



第五届全国中尺度气象学论坛

识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟和 预估热带气旋活动的影响

报告人：皇甫静亮

2023.8

中国科学院大气物理研究所

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences

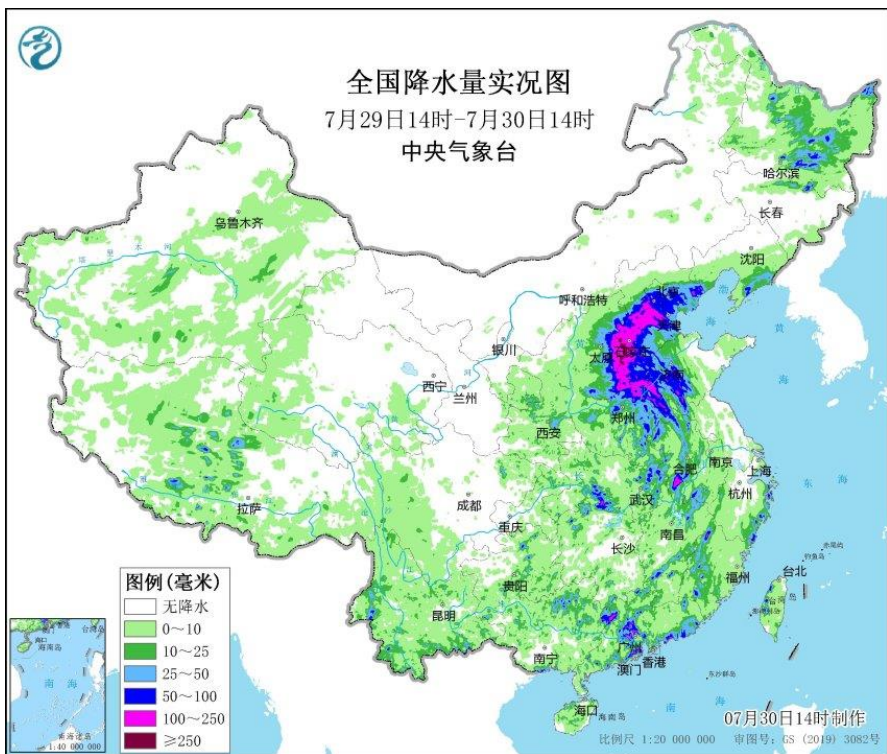


报告内容

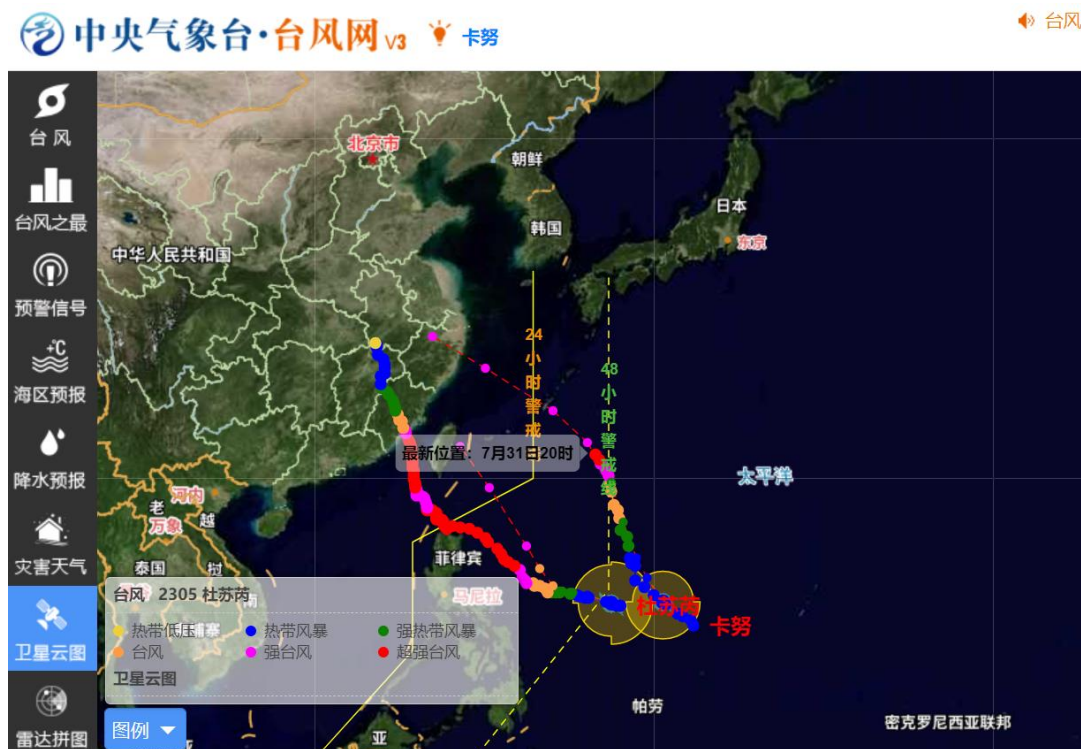
- 1 研究背景
- 2 识别算法对CMIP6高分辨率模式**模拟**台风的影响
- 3 识别算法对CMIP6高分辨率模式**预估**台风的影响
- 4 工作展望 算法改进

1. 研究背景

✓ 华北地区在2023年遭遇超强台风“杜苏芮”引发暴雨灾害



Doksuri 2305号台风引发北京、河北暴雨



2305, Super Typhoon Doksuri
2306, Super Typhoon Khanun



1. 研究背景

✓ 近一个十年，北上台风频发，对华北、东北地区影响显著

中央气象台·台风网 v3 卡努

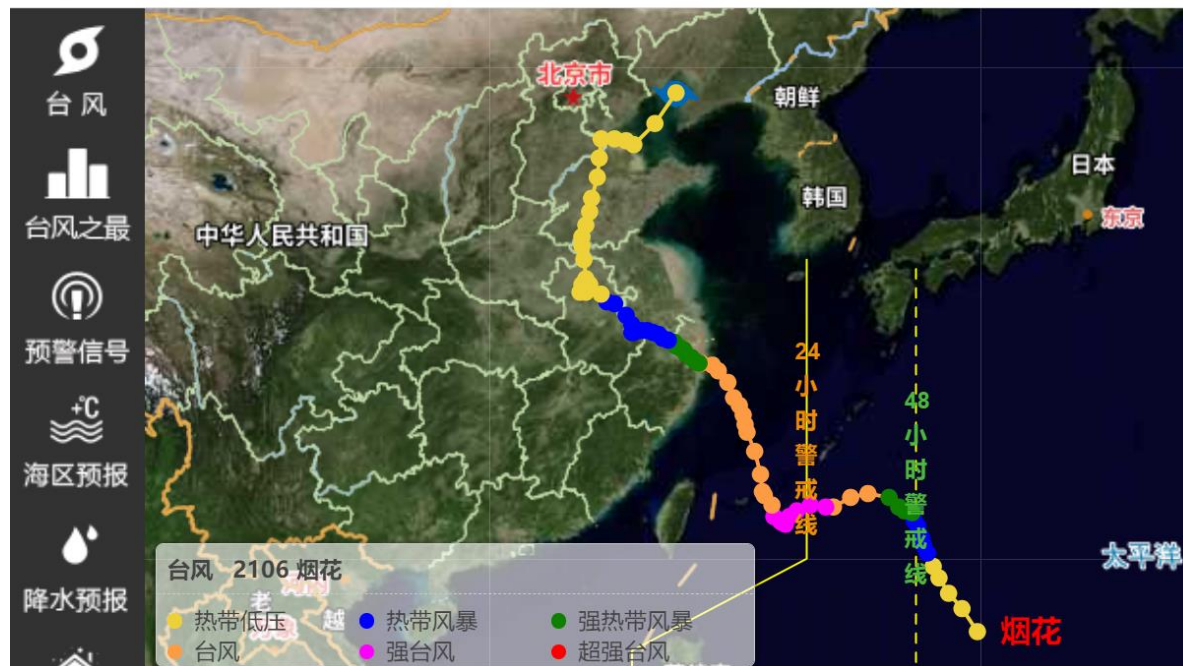
台风“卡努”最新位置:



