

# ブロッキング現象の地球温暖化時の変化とその不確実性

松枝 未遠 (AESTO/MRI) · 水田 亮 (AESTO/MRI) · 楠 昌司 (MRI)

## 1 はじめに

ブロッキング現象は、異常気象を引き起こす要因の一つであり、ひとたび発生し長期間持続することで、周辺領域に気温や降水の極端な現象をもたらす (Tanaka and Milkovich 1990; Black et al. 2004; Neiman et al. 2004)。このように人間活動に大きな影響を与えるブロッキング現象の発生頻度が将来どのように変化するかを知ることは極めて重要である。しかしながら、一般に気候モデルはブロッキングの出現頻度を過小評価する傾向にあることが知られており (Palmer et al. 2008; Pelly and Hoskins 2003; D'Andrea et al. 1998)、このことがブロッキングの将来変化に関するより確からしい情報を得るのを困難にしている。事実、IPCC-AR4 レポート (Solomon et al. 2007) には、ブロッキングの将来変化に関する記述がなく、今後の調査項目の一つとなっている。

本研究では、現在気候実験においてブロッキング現象の再現性の良い気象庁/気象研究所全球大気大循環モデル (TL319L60: 水平格子間隔 60km) を用いたアンサンブル実験を行うことで、北半球冬季 (12月-2月) におけるブロッキング現象の将来変化の不確実性について調べた。

## 2 実験設定

現在気候実験 (1979-2003年) については、任意に選んだ3種類の初期値によるアンサンブル実験を行った (SSTはHadISSTを使用)。また、将来気候実験 (2075-2099年) については、任意に選んだ3種類の初期値、および、下記の4種類の海面水温データによる12メンバーのアンサンブル実験を行った。現在気候実験では、年々変動のある観測されたSST (HadISST) を用い (AMIP型実験)、将来気候実験では、現在気候のSSTに、下記4種類の各SSTによる昇温と上昇トレンドを加えたものを将来のSSTとした。詳細については、Mizuta et al. (2008) を参照のこと。また、温室効果ガス排出シナリオは、A1Bとした。

表 1: 将来気候実験の SST とその気候感度、および、メンバー数。

海面水温 (CMIP3)	気候感度	メンバー数
マルチモデル平均	-	3
CSIRO_Mk3.0	小	3
MRI-CGCM2.3.2	中	3
MIROC3.2 (hires)	大	3

## 3 ブロッキングインデックス

本研究では、D'Andrea et al. (1998) にならい、500 hPa 高度場 (1.25 度格子) のデータによりブロッキングの判定をした。判定には、以下の式で定義される GHGS, GHGN を利用した:

$$\begin{cases} \text{GHGS} = \frac{Z(\phi_0) - Z(\phi_s)}{\phi_0 - \phi_s} \\ \text{GHGN} = \frac{Z(\phi_n) - Z(\phi_0)}{\phi_n - \phi_0} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{cases} \phi_n = 77.5^\circ\text{N} \pm \Delta \\ \phi_0 = 60.0^\circ\text{N} \pm \Delta \\ \phi_s = 40.0^\circ\text{N} \pm \Delta \end{cases} \quad \Delta = 0^\circ, 1.25^\circ, 2.5^\circ, 3.75^\circ, 5.0^\circ$$

であり、各経度ごとに GHGS, GHGN を計算し、9つの  $\Delta$  の少なくとも一つの  $\Delta$  に対して、

$$\begin{cases} \text{GHGS} > 0 \\ \text{GHGN} < -5\text{m/deg lat} \end{cases} \quad (2)$$

が満たされた場合、その経度で (局所的に) ブロッキングが起こったと判断した。

また、持続日数のカウントの際、基本的にはブロッキングと判定された連続日数を数えるが、ブロッキングと判定されなかった日の前後が、ブロッキングと判定されていれば、ブロッキングが連続して起こっていたと判断した (つまり、 $\times$  や  $\times$  という場合、持続期間は5日とカウントする)。

