

日本海低気圧・南岸低気圧の将来変化

早崎将光, 野木友里香, 植田宏昭 (筑波大)

1. はじめに

寒候期の日本では, 移動性の低気圧により日々の天候が左右される. 2013 年 1 月や 2014 年 2 月には, 南岸低気圧に伴い関東甲信地方など太平洋側の地域に多量の降雪をもたらし, 大きな社会的影響を及ぼした.

また, 温暖化に伴う気候変動の一つとして, 中緯度の低気圧活動も現在気候との違いが現れる可能性が指摘されてきた (例えば Geng and Sugi, 2003). Mizuta (2012) では, 最新の気候モデルによる将来予測結果を用いて, 温暖化に伴って強い低気圧 (中心気圧が 980hPa 未満) の頻度が増加する可能性を指摘した. しかし, Chang (2013) では, 将来気候においてアリューシャン低気圧の深まりが見られることから, 中心気圧の絶対値で定義した場合には「強い低気圧」が増えたように見えると指摘している.

このように, 温暖化に伴う低気圧活動の変化は, 数多くの研究がある. しかし, その多くは帯状平均場や太平洋・大西洋域などの大洋規模の低気圧活動である. 地域的な低気圧活動の将来変化に関する研究も見られる (例えば Zappa et al., 2014) が, 日本付近の低気圧活動に関する詳細研究は少ない.

そこで本研究では, 日本付近の低気圧活動の将来変化を南岸低気圧・日本海低気圧という低気圧経路タイプ別に検討する.

2. データと解析手法

2.1. データ

第 5 次気候モデル相互比較プロジェクト (CMIP5) による現在気候再現・将来気候予測実験を用いた. 温暖化予測シナリオの違いによる低気圧活動の差を評価するため, 2 つの温室効果ガス排出シナリオ (RCP4.5 および RCP8.5) を使用した. 日本周辺の地域規模の低気圧活動を解析するため, 高解像度の

6 モデル (CCSM4, CNRM-CM5, CMCC-CM, MIROC5, MRI-CGCM3, BCC-CSM 1-1(M)) を選択した.

CMIP5 の現在気候再現性を検証するため, 3 種の長期再解析データを用いた: (1) 気象庁第 2 次長期再解析 (JRA-55; Kobayashi et al. 2014), (2) ECMWF Interim 再解析 (ERA Interim; Dee et al., 2011), (3) CFS 再解析 (CFSR; Saha et al., 2010).

現在気候の低気圧活動は, 月および寒候期平均値 (1981-2005 年. 以後 20C と表記) を用い, 同期間の長期再解析と比較した. また, 温暖化の進行に伴う変動を検討するため, 21 世紀中盤 (2036-2060 年. mid-21C), 21 世紀末 (2076-2100 年. late-21C) の 2 期間の平均値を用いた.

2.2. 低気圧トラッキング手法

Neu et al. (2013) がまとめたように, 低気圧トラッキング手法は様々な手法がある. こ

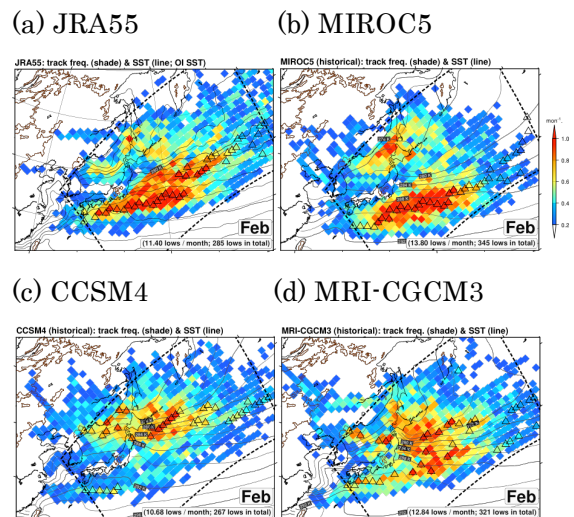


図 1: 20C の 2 月平均低気圧経路頻度 (カラー). (a) JRA55, (b) MIROC5, (c) CCSM4, (d) MRI-CGCM3. 海洋の実線は SST (2K 間隔). 破線枠内の三角は主要低気圧経路.

