# Med-CORDEX项目的新建立的ENEA-REG (RegESM)耦合模拟系统

Alessandro Anav, Adriana Carillo, Massimiliano Palma, Maria Vittoria Struglia, Ufuk Utku Turuncoglu, and Gianmaria Sannino. The ENEA-REG system (v1.0), a multi-component regional Earth system model: sensitivity to different atmospheric components over the Med-CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) region. Geosci. Model Dev., 14, 4159-4185, 2021

摘要：建立新的应用于Med-CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)地区的区域性ESM—ENEA-REG。

ENEA-REG的气象模式有2个：RegCM和WRF，还有HD，一个海洋模式MITgcm，不同复杂度的陆地表面模型。模型组件由ESMF耦合，驱动器RegESM。

模型模拟时段：1980~2013，采用ERA-Interim再分析数据驱动。结果表明：2个大气模式都能复演欧洲地中海地区的大尺度和局部特征，但还是发现一些差异：WRF模式在计算域的东北边界附近的冬季有明显的冷偏差，在整个欧洲大陆区域的夏季有暖偏差；而RegCM模式过高估计了整个地中海地区的风速。

类似地，海洋模式能正确复演海洋特征。

# 2模型介绍

## 2.1RegESM耦合器



图1 ENEA-REG区域耦合模型的组件示意图

## 2.2大气模式组件：WRF和RegCM

WRF模式V3.8.1\_cpl，ARW；RegCM\_v4.5 (Giorgi et al., 2012)：尚未实施非静水压力动力核心。2个大气模式使用的主要物理参数化方案如下：



## 2.3海洋模式组件：MITgcm

MITgcm\_c65 (Marshall et al., 1997)

## 2.4河流径流模型：HD

HD\_v1.0.2，使用矩形全球网格，水平分辨率0.5°，受每日地表径流和集水数据驱动。HD模型代码做了小的修改(Turuncoglu and Sannino, 2017)：从大气模型获取地表径流和集水，向海洋模式提供河道流量。

# 3试验设计和观测数据集

模型校核(validation)时间段：1982~2013，使用前2年的spin-up模拟，初始化耦合系统中不同组件的初始场。耦合模型主要校核的场有：海洋模式的海表温度、海表盐度和海洋的混合层深度，以及大气模式的2m气温、风速、淡水和热通量。HD：比较Po River的河道径流模拟结果。

校核：

（1）模拟的SST结果与NOAA研发和发布的数据比较Objectively Interpolated Sea Surface Temperatures (OISST v2, Reynolds et al., 2002 and 2007), The OISST composites observations from different platforms (satellites, ships, buoys) on a 1=4°global grid and the gaps are filled by interpolation (Reynolds et al., 2007).

（2）盐度数据：地中海的MEDHYMAP (Jordà et al., 2017). For the mixed layer depth, we use a global climatology computed from more than 1 million Argo profiles collected from 2000 to the present (Holte et al., 2017); this climatology provides estimates of monthly mixed layer depth on a global 1°gridded map.

（3）大气模式的校核，采用ERA5，RegESM能复演ERA5数据(Mooney et al., 2013)，ERA5提供陆地和海洋的数据信息。ERA5数据对海洋有一些缺陷，用来验证风速时应谨慎使用(Belmonte Rivas and Stoffelen, 2019)。

