

領域再解析と生態水文モデルによる極域水循環変動の監視と理解

課題責任者

鈴木 和良 海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター

著者

鈴木 和良^{*1}, 関谷 優樹^{*2,1}, 朴 昊澤^{*1}, Zupanski Milija^{*3}

^{*1} 海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター, ^{*2} 東京都立大学, ^{*3} コロラド州立大学

キーワード: データ同化, 領域再解析, アンサンブルシミュレーション, 北極, 異常気象

1. 背景

近年、極端気象の報告が増加しており、特に北極域では気候変化が著しく、温暖化の影響を受けやすい状況にある。しかしながら、これらの変化を正確に捉えるための再解析データは依然として不十分である[1][2]。

著者らは、北極域の極端気象の表現能力の向上のために、Polar Weather Research and Forecasting (PWRF) [3] と Maximum Likelihood Ensemble Filter (MLEF) [4] を組み合わせたデータ同化システムである JAMSTEC Arctic Regional reanalysis system (JAMSTARs)を開発している。地上観測等と比較可能な詳細な再解析データを創出するためデータ同化システムを高度化している。

さらに陸面水・物質循環と永久凍土融解の関係を解き明かすため、生態水文化学結合モデル(CHANGE)の高度化研究を行っている。

本年度は、北極領域データ同化システム(JAMSTARs) [5] を基礎として、今年度はネスティングデータ同化システムとダウンスケーリング機能を追加し、データ同化システムの高度化を行った (Suzuki et al., 投稿準備中 [6])。

さらに、CHANGE モデルの高度化研究を通して、北極海への淡水流入が北極酸性化にどのような影響を及ぼしているのか明らかにした (Park et al., 2024 [7])。

2. 北極領域再解析システム JAMSTARs の高度化—ネスティングデータ同化の適用— [6]

JAMSTEC 北極領域再解析システム (JAMSTARs) は、北極から中緯度までを網羅するアンサンブルシミュレーションに基づく領域再解析フレームワークである。本システムは、米国国立環境予測センター (NCEP) の PREPBUFR による観測データを定常的に同化しており、高度な陸面モデルのパラメタリゼーションや衛星観測データが再解析の精度に与える影響を評価するためのツールを提供している。

本研究では、微細な地表面および雪氷圏プロセスをより適切に捉えるために高度化された JAMSTARs の新しいネスティングデータ同化を開発した。この新システムでは、北半球全域をカバーする空間解像度 27 km の親ドメインを採用し、アラスカや極東シベリアといった重要な領域に対して解像度 9 km のネスト領域を導入している。表 1 はアラスカポーカーフラット観測サイトの地上 2m 気温と比

較した。この表から、力学的ダウンスケールに比べ、新たに開発されたネスティングデータ同化システムは詳細な地上の気象要素を改善する傾向が見られた。

このネスティングフレームワークは、北極および亜北極域における異常気象、永久凍土の変化、および水文プロセスの理解向上に寄与するものである。また、高解像度の気候サービスや、北極航路の予測、地域水資源管理といった実務的なアプリケーションに適したスケールにおいて、多様な観測データセットや陸面スキームの影響を評価するための強力なツールを提供する。

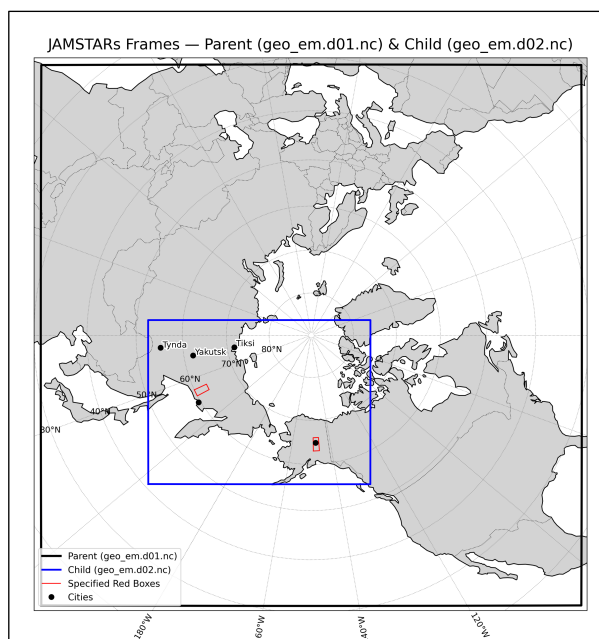


図 1 北極領域再解析の計算対象領域。赤点は再解析データの精度検証のために用いた US Climate Reference Network (USCRN) の地点。