1909, 超强台风Lekima造成东北极端降水

中央气象台·台风网 v3 卡努

台风“卡努”最新位置:



2106, 超强台风In-Fa造成河南暴雨事件

1. 研究背景

- ✓ 2010年代后，登陆台风的年际潜在灾害指数显著增加。
- ✓ 2010年代后，西北太平洋台风总数显著增加。

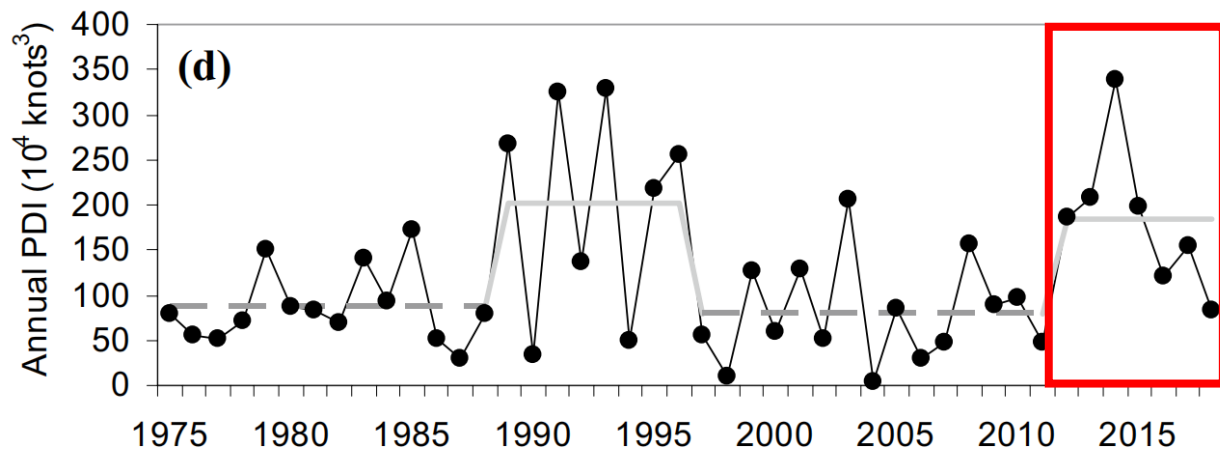


Figure 2d, Liu and Chan, 2020

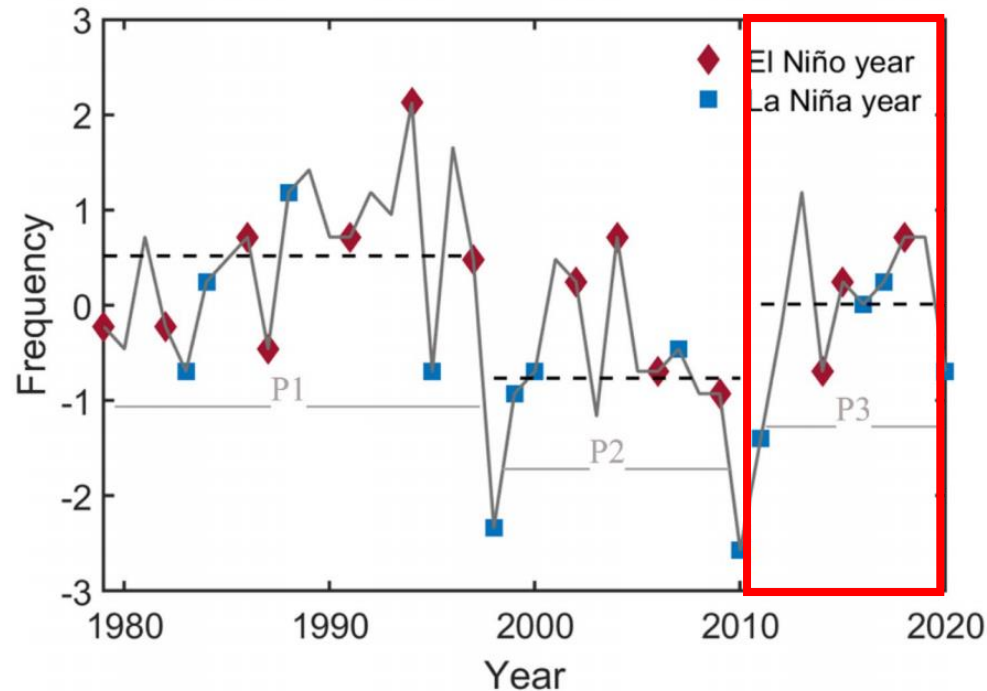


