

基于时序分解的有效波高非平稳性建模

Nonstationary modelling of significant wave height using time series decomposition method

作者：黄炜楠，朱晓雯，金亦帅，沈星辰*

Ocean Engineering, 310, 118731, 2024

沈星辰 xingchen@iscas.ac.cn

研究背景

在气候变化背景下，如何对有效波高的非平稳性进行建模。传统的海岸和海洋工程设计通常基于平稳假设，但全球气候变暖使得这种假设可能不再成立。因此，需要扩展静态重现值的概念，以应对非平稳过程带来的风险变化。

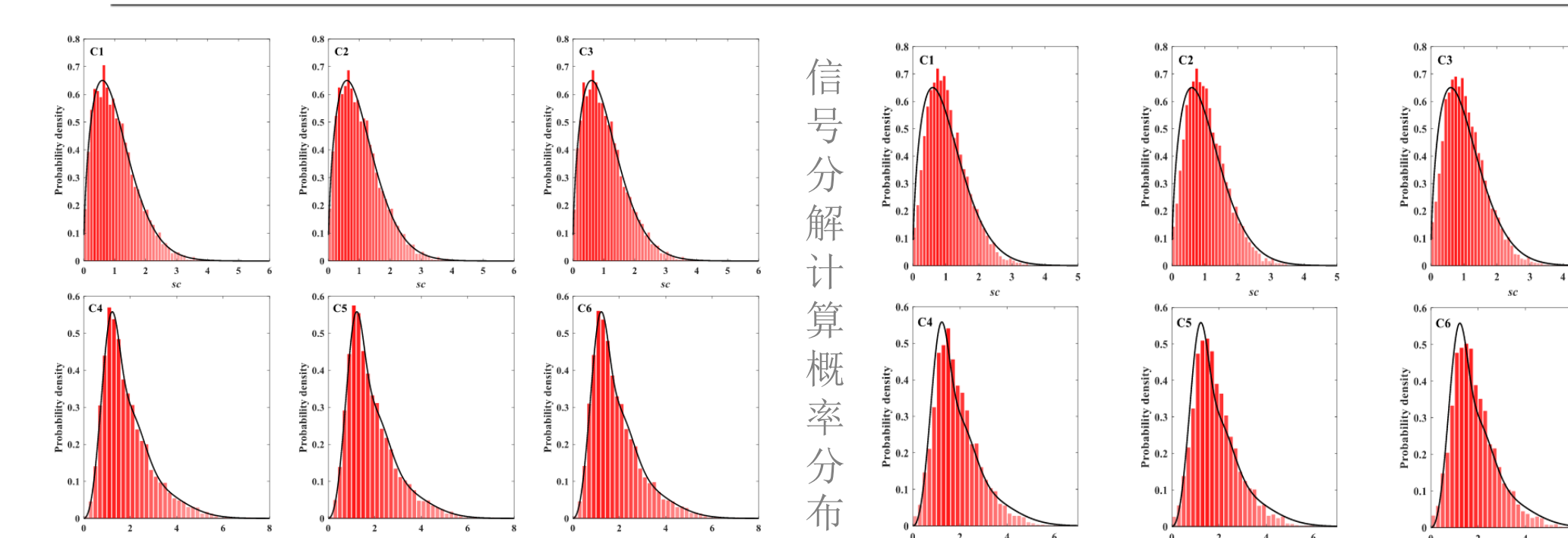
研究动机

准确分离时间序列中的确定性成分和随机成分，以及利用可预测的气候因素来识别确定性成分的时间演变是这一问题的研究难点。前人已有研究探讨了有效波高的季节性、年际和长期趋势，并分析了其与大气-海洋系统动力学之间的关系。然而，忽略非平稳性对极端气候事件风险的影响可能会造成预测的较大误差。

