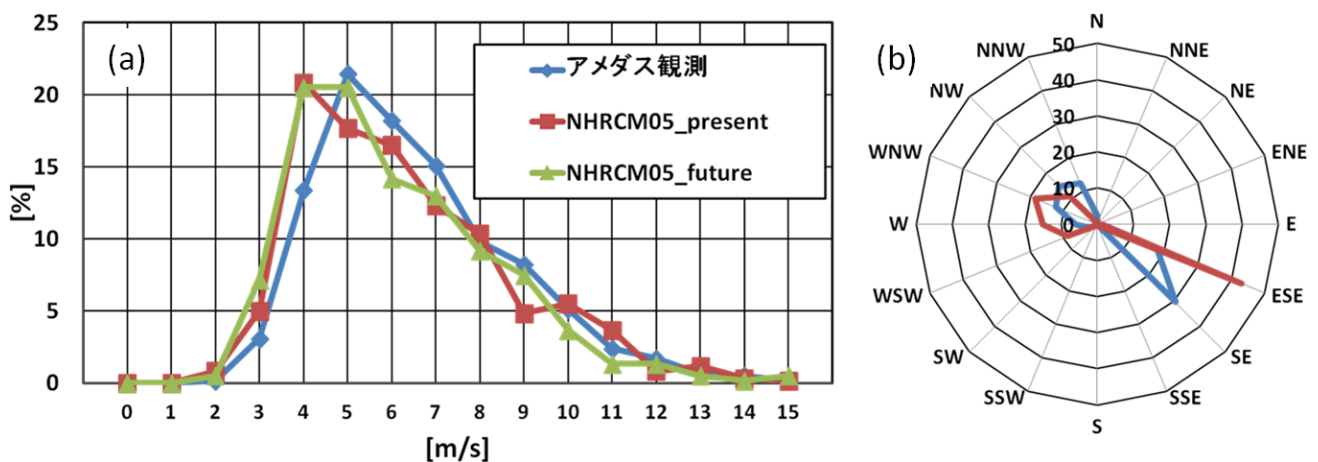


図5.3.2 狩川における、6月の日最大風速の頻度階級 (a) と風配図 (b)。青線は、アメダス観測。赤線は、NHRCM05の現在気候。緑線は、NHRCM05の将来気候。

生する気圧配置は JRA-25 と大きな違いはなく、ほぼ似たような条件で発生することが分かる。

次に、清川だしの将来変化について見ていく。図5.3.2a に将来気候における風速階級頻度を示した。将来気候においては、風速10m/s 以上の頻度が減少することが分かる。ただし、この図では風向は考慮していないので、清川だしの発生を増減を議論することはできない。そのため、風向を東南東～南東に限定し、清川だしの発生日数を調べた。その結果、1981～2000年の6月においては、アメダス観測は56日、NHRCM05現在気候では54日で、アメダス観測と NHRCM05の発生日数はほぼ一致する。その一方で、2077～2096年までの将来気候では35日で、清川だしの発生日数が現在気候に比べて20日程度減少することが分かった。図5.3.3b に、将来気候において、清川だしが発生した日の海面気圧・風向・風速の平均場を示す。この図から、清川だしが発生するときの総観場は現在気候と比べて大きな違いはなく、将来気候においても日本海の低気圧循環が発生要因として大きな役割を果たしていると考えられる。そこで、現在気候と将来気候における、日本付近の6月の降水量の