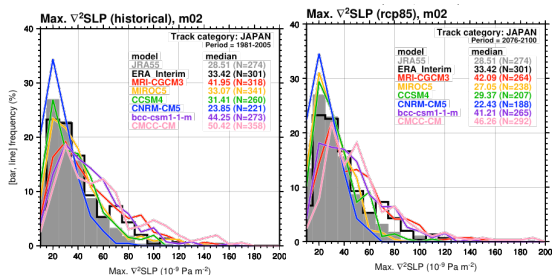


図 2: 2 月平均の低気圧強度頻度. 左: 20C, 右: late-21C(RCP8.5). 低気圧強度は, 150° E より西での最大 $\nabla^2(\text{SLP})$ (単位: $10^{-9} \text{ Pa m}^{-2}$).

ここでは Hayasaki and Kawamura (2012) と同じく, SLP 極小値の検出・追跡に基づき個々の低気圧を追跡・検出するトラッキング手法を用いた. この手法の基本は Serreze が構築し, 多くの研究実績がある (例えば Serreze and Barrett, 2008). 本研究では, ガウス格子の SLP を格子間隔 125 km の EASE グリッドに変換してトラッキングをおこなった. 隣接する全格子点より 0.5 hPa 以上 SLP が低い場合を低気圧中心とした.

3. 低気圧活動の現在気候再現性

3.1. 低気圧経路

図 1 a に, 日本周辺における 2 月の 20C 平均低気圧経路頻度 (JRA55) を示す. よく知られるように, 日本周辺で 2 つの低気圧経路が確認できる. 最も主要な低気圧経路は南岸低気圧型の経路である. 低気圧経路頻度の極大軸が, 東シナ海を起点に日本の南岸に沿って北東側に延びている. 第 2 の経路は日本海北部や北海道付近にあり, いわゆる日本海低気圧型の経路も捉えることが出来ている.

CMIP5 モデル群の 20C 平均でも, これら 2 つの低気圧主要経路がほぼ再現されていた (図 1 b, d). しかし, 一部のモデル (図 1 c, CCSM4) は南岸低気圧経路が不明瞭で, 日本海低気圧が主要低気圧として解析された. 南岸低気圧が不明瞭となる要因については, 5 節で議論する.

3.2. 低気圧の強さと個数

図 2 左に, 2 月の日本付近 (30° - 50° N,

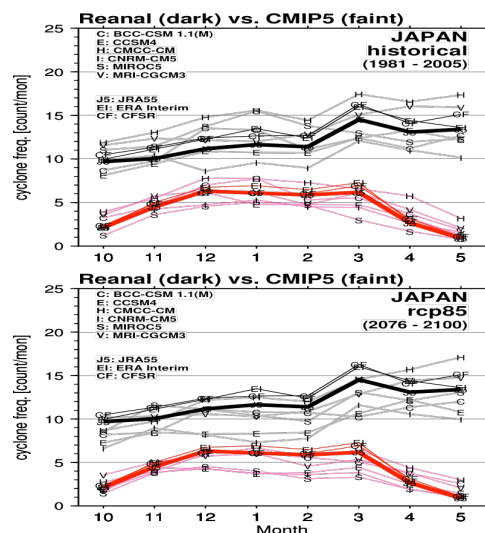


図 3: 日本付近を通過する全低気圧 (黒, グレー) および爆弾低気圧 (赤, ピンク) の月別頻度. 上段: 20C, 下段: late-21C (RCP8.5). 全低気圧 (爆弾低気圧): 黒 (赤) 実線が再解析, グレー (ピンク) 線が CMIP5 モデル群.