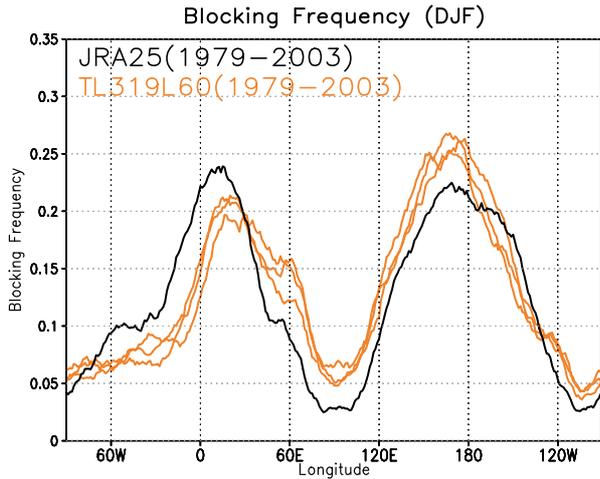


図 1: 60km モデルによる現在気候 (北半球冬季) におけるブロッキングの出現頻度の再現性 (オレンジ: TL319L60, 黒: JRA25)。

## 4 結果

### 4.1 現在気候アンサンブル実験

図 1 に、現在気候アンサンブル実験におけるブロッキングの出現頻度 (オレンジ), および, JRA25 再解析データによるブロッキングの出現頻度 (黒) を示す。本研究で使用した 60km モデルでは、いずれのメンバーも観測に近いブロッキングの出現頻度をよく再現しているが、大西洋ブロッキングについては、グリニッジ子午線を中心に出現頻度を過小評価、太平洋ブロッキングについては、東経 160°E を中心に出現頻度をやや過大評価する傾向にある。また、60°E 付近のウラルブロッキングについては、出現頻度を過大評価する傾向にある。アンサンブルメンバー間の違いは、いずれの領域においても小さいことが分かる。

図 2 に、現在気候アンサンブル実験におけるブロッキングの持続期間 (青: 大西洋, 緑: 太平洋), および, JRA25 再解析データによるブロッキングの持続期間を示す。アンサンブル実験の持続期間については、3 メンバーの幅 (最小-メジアン-最大) を示している。大西洋ブロッキングについては、持続期間が 20 日を越えるブロッキングの発生数が少ない傾向にあるのに対し、太平洋ブロッキングについては、持続期間の長いブロッキングを中心に全体的に発生数が多い傾向にある。大西洋ブロッキングについては、モデルの水平解像度を 20km に

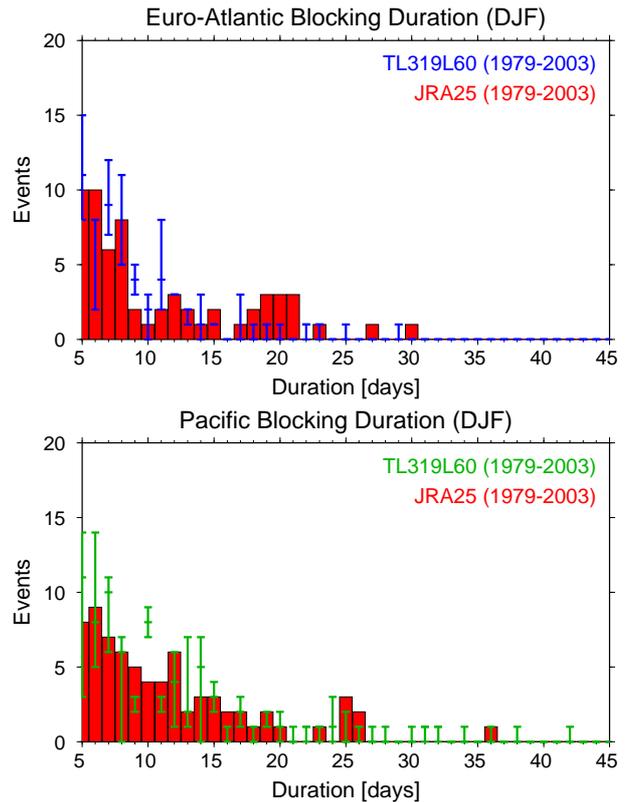


図 2: 60km モデルによる現在気候 (北半球冬季) におけるブロッキングの持続期間の再現性 (上段: 大西洋ブロッキング, 下段: 太平洋ブロッキング, 赤: JRA25)。アンサンブル (3 メンバー) の幅 (最小-メジアン-最大) を、青線 (大西洋), または緑線 (太平洋) で表した。

