



今世紀末の温暖化状況下におけるロシア主要7都市の気候はどうか？



仲江川敏之(*1)、高藪 出(*2)、日比野研志(*2,*3)

*1気象研究所気候研究部第5研究室、*2気象研究所環境・応用気象研究部、*3東京大学生産技術研究所

1. はじめに

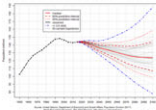
背景と目的

- ロシア(北方アジア)では、温室効果ガス排出シナリオA1B条件下における21世紀末の全球地表面気温は、5°C程度上昇し、全球平均最良推定値の2.8°C上昇より大きい。
- アイス・アルベドフィードバック
- 気候アナログという手法を用いて気候変化を評価～実感～することを目指す。

気候アナログ

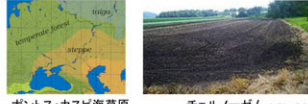
- 気候アナログは、ターゲット都市の将来気候に似ている現在気候を持つ都市を探索するものである。
- 気候アナログは、気候変化を一般市民に実感してもらうのに、有効な手法である。
- 気候アナログを用いて、現在気候の分布図上に、ターゲット都市の将来気候類似地点を示す。

ロシアの将来推計



- 現在、小麦生産量世界3位
- ロシアの将来人口は1990年代に人口ピーク(1.5億)を迎え、今後減少し世紀末には1.2億人程度まで減少。(国連世界人口展望2017)
- 2014年GDP世界第6位から、2050年には世界8位へ。(PwC Japan)
- ロシアは2016/17年で、小麦輸出高世界1位となり、今後温暖化で生育期間が延び、更なる増収が見込まれる。(USDA)

順位	国	2050年予想GDP
1	中国	61,079
2	インド	42,205
3	米国	41,384
4	インドネシア	12,210
5	ブラジル	9,164
6	メキシコ	8,014
7	日本	7,914
8	ロシア	7,575



ロシア主要7都市の概要

- サントペテルブルク: 1917年までロシア帝国の首都。人口503万人。亜寒帯湿潤気候。
- モスクワ: ロシア連邦の首都で、都市圏は世界10位の経済規模。人口1,211万人。亜寒帯湿潤気候。
- エカテリンブルグ: ロシア連邦中央部に位置し、ウラル地域の中心地。人口132万人。亜寒帯湿潤気候。
- ノボシビルスク: オビ川中流域に位置し、ロシア連邦・シベリアの中心的都市。人口158万人。亜寒帯湿潤気候。
- ハバロフスク: アムール川右岸に位置する極東中心都市。人口57.7万人。亜寒帯冬季少雨気候。
- ウラジオストク: 極東政策の拠点となる軍事・商業都市。人口59.2万人。亜寒帯冬季少雨気候。
- アナディリ: ロシアの最東端のチュクチ自治管区南東部にあり自治管区の行政中心都市。人口1.1万人。ツンドラ気候。

2. 気候アナログ

気候アナログの手順

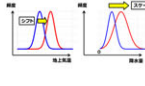
- ロシアの将来気候変化予測を行う
- 7つのターゲット都市毎に、全球グリッドで類似度スコアを計算する。
- 最大値スコアを持つ場所(気候アナログ)を同定する。

Delta法

- 現在気候は、観測値(CRU TS2.1;月平均、0.5°)を用いる。
- モデルのバイアスを補正するために、ターゲット都市の将来気候を次のように算定する:

$$T_f(x, y, m, s, c, i) = \bar{T}_{Obs}(x, m) + (T_{Mf}(x, y, m, s, c, i) - \bar{T}_{Mp}(x, m, c)),$$

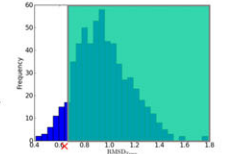
$$P_f(x, y, m, s, c, i) = \bar{P}_{Obs}(x, m) * (P_{Mf}(x, y, m, s, c, i) / \bar{P}_{Mp}(x, m, c)).$$



類似度スコアの計算方法

- ターゲット都市の将来気候(赤)とある地点の現在気候(青)の違いを年単位で、2乗平均差(RMSD)を計算する。

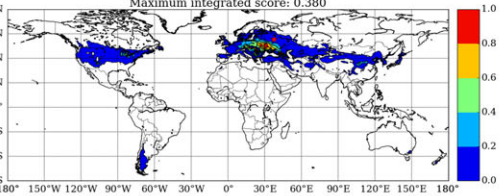
$$RMSD_{temp} = \sqrt{\sum_{m=1}^{12} (T_m - \bar{T}_m)^2}$$



(右図) 気温に対する600年等価将来気候サンプルのRMSDの頻度分布(青棒)。シドニーの例。現在気候のある年のRMSD(赤クロス)。

地上気温の類似度スコア

$S_T = (\text{×を超えるRMSDの数}) / (\text{将来全サンプル数} = 600)$
この値を現在気候値25年分で、平均したものを気温に対する類似度スコアとし、総合類似度スコアは、地上気温と降水量のスコアのかけ算とする。
 $S = S_T * S_p$