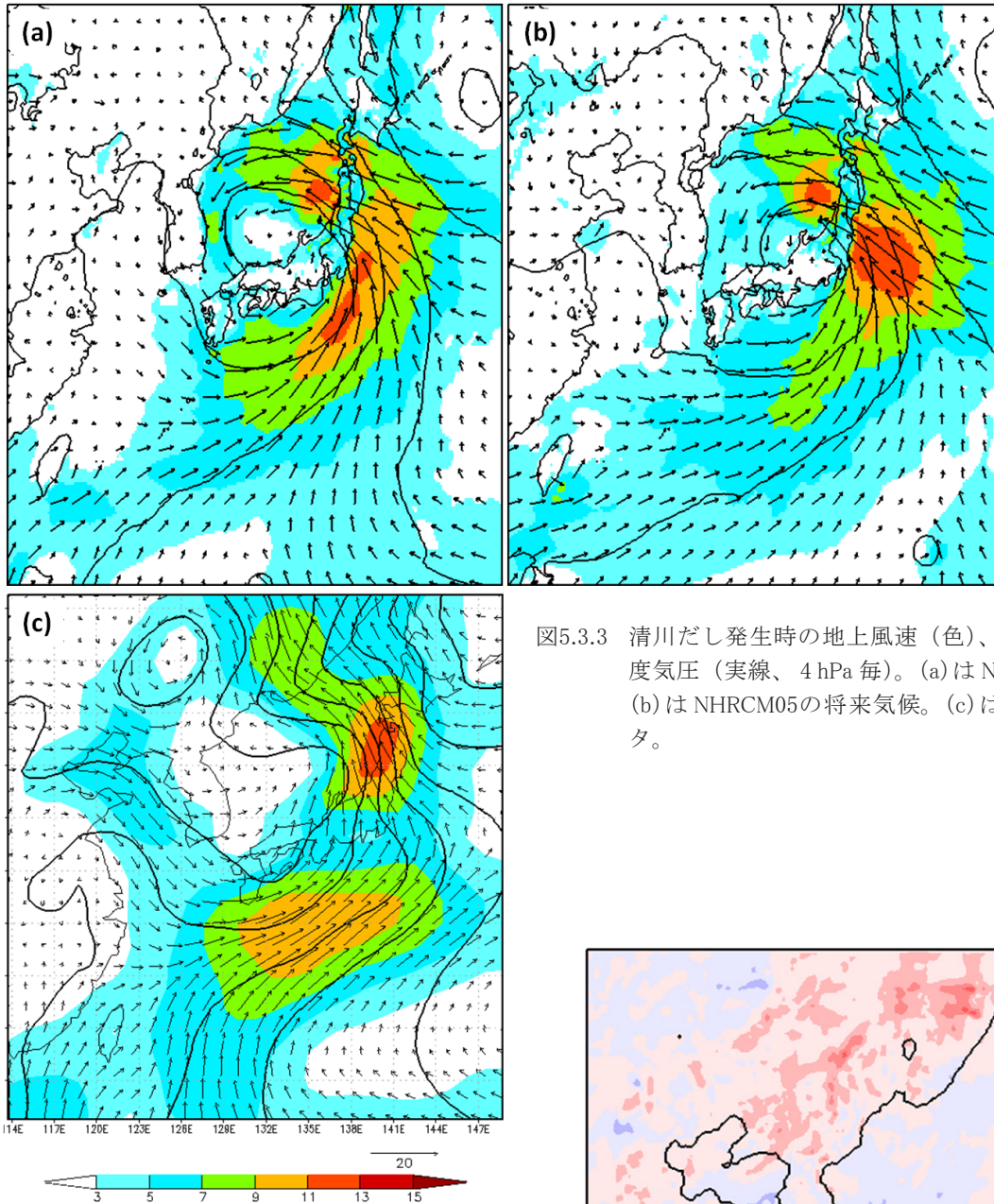


図5.3.3 清川だし発生時の地上風速（色）、風向（矢印）、海面高度気圧（実線、4 hPa 毎）。(a)はNHRCM05の現在気候。(b)はNHRCM05の将来気候。(c)はJRA-25の再解析データ。

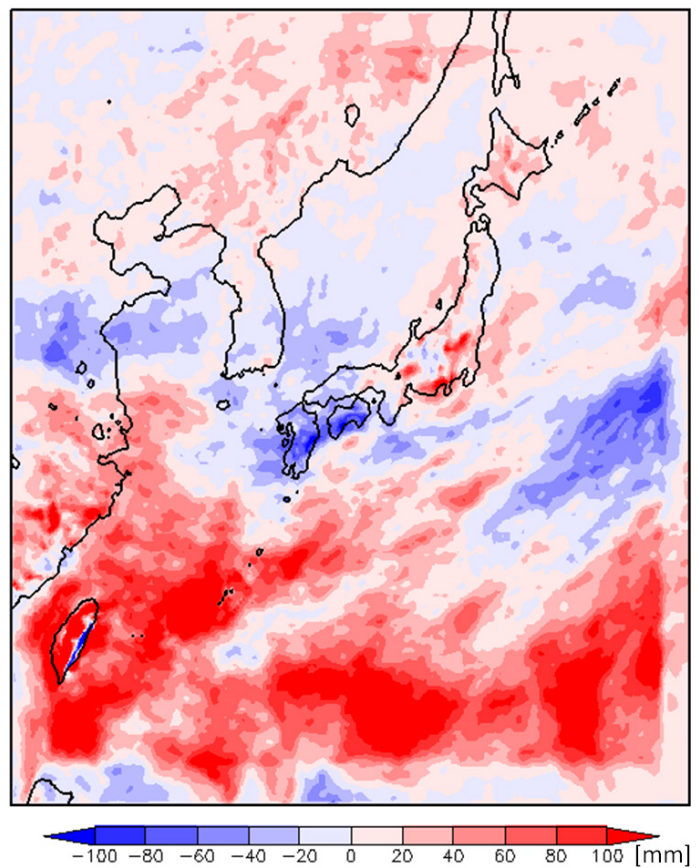


図5.3.4 NHRCM15の結果による、6月の現在気候と将来気候の降水量の差。

差をとった。その結果、将来気候では、九州・四国付近や日本海西部で降水量が減少することが分かった（図 5.3.4）。Kusunoki *et al.* (2008) では、地球温暖化に伴い、将来気候においては梅雨前線の北上が遅れることを指摘している。このことから、6 月においては、梅雨前線の北上の遅れに伴い、日本海で前線上に発生する低気圧の個数も減少するため、清川だしの発生日数が減少すると考えられる。

参考文献

- Kusunoki, S., and R. Mizuta, 2008: Future changes in the Baiu rain band projected by a 20-km mesh global atmospheric model: Sea surface temperature dependence. *SOLA*, **4**, 85–88, doi:10.2151/sola.2008-022.
- Piani, C., G. P. Weedon, M. Best, S. M. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, and J. O. Haerter, 2010: Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *J. Hydrol.*, **395**, 199–215, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024.
- 高見佳浩, 1991: 「やまじ風」の調査ーやまじ風の発生頻度についてー, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第58号, 18–21.
- 竹内衛夫, 1986: 山形県庄内平野中部の局地強風について. *天気*, **33**, 219–231.