Figure 1, Wang and Wang, 2022

1. 研究背景

- ✓ PDO在2010年代初转向发展性位相
- ✓ 全球加速变暖停滞期结束，再次进入加速增温期

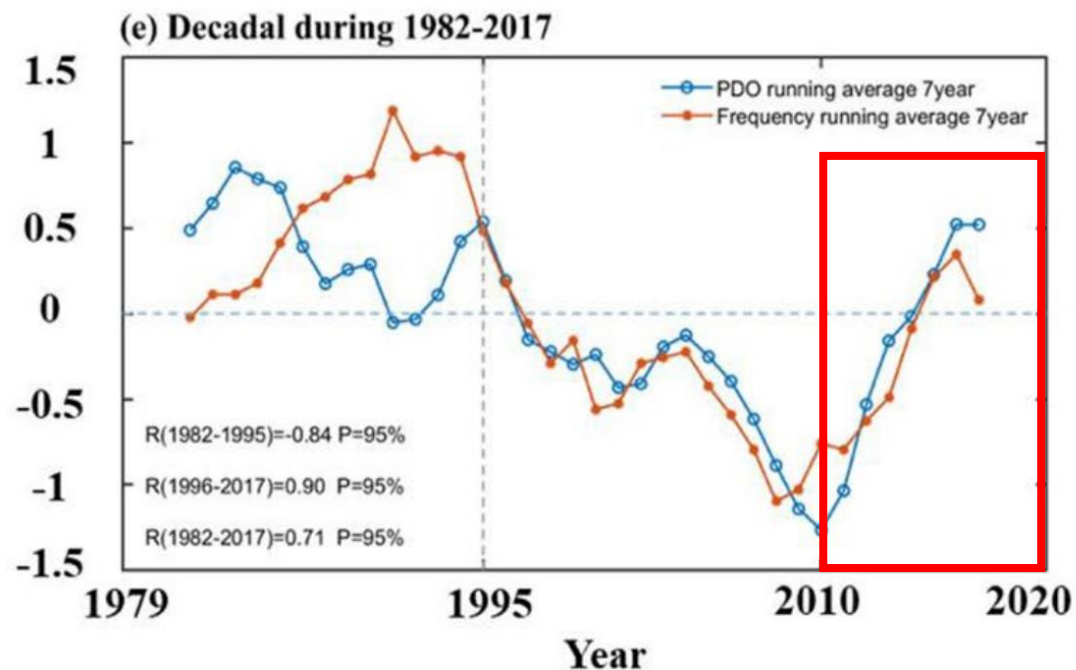


Figure 11e, Wang and Wang, 2022

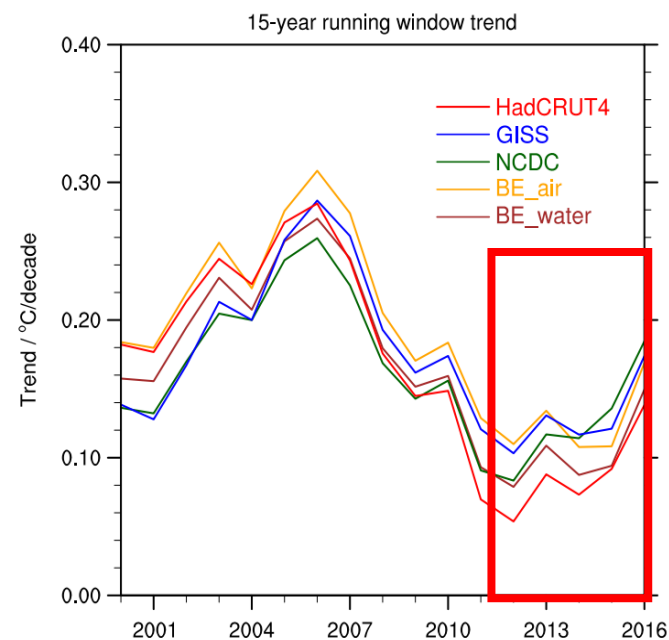
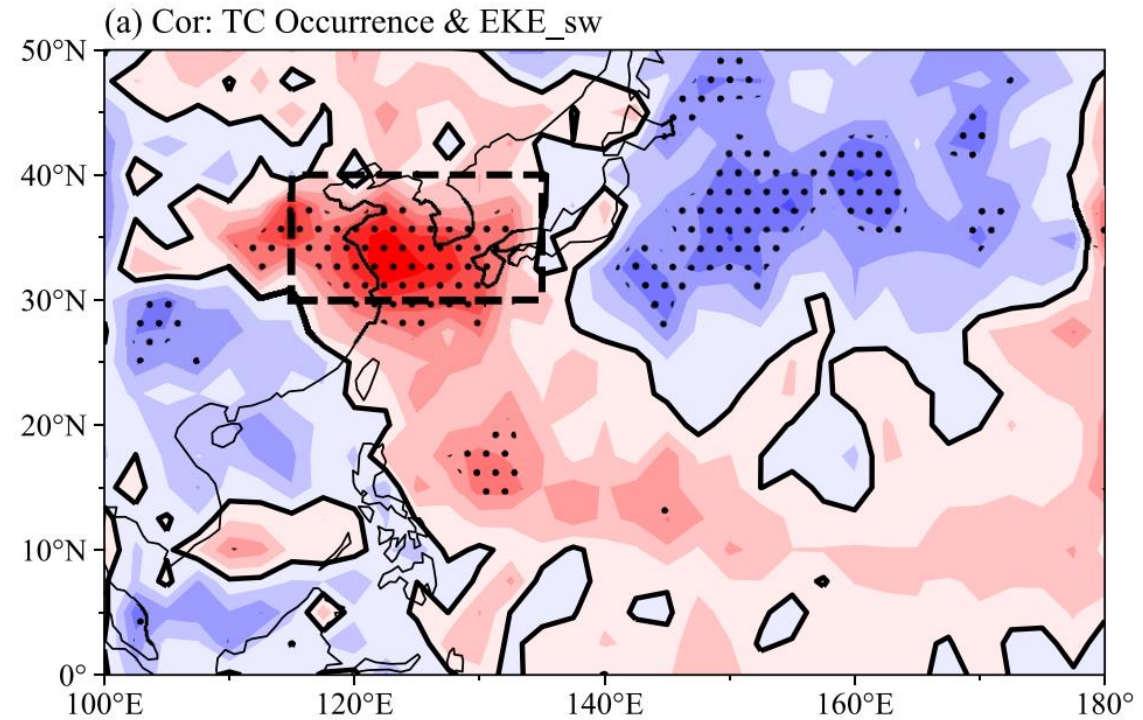
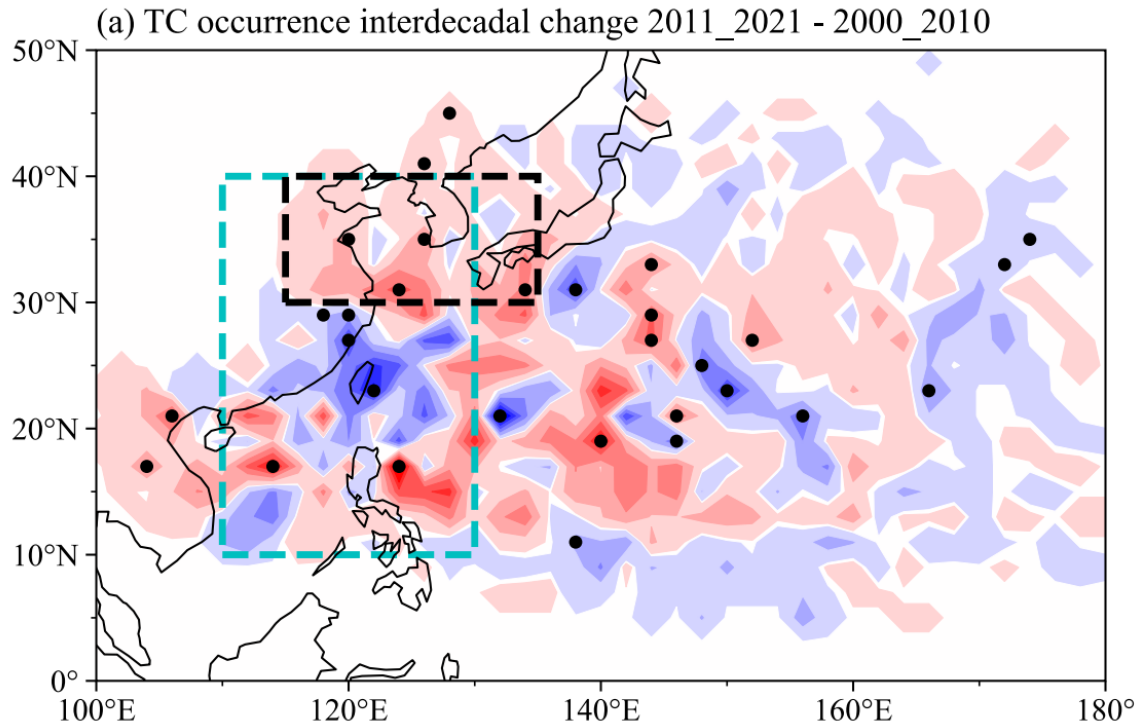