すると、持続期間の長いブロッキングも十分に再現できるようになり、大西洋ブロッキングの再現にはモデルの水平解像度が重要であることが示唆される (図省略)。

### 4.2 将来気候アンサンブル実験

図 3 は、各 SST (CMIP3 マルチモデル平均 SST, CSIRO-SST, MRI-SST, MIROC(hires)-SST) を用いた将来気候実験におけるブロッキングの出現頻度を表す。赤線は各実験のアンサンブル平均のブロッキングの出現頻度を、赤陰影は 3 メンバーのスプレッドから見積もったブロッキングの出現頻度の幅を示す。同様に、現在気候実験におけるアンサンブル平均のブロッキングの出現頻度、および、ブロッキングの出現頻度の幅を、それぞれ、青線、青陰影で示した。いずれの SST を用いたアンサン

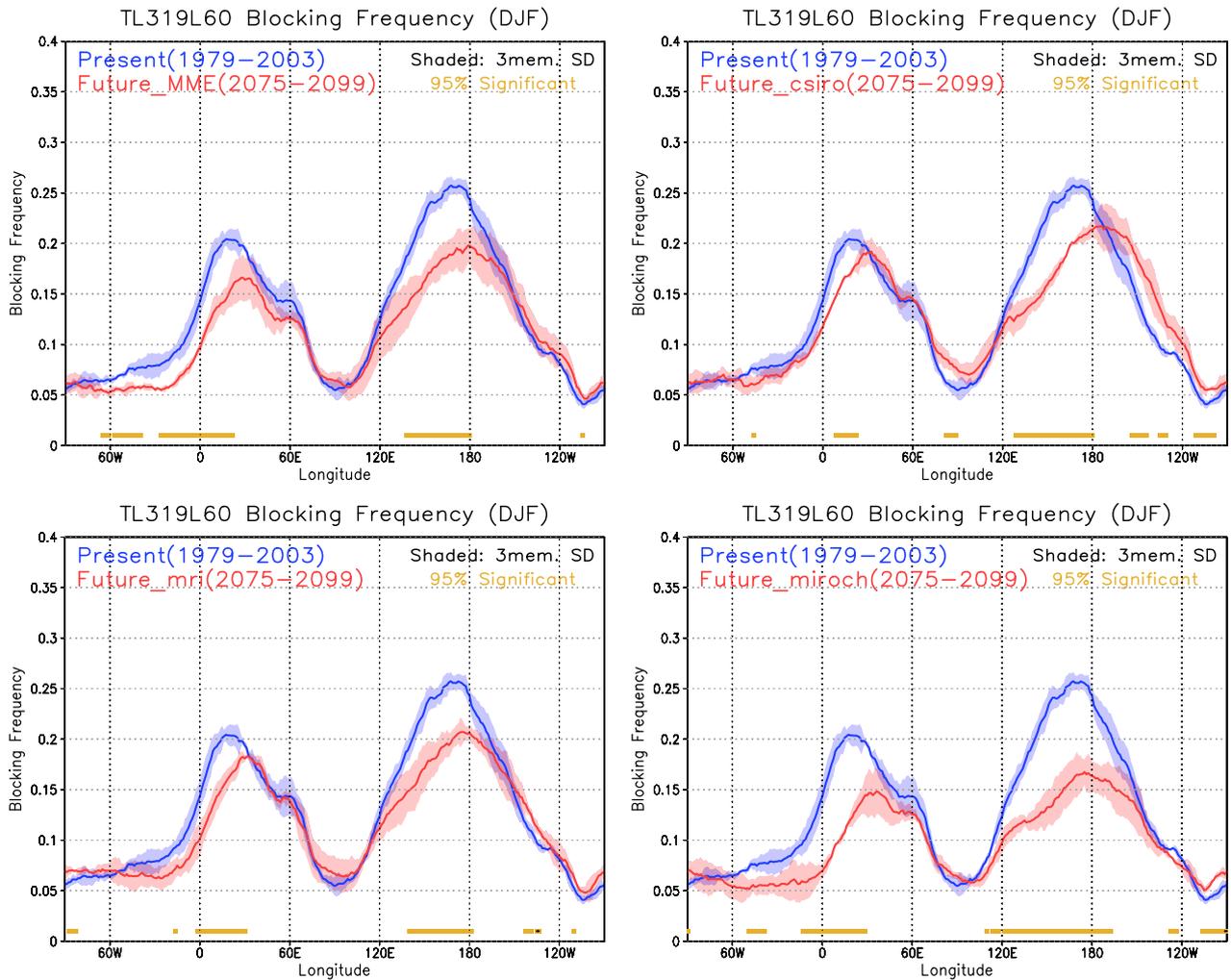


図 3: 60km モデルによるブロッキング頻度 (北半球冬季) の将来変化 (青: 現在気候実験, 赤: 将来気候実験, 左上: マルチモデル平均の SST, 右上: CSIRO の SST, 左下: MRI の SST, 右下: MIROC (hires) の SST)。陰影は、各実験における初期値アンサンブル (3 メンバー) の幅 ( $\pm 1$  標準偏差) を示す。また、現在と将来の出現頻度に有意な差 (有意水準: 95%) がある経度をオレンジで示した。