130° - 150° E) を通過した低気圧の強度別頻度分布を示す. 背景場の SLP の違いによる影響を少なくするため, 低気圧強度は SLP の水平ラプラスアンで評価した. また, 日本付近の低気圧の強さを見るために, 個々の低気圧のうち 150° E より西側での最大強度を用いた. Pinto et al. (2005) が指摘したように, 高解像度モデルほど強い低気圧が検出されやすい. ただし, CMIP5 モデル群の低気圧強度は, 同程度の解像度をもつ再解析データで得られた低気圧強度とほぼ整合的である. これは 2 月だけでなく, 北半球寒候期 (ここでは 11 月 ~ 3 月) 全体でも同様に整合的だった (図略).

また, 低気圧個数はモデル間でそのばらつきが大きいものの, 全低気圧・爆弾低気圧の個数とその季節変化は, 長期再解析によるそれとほぼ整合的である (図 3 上段).

したがって, CMIP5 モデル群の 20C 実験における日本付近の低気圧活動は, 観測事実をほぼ再現できていると言える.

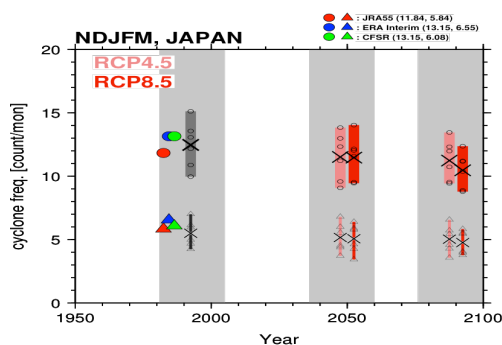


図 4: 日本周辺 (30° - 50° N, 130° - 150° E) を通過する低気圧の寒候期平均頻度。グレー表示 (20C, mid-21C, late-21C) の × 印が全 6 モデル平均 (上: 全低気圧, 下: 爆弾低気圧)。丸印は個別モデル。20C の色つき丸 (三角) は長期再解析の全低気圧 (爆弾低気圧)。21C のピンク・赤はそれぞれ RCP4.5, RCP8.5。

4. 低気圧活動の将来変化

4.1. 経路・強さ・個数の将来変化

多くの先行研究で、温暖化による低気圧経路の高緯度側シフト、低気圧個数減少、強い低気圧増加、などの可能性が指摘されている。経路については、全モデルで南岸低気圧の個数減少が見られ (図略)、日本付近の低気圧でも経路の高緯度側シフトが生じる。強さの将来変化については、全低気圧強度の中央値 (図 2, 右上部の数値) は弱くなるが、その変化量は小さく、統計的に有意な差ではない。

また、個数については明瞭な減少傾向がみられた。図 3 の上段 (20C)・下段 (late-21C, RCP8.5) を比較すると、寒候期 (Nov-Mar) を中心に多くの月で低気圧個数が減少する。モデル間や月によるばらつきは有るが、late-21C の寒候期平均の低気圧個数の変化は、20C のそれに対し -10% (RCP4.5), -16% (RCP8.5) に達した (図 4)。

4.2. 爆弾低気圧の将来変化

日本付近は、急発達する低気圧 (いわゆる爆弾低気圧) 多発域である (Yoshida and Asuma 2004, 以後 YA2004 と表記)。冒頭で述べたように、爆弾低気圧は日本への社会的影響も大きいので、その将来変化を検討する

表 1: late-21C (RCP8.5) の寒候期 (Nov-Mar) における爆弾低気圧の経路別比率 (OJ, PO-L, PO-O. 単位: %), 下段括弧内は、20C 平均からの変化量。

	OJ	PO-L	PO-O
MRI-CGCM3	27.7 (+6.1)	25.7 (-2.3)	39.2 (-6.2)
MIROC5	37.1 (+13.5)	24.1 (-2.6)	33.4 (-12.5)
CCSM4	26.3 (+3.2)	32.2 (+0.4)	34.0 (-4.5)
CNRM-CM5	26.6 (+1.9)	34.0 (-1.7)	34.0 (-3.6)
CMCC-CM	34.7 (+2.6)	30.0 (+1.1)	25.6 (-4.3)
BCC-CSM1-1(M)	27.3 (+2.7)	24.0 (+0.7)	34.4 (-6.1)
JRA55	20.0	25.7	52.6