Figure 1, Zhang, 2019

1. 研究背景

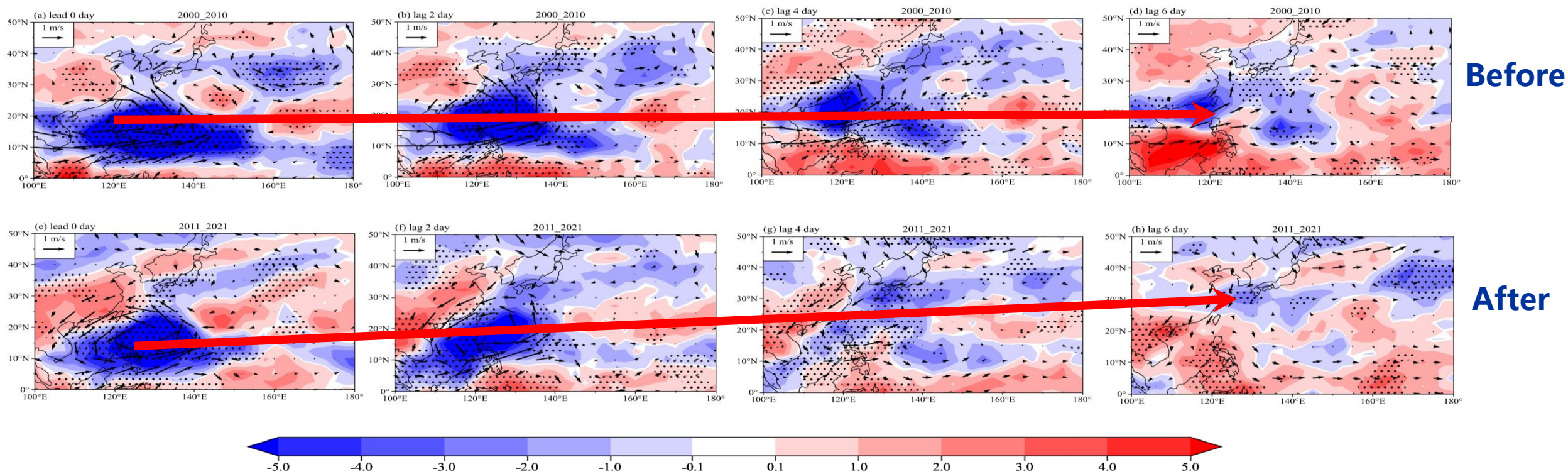
- ✓ 影响华北地区的台风活动在2010年之后显著增加
- ✓ 影响华北的台风活动与来自热带的波动高度相关



Huangfu et al., 2023, GRL

1. 研究背景

- ✓ 2010年之后，天气尺度波动的偏北路径增多，导致台风的偏北路径增多。
- ✓ 那么，台风活动在下一个十年、乃至未来将如何演变呢？





2. 识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟台风的影响

- ✓ 利用全球气候模式研究热带气旋的变化目前仍需要**客观识别算法**来检测追踪潜在的热带气旋

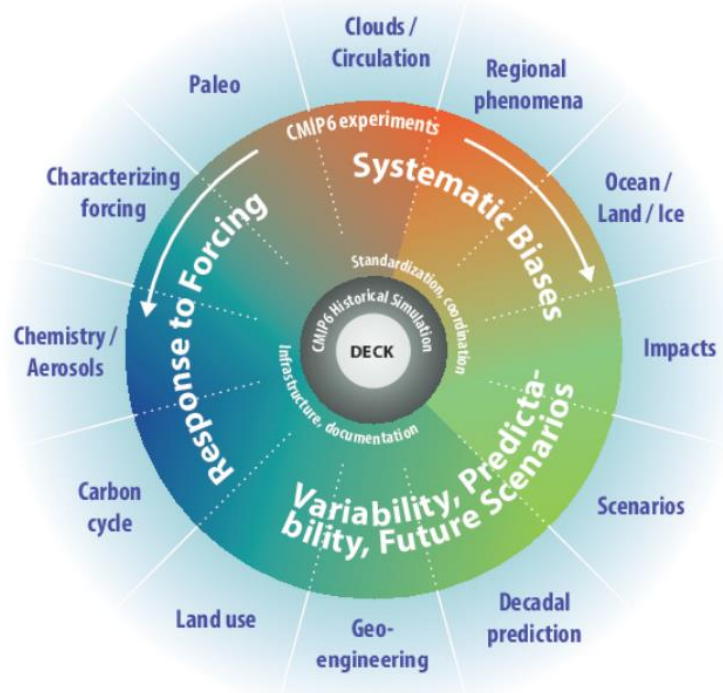


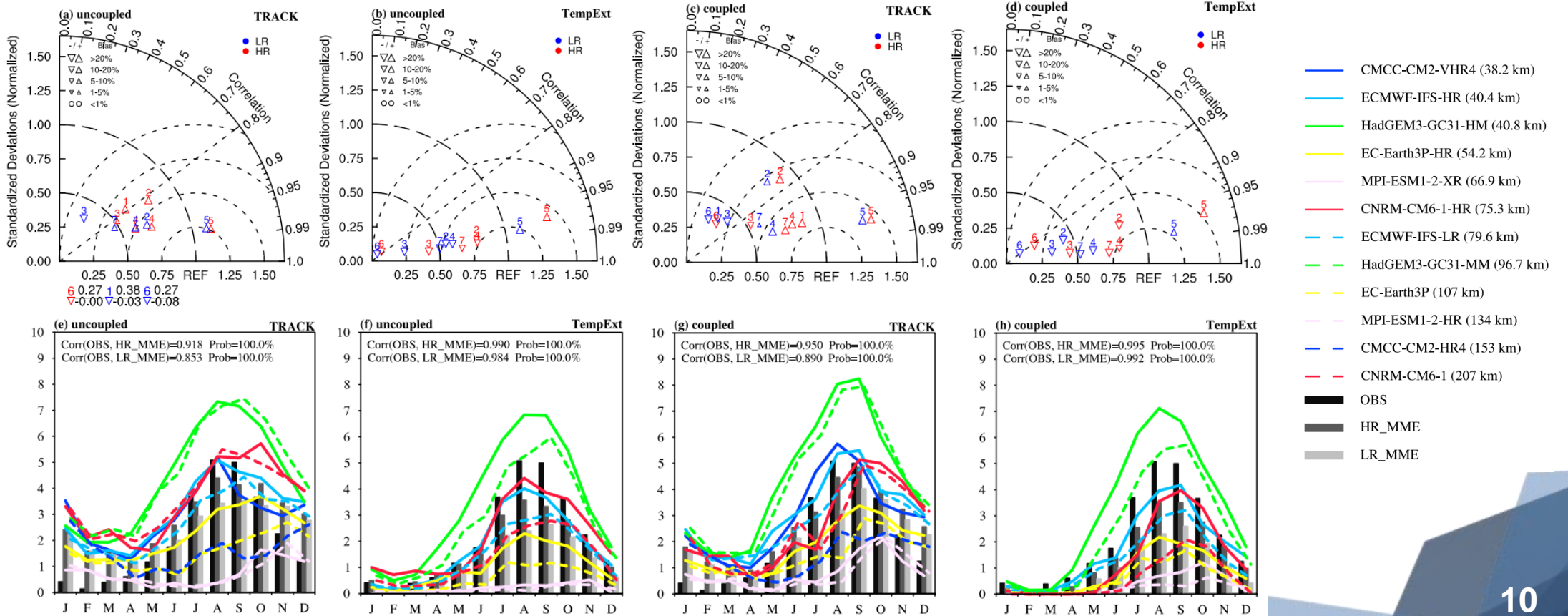
TABLE 1. Summary of models. The “nominal resolution” refers to the area-weighted mean grid box diagonal distance. All runs indicate the highresSST-present (uncoupled), highresSST-future (uncoupled), hist-1950 (coupled), and highres-future (coupled) experiments. All trackers represent the TRACK and TempExt trackers.