ブル実験においても、大西洋と太平洋の両ブロッキングの出現頻度は有意に減少することが分かる (95%で有意な経度をオレンジで示した)。両ブロッキングとも、現在気候における出現頻度がピークになる経度、および、その西側でブロッキングの出現頻度が顕著に減少する傾向にある。これらの結果は、温暖化に伴い上空のジェット気流が現在よりも強まるという事実に対応する。出現頻度の減少の度合いについては用いた SST によって大きく異なっており、気候感度の大きい MIROC (hires) の SST を用いた実験で最も出現頻度が減少する傾向にある。これは、温暖化が進むほどブロッキングの出現頻度が減少することを示唆している。また、

初期値の違いによる出現頻度の幅は、SST の違いによる出現頻度の幅に比べ小さいことが分かる。ウラルブロッキングの出現頻度については、いずれの SST を用いた実験においても有意な将来変化は見られない。

図 4, 5 は、各 SST を用いた将来気候実験におけるブロッキングの持続期間を表す。現在気候アンサンブル実験の持続期間の幅 (最小-最大) を青棒、および、緑棒で、将来気候アンサンブル実験の持続期間の幅 (最小-メジアン-最大) を赤線で示した。大西洋ブロッキングの持続期間については (図 4)、持続期間が 15 日以下のブロッキングの発生数が顕著に減少することが分かる。また、持続期間が 20