表 1 アラスカポーカーフラット観測サイトにおける地上 2m 気温の再現性

各実験	RMSE (°C)	R ²	
		ネスティング	ネスティング
ERA5	1.2	0.81	
力学的ダウンスケール	3.7	0.42	0.5
JAMSTARs	2.4	0.78	0.83

3. 水トレーサーモデルを用いた北極圏陸域の水源配分評価 [7]

北極圏の河川流量への影響は広く観察されているものの、変化の根本的な原因、すなわち水源（融雪水、雨水、土壤水、永久凍土融解水）の寄与率やタイミングの変化、および蒸発散レジームの変化が与える影響について、詳細な評価を行った研究は比較的少ない。

その主な課題として、地上観測ネットワークの限界があり、複雑な変化を高い信頼性でモデル化する事が困難な為である。本研究では、1979年から2016年までの3つの気象強制力データセットに基づき、追跡子（トレーサー）を用いた生態水文モデルを構築した。これを用いて、北極圏全域の河川流域における蒸発散および流量への水源別寄与率を定量的に評価した。

同位体データを用いることで水配分に追加の制約条件を与えた CHANGE（モデル）により、研究期間中の年平均で、雨水と融雪水が蒸発散量の67%、河川流量の39%を占めていることが明らかになった。

モデルによりシミュレートされた年平均蒸発散量（ET）も、1979年から2016年にかけて有意な増加傾向を示した（ 0.38 mm yr^{-2} , $p < 0.01$, 図 3a）。このETの増加は、研究期間中に有意に増加した雨水由来の蒸発散（ ET_{rn} ）の影

響によるものである（ 0.39 mm yr^{-2} , $p < 0.01$, 図 3a）。対照的に、雪由来の蒸発散（ ET_{sn} ）は、降雪減少によるわずかな影響を除き、ほとんど変化を示さなかった（ -0.01 mm yr^{-2} , $p < 0.71$; 図 3a）。

ETの各サブコンポーネント（例：蒸散 E_t 、遮断蒸散 E_i 、土壤蒸散 E_s ）も研究期間中に増加傾向を示しており（図 3b）、これは夏季における雨水の利用が増大していることを表している。年間の E_t 、 E_i 、 E_s において、雨水ソースは70~76%を占めていた。ET およびそのサブコンポーネントに含まれる土壌および永久凍土起源の水は、全体のごくわずかな割合（1%未満）に過ぎず、その傾向も有意ではなかった。

4. まとめ

(1) 北極領域再解析システムを高度化し、永久凍土荒廃や雪氷変動を理解するため、新たにネスティングデータ同化システムを開発した。

(2) 水源配分の根本的な変化、特に「雨水の寄与の増大」が、北極圏全域の陸域蒸発散および流量における季節的・経年的・地域的な変化の鍵となる要因であるという新たな視点を提供した。

謝辞

本研究の一部は、科研費・基盤研究（B）22H03758「北東シベリアの山岳永久凍土荒廃による炭素・窒素動態の変容」（2022年度～2025年度）とJAXA 第4回地球観測研究公募採択「ALOS-2 と現地観測に基づく AMSR3/GCOM-W 積雪深プロダクト検証ならびに領域再解析と生態水文モデルによる極域水循環変動の監視と理解」の支援を受けた。ここに記して感謝申し上げる。

文献

[1] Hines, K. M., & Bromwich, D. H. (2008) doi: 10.1175/2007 MWR2112.1, [2] Zupanski, M. (2005) doi:10.1175/MWR2946.1., [3] Hersbach, H. et al. (2020) doi:10.1002/qj.3803, [4] National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce (2015) <https://doi.org/10.5065/D65Q4T4Z>. Accessed - 17-31 Dec. 2021, [5] Suzuki, K. et al. (投稿準備中) Evaluation of Land Surface Processes and AMSR2 Sea Wind Data Assimilation in Arctic System Domain Reanalysis, PEPS, [6] Suzuki, K. et al. (投稿準備中) Advancing the JAMSTEC Arctic Regional Reanalysis (JAMSTARS): A Nested Data Assimilation Approach for Improved Mountain Snowpack Representation, PEPS, [7] Park, H. et al. (2026), Water tracer model-assessed contributions of source waters to changing circumpolar Arctic terrestrial evapotranspiration and river discharge, doi:10.1016/j.jhydrol.2025.134379.