Model name	Resolution (km)	Run	Tracker	Reference
CMCC-CM2-HR4	153	All	TRACK	Scoccimarro et al. (2017b)
CMCC-CM2-VHR4	38.2	All	TRACK	Scoccimarro et al. (2017a)
CNRM-CM6-1	207	All	All	Voltaire (2019a)
CNRM-CM6-1-HR	75.3	All	All	Voltaire (2019b)
EC-Earth3P	107	All	All	EC-Earth (2019)
EC-Earth3P-HR	54.2	All	All	EC-Earth (2018)
ECMWF-IFS-LR	79.6	highresSST-present hist-1950	All	Roberts (2017b)
ECMWF-IFS-HR	40.4	highresSST-present hist-1950	All	Roberts (2017a)
HadGEM3-GC31-MM	96.7	All	All	Roberts (2017b)
HadGEM3-GC31-HM	40.8	All	All	Roberts (2017a); Schiemann et al. (2019)
MPI-ESM1-2-HR	134	All	All	von Storch et al. (2017a)
MPI-ESM1-2-XR	66.9	All	All	von Storch et al. (2017b)



2. 识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟台风的影响

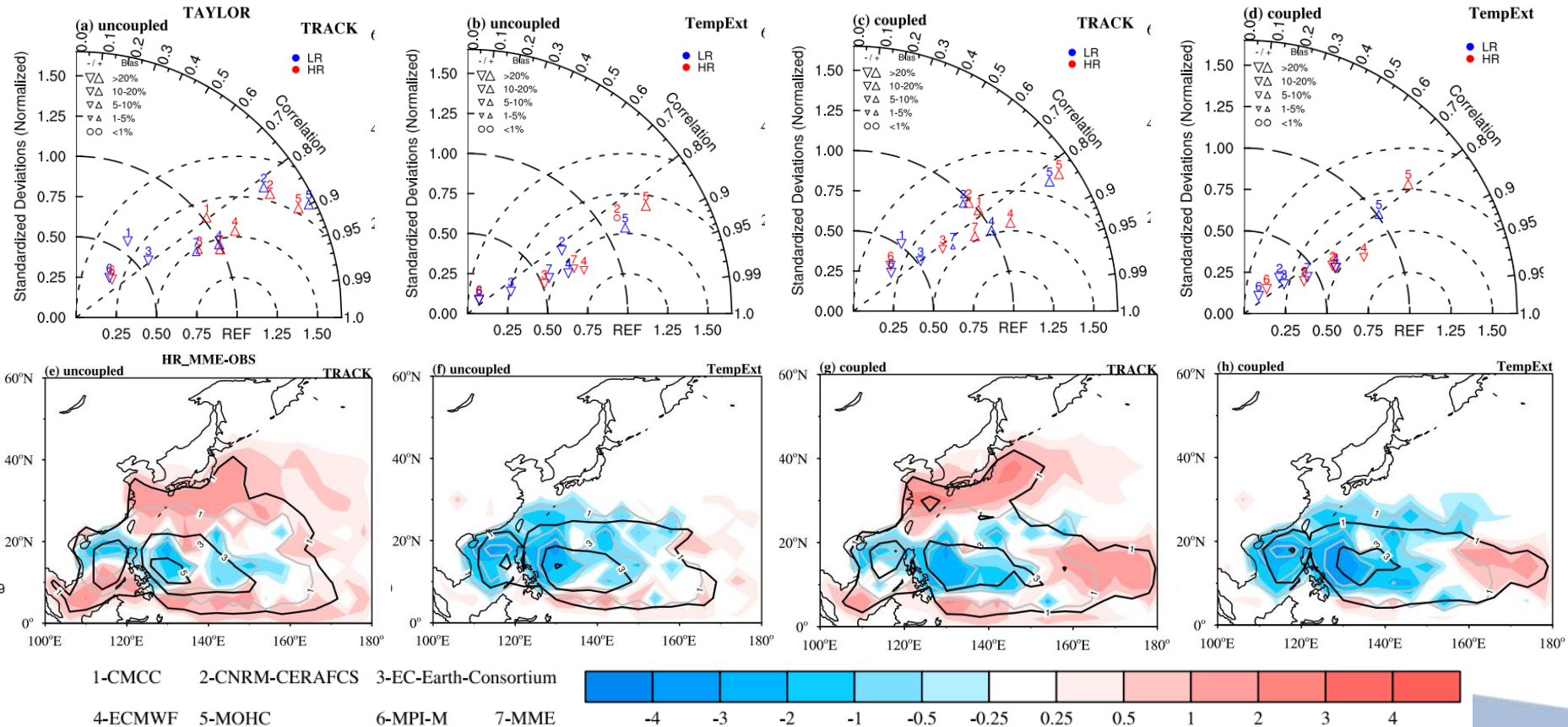
- ✓ 季节循环的泰勒评分：高分辨率模式、海气耦合模式、TempExt算法 ↑
- ✓ 海气耦合试验能够模拟出热带气旋和海洋之间的相互作用 ↑
- ✓ TempExt识别算法将更少的热带外气旋（冬季较为活跃）误判为热带气旋 ↑





2. 识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟台风的影响

- ✓ TC生成空间分布的泰勒评分：高分辨率模式、非耦合模式、Track算法 ↑
- ✓ 由于海气耦合试验的海温模拟偏差导致了热带气旋生成位置的东移 ↓
- ✓ TempExt漏识别了更多的弱热带气旋，识别出了更短的热带气旋路径 ↓