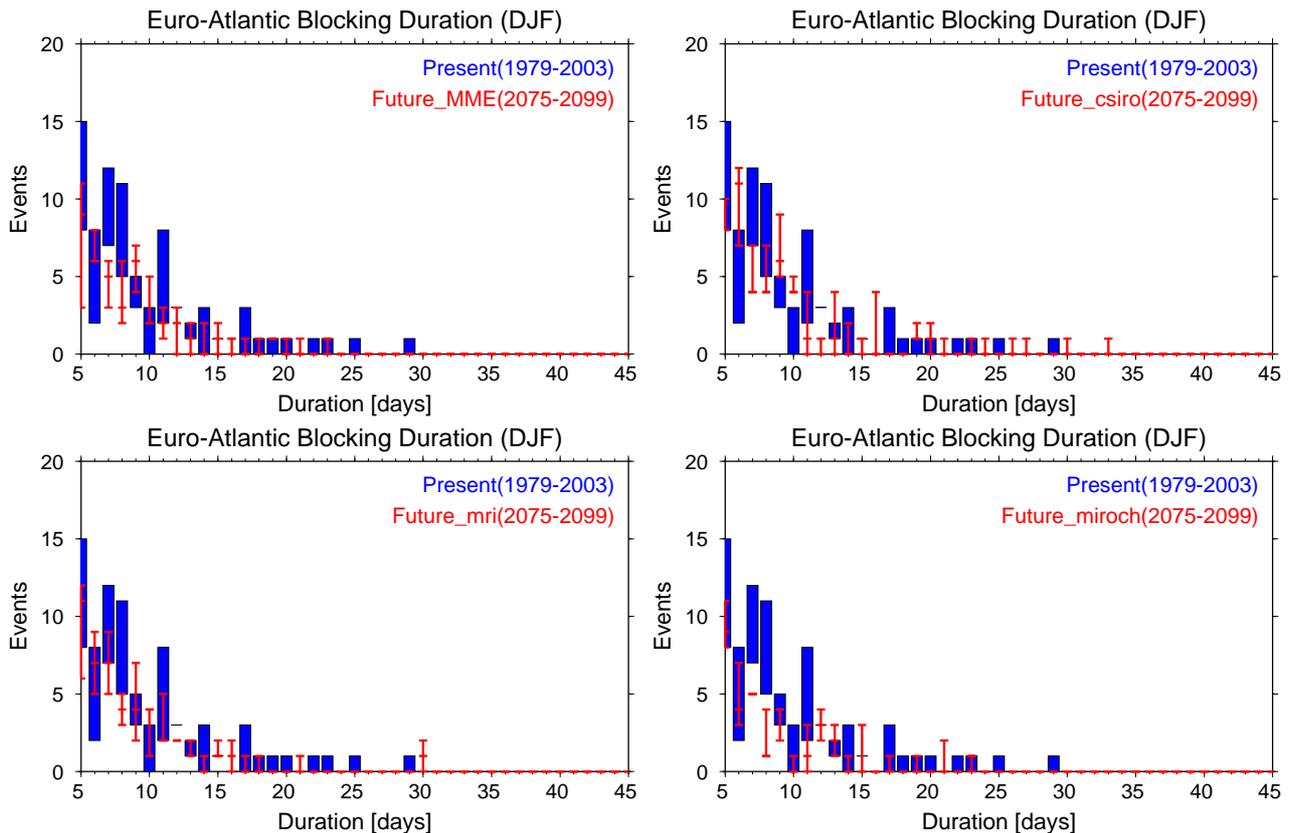


図 4: 60km モデルによる大西洋ブロッキング (北半球冬季) の持続期間の将来変化 (青: 現在気候実験, 赤: 将来気候実験, 左上: マルチモデル平均の SST, , 右上: CSIRO の SST, 左下: MRI の SST, 右下: MIROC (hires) の SST)。現在気候実験については, 初期値アンサンブル (3 メンバー) の幅 (最小-最大) を, 将来気候実験については, 初期値アンサンブル (3 メンバー) の幅 (最小-メジアン-最大) を示した。

日以上のプロッキングの発生数についても, SST によって若干の差はあるものの, おおむね減少する傾向にある。太平洋ブロッキングの持続期間については (図 5), 持続期間が 25 日以上のプロッキングの発生数が顕著に減少することが分かる。持続期間の短いプロッキングの発生数は, 現在と同程度か, やや減少する傾向にある。

## 5 まとめ

本研究では, 現在気候実験においてプロッキング現象の再現性の良い気象庁/気象研究所全球大気大循環モデル (TL319L60: 水平格子間隔 60km) を用いたアンサンブル実験を行うことで, 北半球冬季 (12 月-2 月) におけるプロッキング現象の将来変化の不確実性について調べた。その結果, 大西洋ブロッキング, 太平洋ブロッキングとも, 温暖化に伴い出現頻度が減少することが示唆された。こ

れは上空のジェット気流の強化に対応しており, 温暖化が進めば進むほどプロッキングの出現頻度が減少することも示唆された。プロッキングの持続期間については, 大西洋プロッキングは, 持続期間の短いプロッキングを中心にすべての持続期間で発生数が減少する傾向にあるのに対し, 太平洋プロッキングは, 持続期間の長いプロッキングの発生数が顕著に減少することが示唆された。

## 謝辞

本研究は文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」のもと, 地球シミュレータを用いて行われた。

## 参考文献

Black, E., M. Blackburn, G. Harrison, B. Hoskins, and J. Methven, 2004: Factors contributing to the summer 2003 european