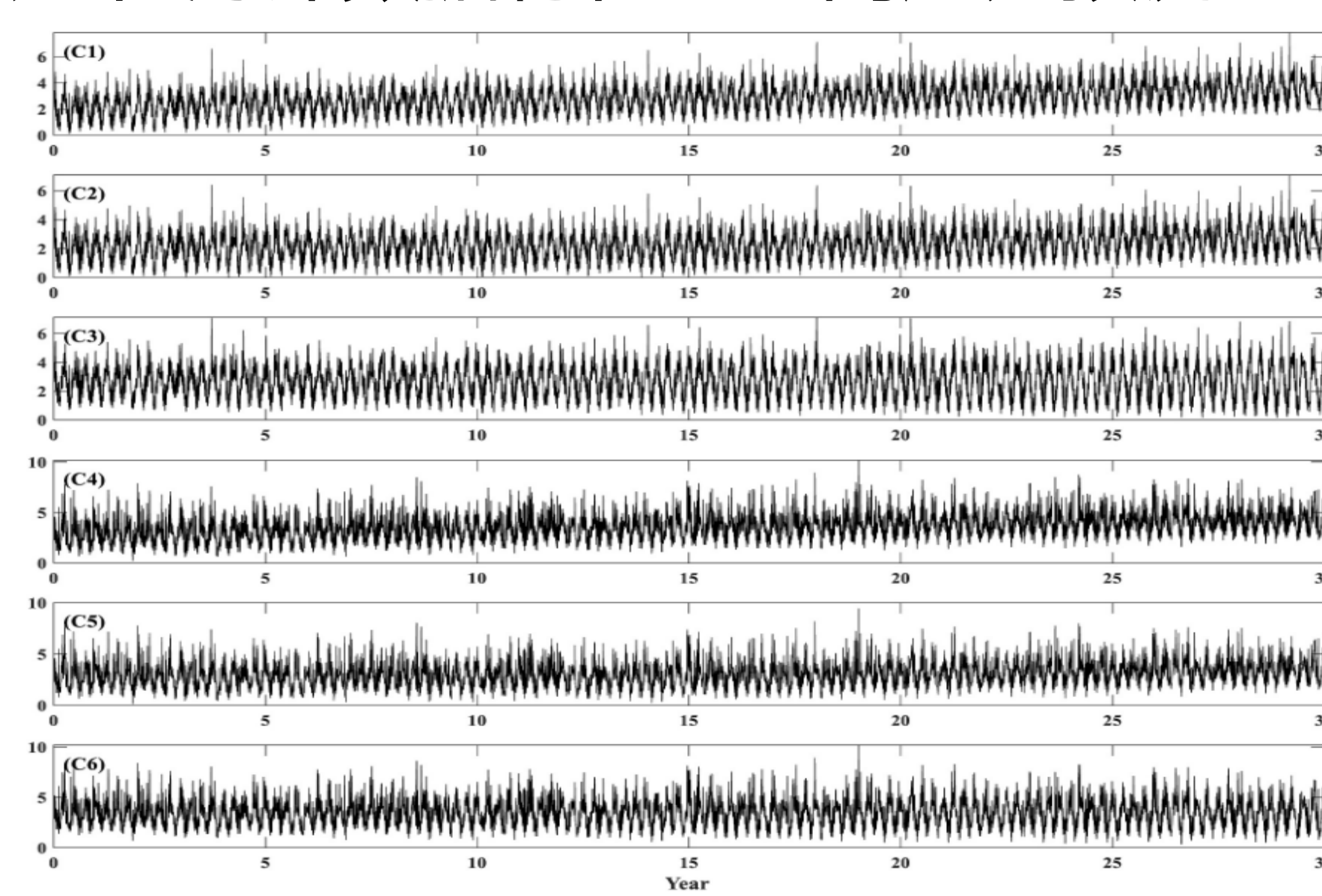
实验设计

1.数据处理:构建非平稳数据集，包括确定性分布和随机分布。确定性分布由趋势信号和周期信号组成，随机分布由Weibull分布生成。2.实验场景:设计了 C1-C6六个合成场景，每个场景包含5475个样本，对应30年的数据，采样间隔为48小时。3.算法设计:根据季节性特征使用奇异谱分析（SSA）、递归量化分析（RQA）、贝叶斯估计器（BEAST）建立数据分解模型，在此基础上通过深度学习算法进行海洋数据特征的时间序列预测。