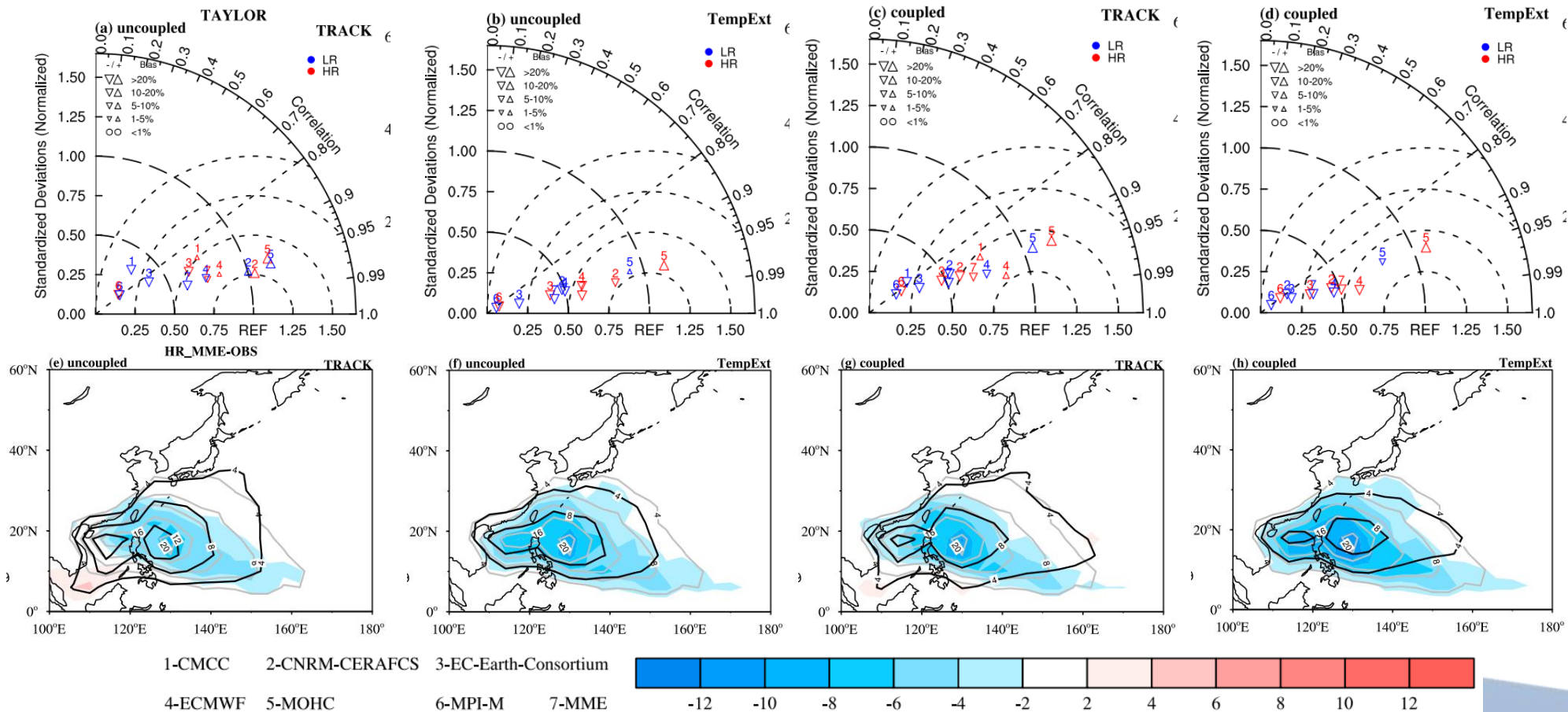


VHR GROUP
HighResMIP MME
(black contours)
JTWC
(gray contours)



2. 识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟台风的影响

- ✓ **TC路径空间分布的泰勒评分：高分辨率模式、非耦合模式、Track算法 ↑**
- ✓ **由于海气耦合试验的海温模拟偏差导致了热带气旋生成位置的东移 ↓ 同前**
- ✓ **TempExt漏识别了更多的弱热带气旋，识别出了更短的热带气旋路径 ↓ 同前**

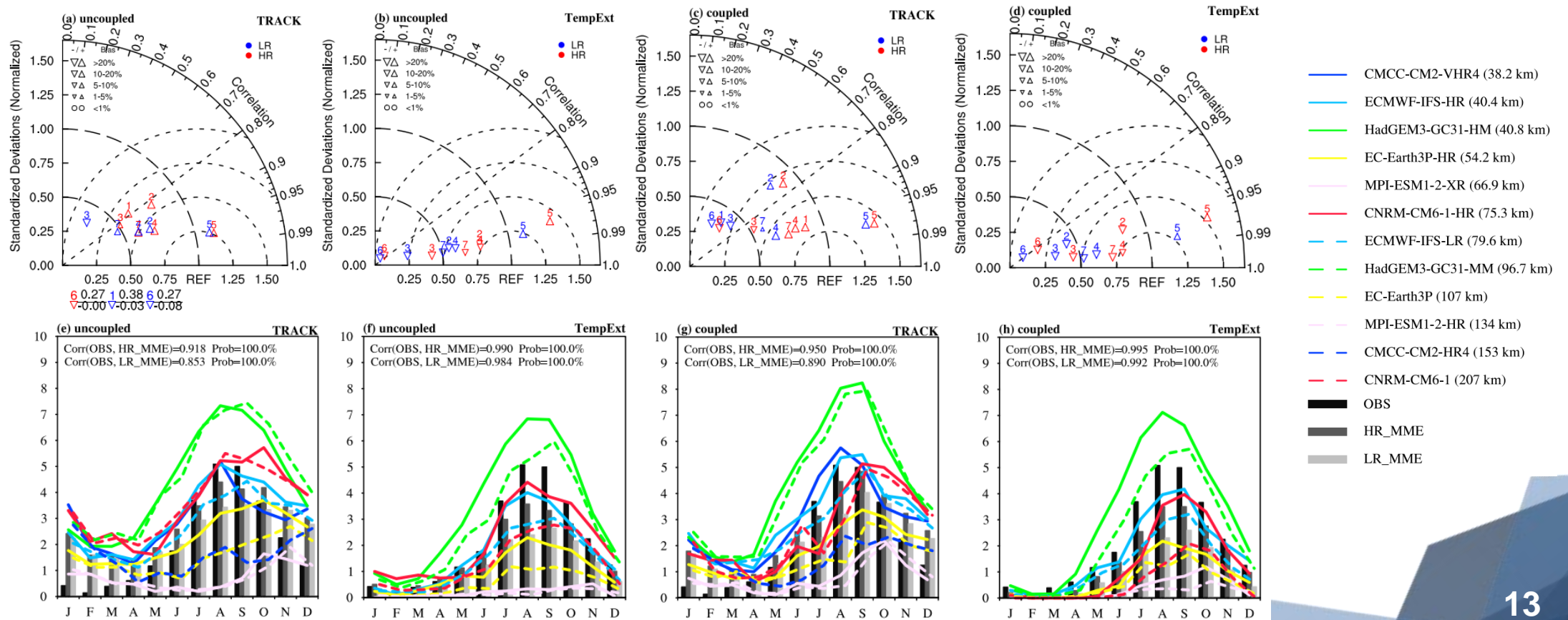


VHR GROUP
 HighResMIP MME
 (black contours)
 JTWC
 (gray contours)