価値は高い。YA2004 では、日本周辺の爆弾低気圧を経路の履歴から 3 つ (OJ, PO-L, PO-O) に区分した。本研究でも YA2004 に準拠した経路区分をおこない、経路ごとの爆弾低気圧の将来変化の動態を調査した。

表 1 に、爆弾低気圧の経路別頻度の将来変化を示す。全モデルで PO-O の頻度が減少する一方で、OJ の頻度は全モデルで増加した。

5. まとめ

日本付近における低気圧活動を対象とし、温暖化に伴う将来変化を CMIP5 の高解像度 6 モデルを使って評価した。

CMIP5 モデル群の現在気候実験における低気圧活動は、低気圧個数や強さに関しては観測値とほぼ整合的であった。しかし、一部のモデルは、主要低気圧経路である南岸低気圧個数を過小に、日本海低気圧個数を過大に評価していた。日本付近は、黒潮・黒潮続流により、大気下層で強い前線帯が形成・維持される。また、大気上層では亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットが合流・分流することで、傾圧不安定波の発達に適した条件も大きく変動する。南岸低気圧の再現が良好でないモデルは、これら大気・海洋のどちらか (または両方) の背景場が、南岸低気圧の発生・発達

に適していない可能性がある。

南岸低気圧の再現性が良好でないモデルはあるが、日本付近の低気圧活動の将来変化には、幾つかの共通する特徴もある。すなわち、(1) 温暖化に伴う低気圧個数の減少、(2) 低気圧経路の高緯度側シフト、などである。低気圧の強さについては、全低気圧で見るとわずかな弱まるものの、その差は明瞭でない。

社会的な影響が大きい爆弾低気圧の将来変化に着目すると、YA2004 で言うところのPO-O タイプ（南岸低気圧に対応）の発生頻度が減少する一方で、OJ タイプ（日本海低気圧）の発生頻度が増加する。これらの結果は、今後の温暖化への適合策を考える上で、重要な情報となると期待される。

なお、低気圧活動の将来変化を議論するには、その評価指標を慎重に選択する必要がある。低気圧個数や強さの指標は、トラッキング手法や入力データの格子間隔に強く依存する (Pinto et al., 2005; Neu et al., 2013)。より信頼性の高い低気圧活動の将来変化傾向を知るには、解析手法や格子間隔などに依存しにくい指標を複数種類用いるなどの対応が必要であろう。

謝辞

本研究は環境省の環境研究総合推進費 (2A-1201) の支援により実施された。

参考文献

- Chang, E. K. M., 2014: Impacts of background field removal on CMIP5 projected changes in Pacific winter cyclone activity. *J. Geophys. Res.*, **119**, doi:10.1002/2013JD020746.
- Dee, D. P. and co-authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 533–597.
- Geng, Q., and M. Sugi, 2003: Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols– Study with a high-resolution AGCM. *J. Climate*, **16**, 2262–2274.
- Hayasaki, M., and R. Kawamura, 2012: Cyclone activities in heavy rain- fall episodes in Japan during spring season. *SOLA*, **8**, 45–48.
- Kobayashi, S. and co-authors, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, (in press).
- Mizuta, R., 2012: Intensification of extratropical cyclones associated with the polar jet change in the CMIP5 global warming projections. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L19707, doi: 10.1029/2012GL053032.
- Neu, U., and co-authors, 2013: IMILAST A community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 529–547.
- Pinto, J. G., T. Spanghehl, U. Ulbrich, and P. Speth, 2005: Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: Individual tracks and climatology. *Meteorol. Zeitschrift*, **14**, 823–838.
- Saha, S., and co-authors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057.
- Serreze, M. C., and A. P. Barrett, 2008: The summer cyclone maximum over the central Arctic Ocean. *J. Climate*, **21**, 1048–1065.
- Yoshida, A., and Y. Asuma, 2004: Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the Northwestern Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 1121–1142.
- Zappa, G., M. K. Hawcroft, L. Shaffrey, E. Black, and D. J. Brayshaw, 2014: Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-014-2426-8.