Case		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Standard deviation	SSA-based approach	0.6853	0.6858	0.6851	1.0393	1.0397	1.0392
	BEAST	0.6196	0.6212	0.6223	0.9277	0.9257	0.9284
Skewness	Predetermined signal	0.6857	0.6857	0.6857	1.0405	1.0405	1.0405
	SSA-based approach	1.0011	1.0013	1.0034	1.2597	1.2563	1.2596
Kurtosis	BEAST	0.7977	0.7819	0.7658	0.9090	0.9275	0.9249
	Predetermined signal	1.0026	1.0026	1.0026	1.2626	1.2626	1.2626
LRRL	SSA-based approach	4.2353	4.2582	4.2478	4.7289	4.7208	4.7287
	BEAST	3.9983	3.9633	3.8139	4.0528	4.1031	4.1106
$\phi(0.95)$	Predetermined signal	14.3821	14.3600	14.1222	13.8430	17.3183	15.4390
	SSA-based approach	21.1430	16.3815	17.6976	16.3657	16.2399	18.7767
	Predetermined signal	13.5302	13.5302	13.5302	15.7763	15.7763	15.7763
	BEAST	-0.1426	-0.2214	-0.0266	0.0340	-0.1626	-0.0268
	SSA-based approach	-7.0943	-7.2397	-7.1127	-8.8979	-9.1378	-8.9798
	BEAST						