2. 识别算法对CMIP6高分辨率模式模拟台风的影响

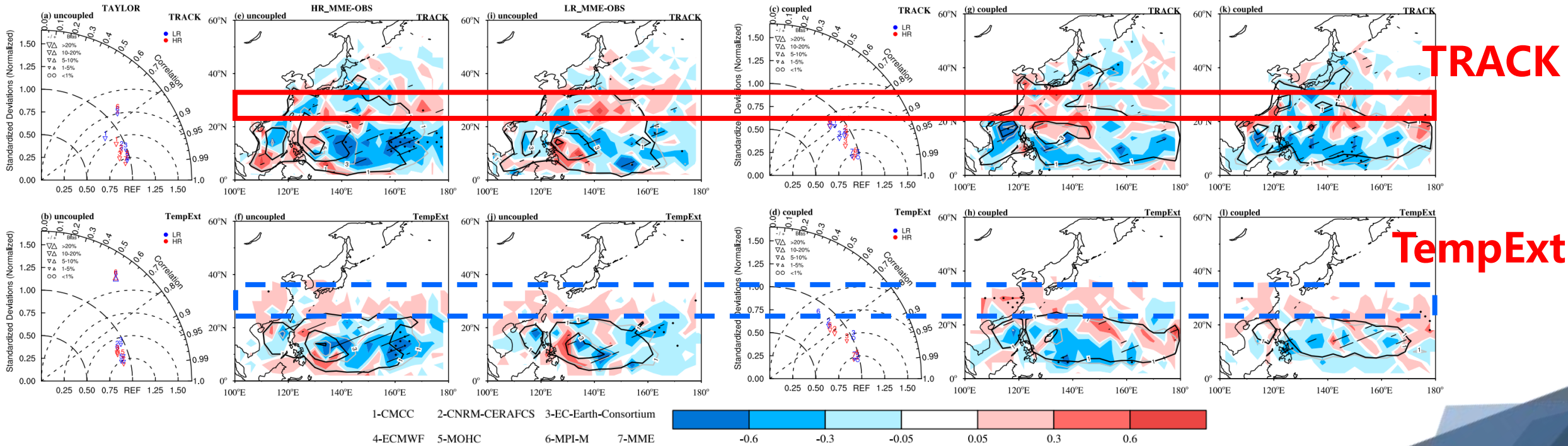
- ✓ 季节循环的泰勒评分：高分辨率模式、海气耦合模式、TempExt算法 ↑
- ✓ 海气耦合试验能够模拟出热带气旋和海洋之间的相互作用 ↑
- ✓ TempExt识别算法将更少的热带外气旋（冬季较为活跃）误判为热带气旋 ↑





3. 识别算法对CMIP6高分辨率模式**预估**台风的影响

- ✓ **台风生成预估：CMIP6模式预估未来热带气旋生成减少**
- ✓ **TRACK预估的减少值比TempExt算法更大**
- ✓ **TempExt组中台风生成北移更显著**