（4）观测的河道径流验证HD计算结果。

# 4结果

## 4.1大气模型的评价

在参考期(1982~2013)的冬季(DJF)和夏季(JJA)，比较RegESM模拟结果与ERA5。

比较：空间分布形态和异常分布图，还计算不确定相关模式与相对实测值的计算域内平均的偏差，来评估模型精度。

如图3，地表气温的空间分布及异常分布，在冬季与ERA5数据趋势一致，

如图4，降雨量的空间分布及异常分布，

如图5，淡水通量模块（包括：降雨P、蒸发E和E-P）的年内变化和季节平均值，

如图6，地表上方10 m风速的的空间分布及异常分布，

如图7，净热量通量的空间分布及异常分布，

如图8，净热量通量的年内分布及季节平均值，

## 4.2海洋模式的评价

4.2.1海表过程

海表温度（SST）和海表盐度（SSS）

如图9，SST的空间分布及与OISST观测值的偏差，

如图10，海表温度的月平均值异常和季节平均值异常的计算与观测对比。

如图11，海表盐度的空间分布及与MEDHYMAP观测值的偏差，

如图12，Po河流的径流的季节平均值与RivDIS观测数据集的对比，

如图13，海表盐度的月平均值异常和季节平均值异常的计算与观测对比。

4.2.2海表高度及循环

如图14，WRF-MITgcm与RegCM-MITgcm分别模拟的海面高度与水下30m处水动力场

4.2.3热量和盐度

4.2.4深水形态

如图18，

# 5结论

2个大气模式(WRF与RegCM)都能复演大尺度或地中海局部的大气特征。但有偏差，。。。

海洋模式中，发现在冬季月份的偏冷预估的SST，是由于RegCM过高计算了风速。

降低上述偏差的可行方法就是采用插值(nudging)技术减小偏差(Liu et al., 2012)。该方法就是：不仅传递驱动信息给侧向边界，还传递给区域计算域内部(Heikkilä et al., 2011)，这样保证了GCM气象模式与RCM的一致性，但目前仍存在一些争议(Omrani et al., 2015)：

一方面，插值技术不允许RCM太多偏离驱动场，这限制了RCM的内部物理机制(Sevault et al., 2014; Giorgi, 2019)。Sevault et al., 2014指出nudging强烈地限制了大气流动的天气模式(synoptic chronology)，因此也限制了海气通量的表现和海洋的反馈，他们还发现：这便于逐日和年内的与观测数据的比较，但nudging也限制了耦合模型中大气模式组件的内部变化。

相反地，关于地中海的极端事件的耦合大气海洋模型的研究表明Lebeaupin-Brossier et al. (2015)：Nudging没有抑制小尺度过程，因此正确地模拟了潜在的海气反馈。该结论与Omrani et al., 2015的一致，建议nudging技术不会影响小尺度场，因为仅松弛了大尺度过程(only the large scales are relaxed)。

RegCM模式没有nudging功能，因此使用WRF模式中的谱插值技术应用于RegESM (WRF-MITgcm)。计算结果表明（如图20），采用插值技术后提高了气象变量的计算精度，有趣的是：海洋模式的物理过程模拟精度也提高了（与观测数据比较后），特别是中部和深度区域的形态。

# 参考文献

Skamarock, W. C. and Klemp, J. B.: A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications, J. Comput. Phys., 227, 3465–3485, 2008. WRF模式

数据同化的作用：

Liu, P., Tsimpidi, A. P., Hu, Y., Stone, B., Russell, A. G., and Nenes, A.: Differences between downscaling with spectral and grid nudging using WRF, Atmos. Chem. Phys., 12, 3601–3610, https://doi.org/10.5194/acp-12-3601-2012, 2012.

Omrani, H., Drobinski, P., and Dubos, T.: Using nudging to improve global-regional dynamic consistency in limited-area climate modeling: What should we nudge?, Clim. Dynam., 44, 1627–1644, 2015.

Giorgi, F.: Thirty years of regional climate modeling: where are we and where are we going next?, J. Geophys. Res.-Atmos., 124, 5696–5723, 2019.

Sevault, F., Somot, S., Alias, A., Dubois, C., Lebeaupin-Brossier, C., Nabat, P., Adloff, F., Déqué, M., and Decharme, B.: A fully coupled Mediterranean regional climate system model: design and evaluation of the ocean component for the 1980-2012 period, Tellus A, 66, 23967, https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.23967, 2014.

RegESM：

Sitz, L., Di Sante, F., Farneti, R., Fuentes-Franco, R., Coppola, E., Mariotti, L., Reale, M., Sannino, G., Barreiro, M., and Nogherotto, R.: Description and evaluation of the Earth System Regional Climate Model (RegCM-ES), J. Adv. in Model. Earth Sy., 9, 1863–1886, 2017.