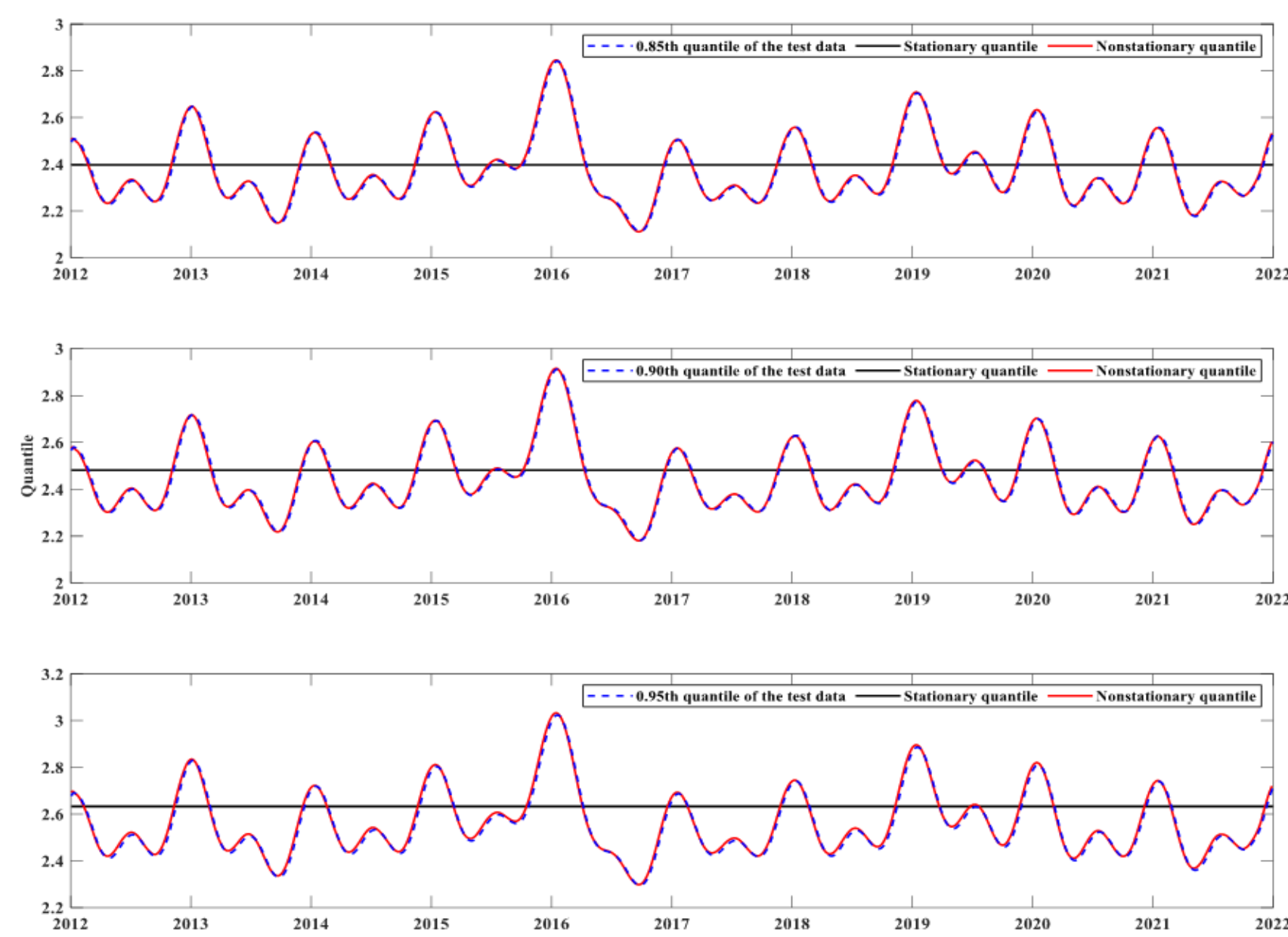
分解随机信号特征
由BEAST
计算的概率分布



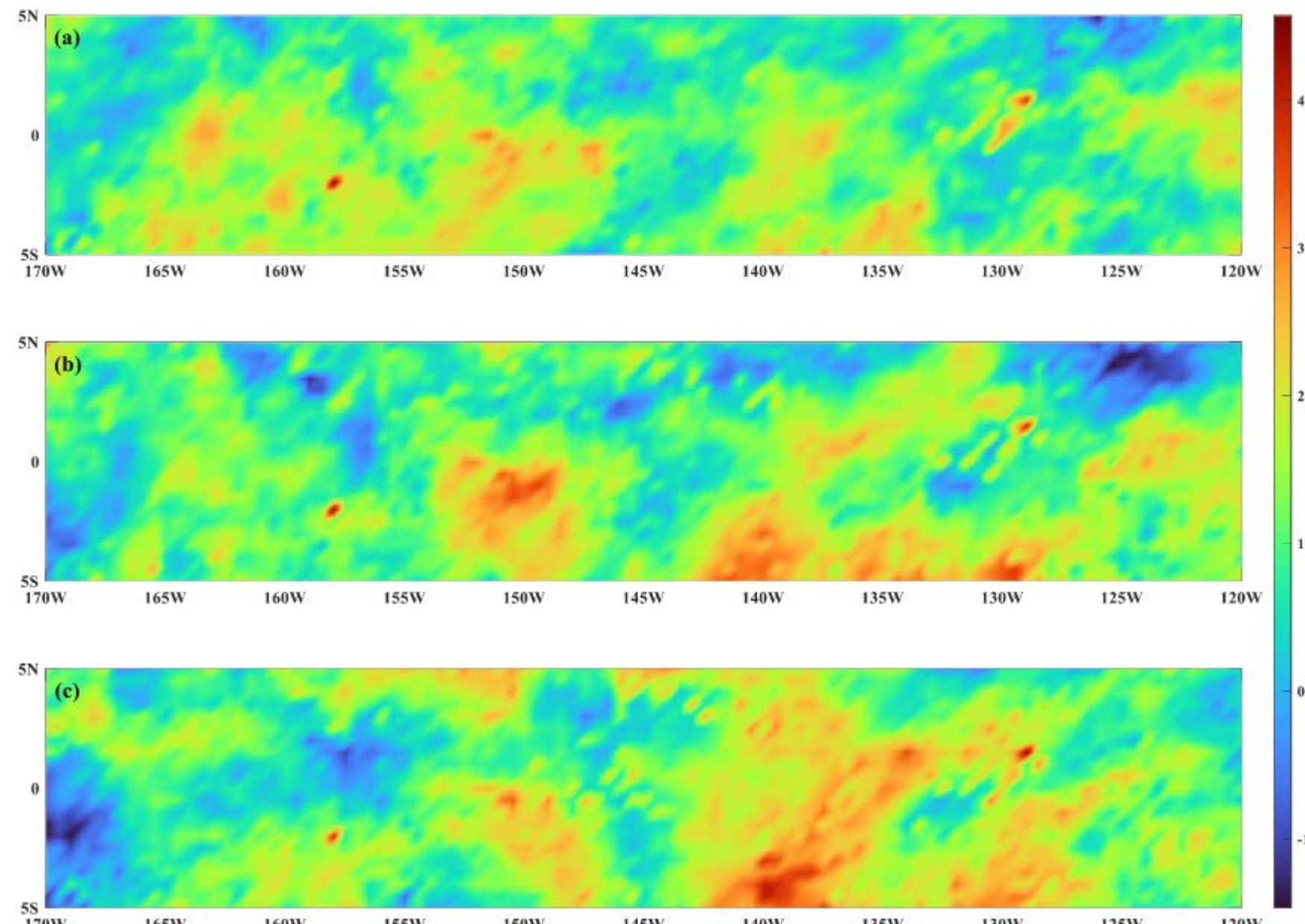
合成非平稳时间序列

结果讨论

SSA方法和BEAST方法均能有效识别非平稳时间序列中的趋势、周期性和突变成分。然而，BEAST方法提取的确定性成分受噪声影响较大，导致概率分布的偏移。SSA方法提取的随机成分与预定分布模型的统计特性更为一致，特别是在尾部极值的计算上表现更好。通过LRRL、MMV、MSD评估随机成分的平稳性结果表明SSA方法分离的随机成分与预定信号的平稳性相当。应用所提出的框架对Nino 3.4区域的显著波高进行非平稳建模，结果显示随机成分的重现值可以通过前几年的数据进行有效预测，确定性成分可以通过深度学习模型准确预测。