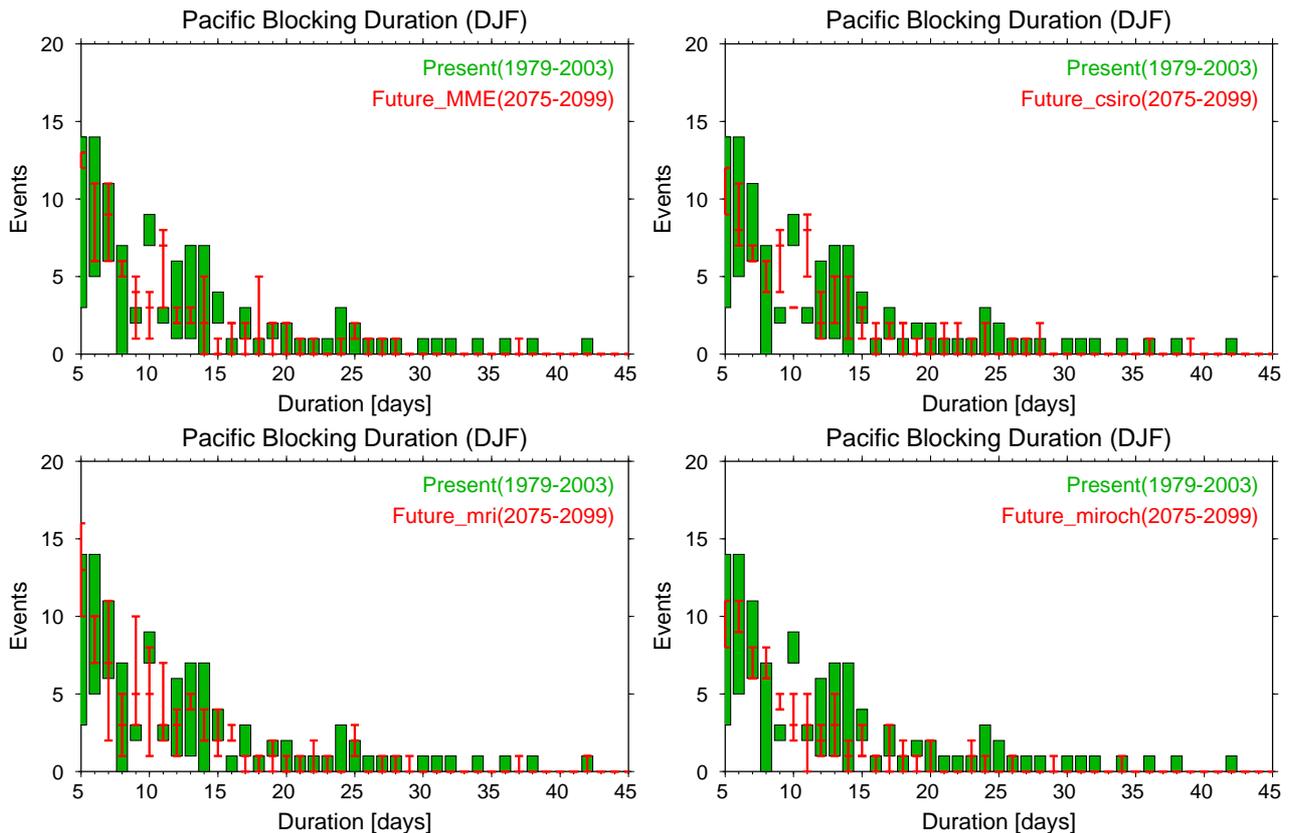


図 5: 60km モデルによる太平洋ブロッキング (北半球冬季) の持続期間の将来変化 (青: 現在気候実験, 赤: 将来気候実験, 左上: マルチモデル平均の SST, , 右上: CSIRO の SST, 左下: MRI の SST, 右下: MIROC (hires) の SST)。現在気候実験については, 初期値アンサンブル (3 メンバー) の幅 (最小-最大) を, 将来気候実験については, 初期値アンサンブル (3 メンバー) の幅 (最小-メジアン-最大) を示した。

heatwave, *Weather*, **59**, 217–223.

D' Andrea, F., et al., 1998: Northern hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979–1988. *Clim. Dyn.*, **14**, 385–407.

Mizuta, R., Y. Adachi, S. Yukimoto, and S. Kusunoki, 2008: Estimation of future distribution of sea surface temperature and sea ice using CMIP3 multi-model ensemble mean, *Technical Reports of the Meteorological Research Institute*, **56**.

Neiman, P. J., P. O. G. Persson, F. M. Ralph, D. P. Jorgensen, A. B. White, and D. E. Kingsmill, 2004: Modification of Fronts and Precipitation by Coastal Blocking during an Intense Landfalling Winter Storm in Southern California: Observations during CALJET. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 242–273.

Palmer, T. N., F. J. Doblas-Reyes, A. Weisheimer, and M. J. Rodwell, 2008: Toward Seamless Prediction: Calibration of Climate Change Projections Using Seasonal Forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **89**, 459–470.

Pelly J. L. and B. J. Hoskins, 2003: A New Perspective on Blocking. *J. Atmos. Soc.*, **60**, 743–755.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. M. B. Tignor, J. H. L. R. Miller, and Z. Chen (Eds.), 2007: *Climate Change 2007. The Physical Science Basis.*, Cambridge Univ. Press, New York.

Tanaka, H. L., and M. F. Milkovich, 1990: A heat budget analysis of the polar troposphere in and around alaska during the abnormal winter of 1988/89. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1628–1639.