ここで、変数: x: ターゲット都市の場所, y: 年, m: 月, s: SSTクラスター, c: 対流スキーム, i: 初期条件。下付文字, Obs: 現在気候観測値, M: モデル結果値, f: 将来, p: 現在

3. モデル・実験

将来気候予測

- 24のアンサンブルGCM実験から、変化量を予測



各GCM実験は25年のデータがあるので、将来気候の季節変化サンプル数は $24 \times 25 = 600$ 。

GCM

- モデル: MRI-AGCM3.2H
- 水平解像度: およそ 60km (T_1 319)
- 温室効果ガス排出シナリオ: SRES A1B
- 現在気候値 (1973-2003): 観測値 (CRU)
- 将来気候値 (2075-2099): Δ法で計算

マルチ積雲スキーム&マルチSSTアンサンブル実験

60-km MRI-AGCM3.2H (20-kmと比較して計算負荷が小さい)

3積雲対流スキーム

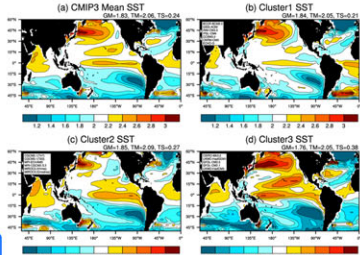
- YS: Yoshimura
- KF: Kain-Fritsch
- AS: Arakawa-Schubert

4将来変化SSTアノマリ

- 18 CMIP3 モデル平均
- cluster 1 of 18 ΔSST
- cluster 2
- cluster 3

2Initial conditions

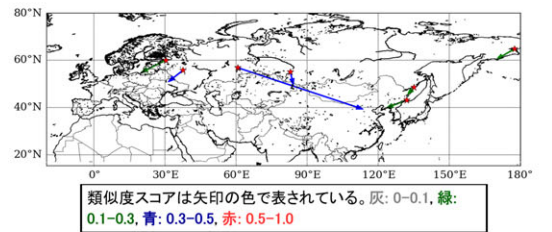
3×4×2=24メンバー



4. 結果

ロシア主要7都市の気候アナログ

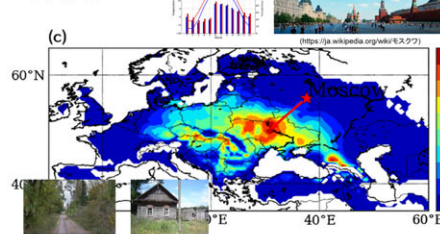
ロシア主要7都市: ウラジオストク、ハバロフスク、モスクワ、サントペテルブルク、エカテリンブルグ、ノボシビルスク、アナディリ



類似度スコアは矢印の色で表されている。灰: 0-0.1, 緑: 0.1-0.3, 青: 0.3-0.5, 赤: 0.5-1.0

気候アナログと類似度スコアの地理分布

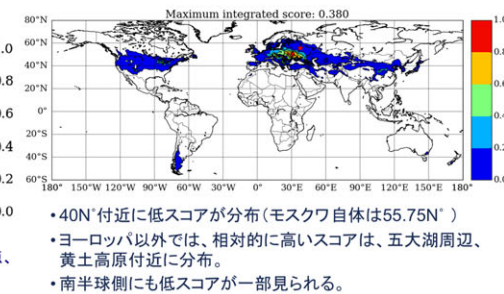
モスクワ



スコアは最大値で正規化されている。矢印は、ターゲット都市を支点、アナログ都市が終点を表している。

類似度スコアの全球分布

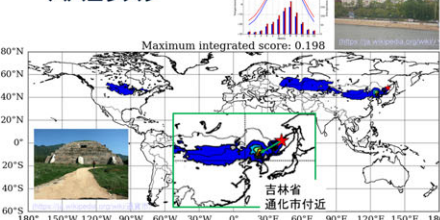
モスクワ



- 40N付近に低スコアが分布(モスクワ自体は55.75N)
- ヨーロッパ以外では、相対的に高いスコアは、五大湖周辺、黄土高原付近に分布。
- 南半球側にも低スコアが一部見られる。

気候アナログと類似度スコアの地理分布

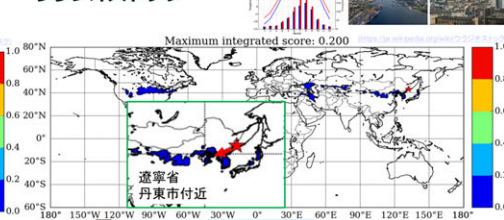
ハバロフスク



600年等価サンプルを利用できるので、気候アナログ地点は、地理的に分布した地図上で表現される。

気候アナログと類似度スコアの地理分布

ウラジオストック



5. まとめ

- MRI-AGCM3.2Hを用いて、24の将来気候予測実験を行い、ノンパラメトリックな探索法を用いて、ロシア主要7都市の将来気候に対する気候アナログを行った。
- 殆どの将来気候アナログ都市は、ターゲット都市から数°~5°程度南側の地点に同定された。
- ロシア西部のターゲット都市は西側にアナログ都市が、ロシア中央部のターゲット都市は東側にアナログ都市が同定された。極東沿岸都市は南側沿岸部にアナログ都市が同定された。
- 本手法を用いた気候アナログは、影響評価指標などにも応用可能である。