Nino3.4区域西经145度的测试结果



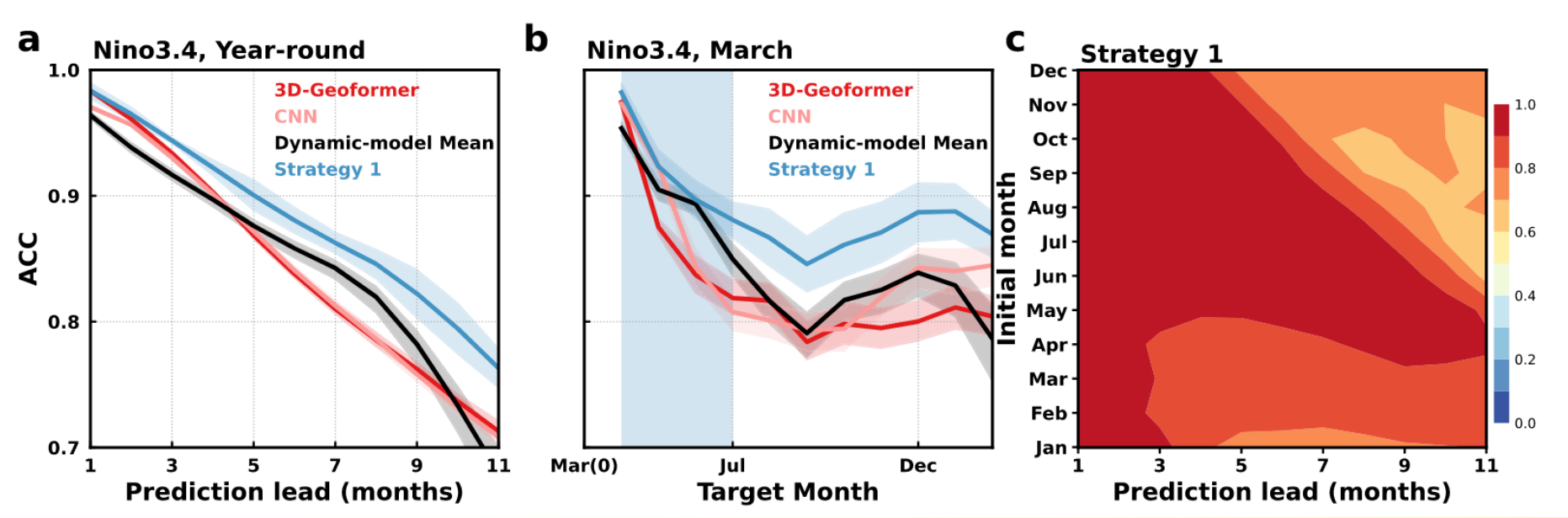
Nino3.4整体区域测试结果的差异

应用情况

应用一：在区域性与天气尺度预测方面，为软件所天智全球海洋区域气象服务保障系统提供软件算法技术基础；应用二：在全球性和气候态时空序列数据预测方面，为耦合传统数值模式与海洋气象智能预测模型预测提供方法支撑。



软件著作权：天智海洋气象区域服务保障系统V1.0
2025SR0265305



本图来源于：Y. Chen, Y. Jin*, Z. Liu*, X. Shen et al., "Combined dynamical-deep learning ENSO forecasts," Nature Communications, vol. 16, no. 1, p. 3845, 2025.