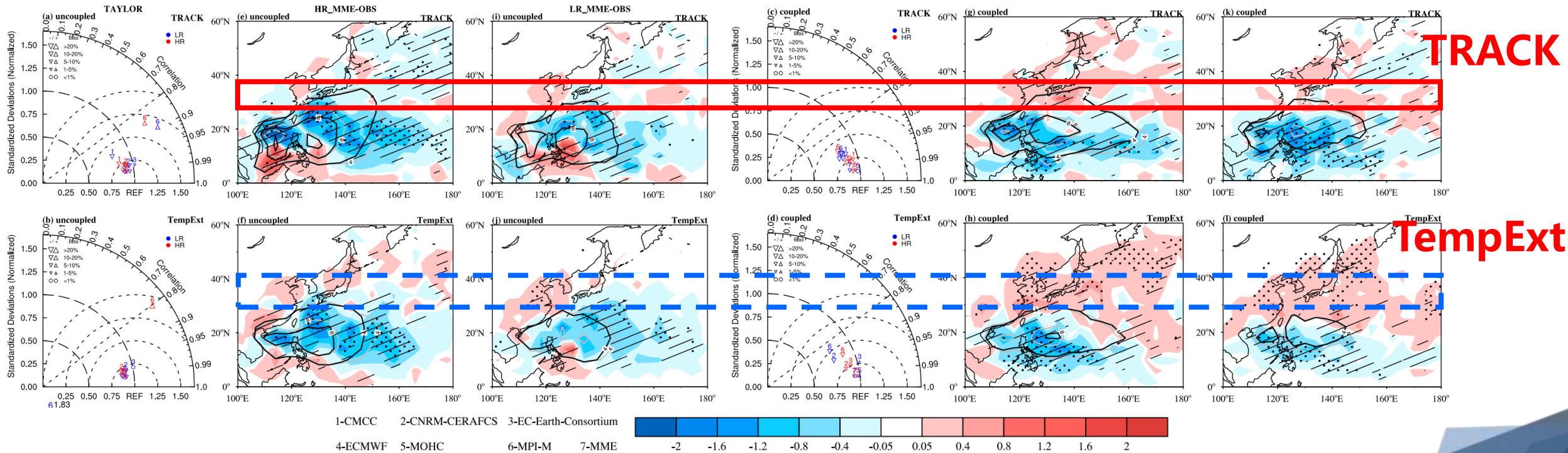
非耦合

耦合



3. 识别算法对CMIP6高分辨率模式**预估**台风的影响

- ✓ **台风路径预估：CMIP6模式预估未来热带气旋显著北移**
- ✓ **耦合模式下TempExt组中台风移动路径北移更显著**



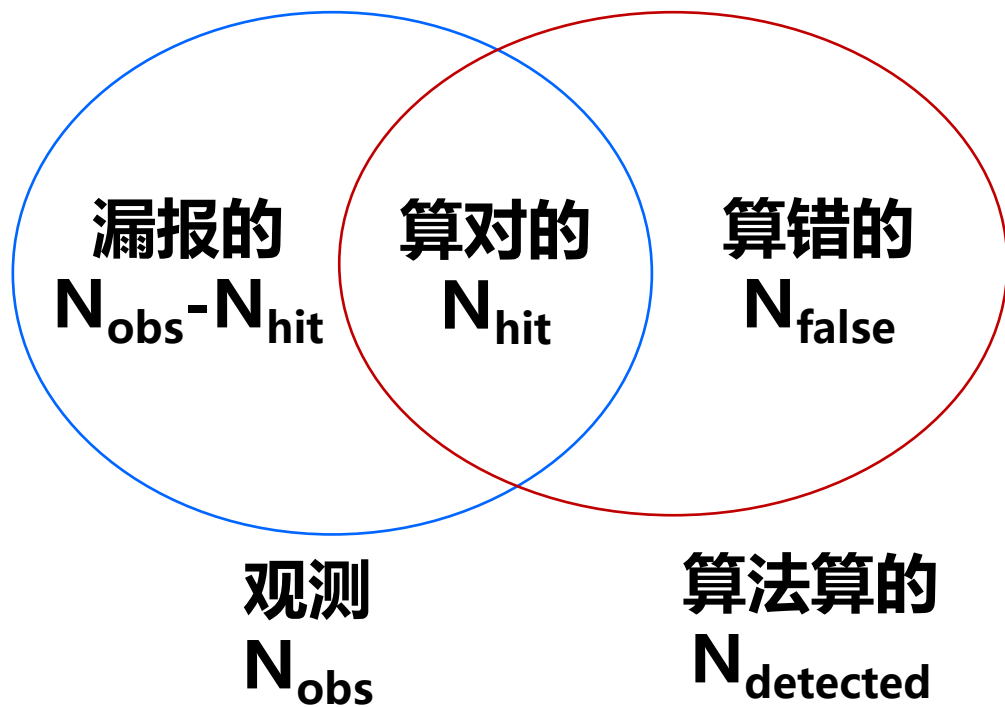
非耦合

耦合



4. 工作展望 算法改进

✓ **识别算法的困境：如何既要改进检出率，同时减小误报率？**



1-POD: 漏报率 $POD = \frac{N_{hit}}{N_{observed}}$, **检出率**

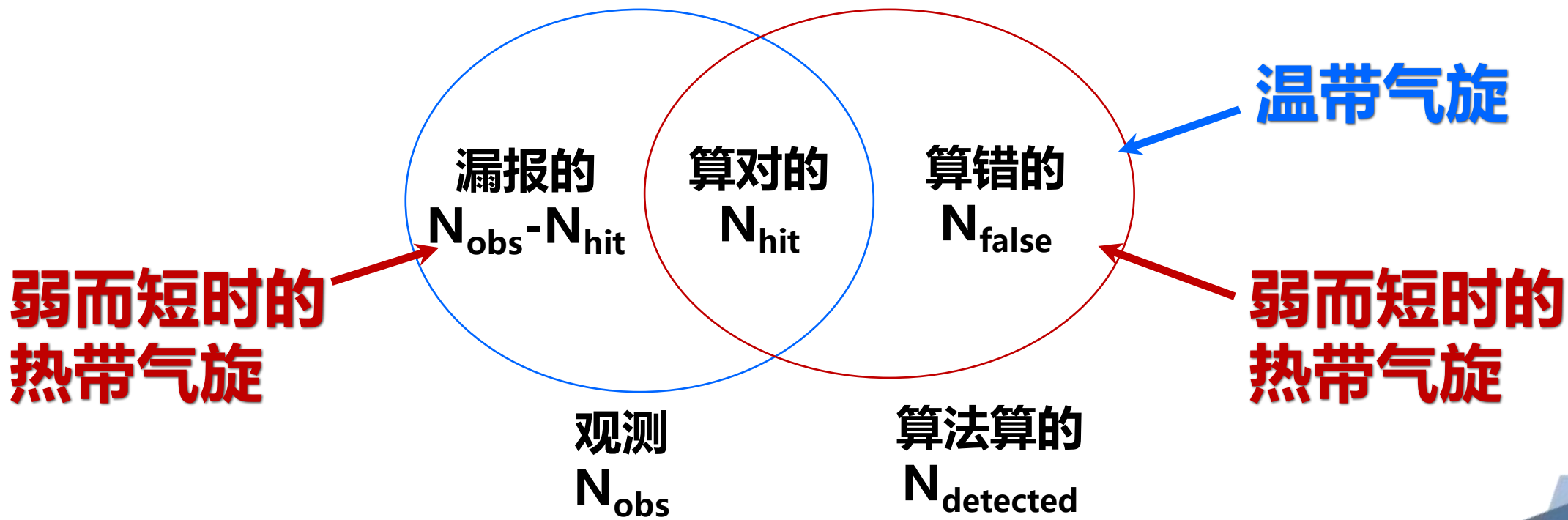
误报率 $FAR = \frac{N_{false}}{N_{detected}}$,

$$CSI = \frac{1}{\frac{1}{POD} + \frac{1}{1 - FAR} - 1},$$



4. 工作展望 算法改进

- ✓ 主要矛盾：漏报弱而短时的热带气旋，并将强温带气旋和弱而短时的热带扰动误报为热带气旋。





4. 工作展望 算法改进

- ✓ 基于ERA5大气再分析资料，我们随机选取了2002年的数据并利用TempExt算法对热带气旋进行识别
- ✓ TempExt算法共正确识别了56个热带气旋，漏报了23个热带气旋，并且我们发现漏报的气旋中主要为弱而短时的热带气旋（20个）。

ibtracs总共被正确识别了56个TC，各等级的数量如下：

```
4.0    12
1.0    11
2.0     9
0.0     9
5.0     8
3.0     7
```

Name: sshs_pres, dtype: int64

ibtracs总共被漏报了23个TC，各等级的数量如下：

```
0.0    19
1.0     2
2.0     1
-1.0    1
```

Name: sshs_pres, dtype: int64

TempestExtremes总共正确识别了56个TC，各等级的数量如下：

```
0    21
1    17
2    10
3     8
```

Name: sshs_pres, dtype: int64

TempestExtremes总共误报了13个TC，各等级的数量如下

```
0    9
1    2
2    2
```

Name: sshs_pres, dtype: int64



4. 工作展望 算法改进

✓ TempExt算法共正确识别了56个热带气旋，占比79%。

sid	sshs_pres	track_ET
1633	0	False
1640	1	False
1641	0	False
1642	0	False
1643	0	False
1644	3	False
1645	1	False
1646	2	False
1648	1	False
1650	0	False
1651	1	False
1652	3	False
1654	1	False
1655	1	False
1656	0	False
1658	1	False
1659	0	False
1661	0	False
1664	0	False
1666	0	False
1667	0	False
1668	2	False
1669	2	False
1670	2	False
1671	2	False
1673	0	False
1674	2	False
1676	1	False
1677	1	False
1678	0	False
1679	1	False
1680	1	False
1681	3	False
1682	1	False
1684	3	False
1685	0	False
1686	2	False
1687	3	False
1688	1	False
1689	3	False
1690	0	False
1691	0	False
1692	1	False
1693	2	False
1694	1	False
1695	0	False
1696	2	False
1697	1	False
1699	3	False
1700	0	False
1701	1	False
1702	0	False
1704	2	False
1705	0	False
1706	3	False
1709	0	False



4. 工作展望 算法改进

- TempExt算法共误报了13个气旋，明显低于漏报率。后续可以适当放宽识别标准降低漏报率，并通过增加识别指标剔除不合理的热带气旋，减小因放宽识别标准增加的误报率。
- 以副热带急流区域（200hPa纬向风速超过 15ms^{-1} ，总风速超过 25ms^{-1} ）的最高纬度作为热带边缘，将至少有2个路径点出现在热带的气旋判定为热带气旋，否则判定为温带气旋。经过后处理，13个误报的气旋中有5个被判定为温带气旋，8个被判定为热带气旋，误报率降为12.5%，比原先的18.8%降低了6.3%。

sid	sshs_pres	track_ET
1589	1	True
1628	0	False
1629	0	False
1637	0	False
1647	2	True
1649	0	False
1653	0	False
1657	0	True
1660	1	True
1662	2	True
1663	0	False
1665	0	False
1675	0	False



谢谢!

1. 识别算法是当前模式预估热带气旋活动不确定性的重要来源
2. 识别算法有两个核心问题：
 - 温带气旋的误报
 - 弱而短的热带气旋的误报、漏报
3. 识别算法正在迅速改进中

2. 研究现状

- ✓ 由于热带气旋是具有暖中心结构的强气旋性涡旋，识别算法通常根据代表热带气旋属性的**气旋强度**和/或**暖心指标**是否达到设定的阈值，来筛选一组初始的候选点，然后将时空足够相近的候选点按时间连接起来形成热带气旋的路径

指标类型	具体指标	相关文献
气旋强度	相对涡度	Hodges, 1999; Strachan et al., 2013; Harris et al., 2016
	海平面气压	Harris et al., 2016; Ullrich and Zarzycki, 2017
	低层风速	Walsh, 1997; Caron et al., 2011; Harris et al., 2016
暖心	温度异常	Vitart et al., 1997; Murakami et al., 2012
	位势厚度	Tsutsui and Kasahara, 1996; Vitart et al., 1997
	涡度或风速随高度的减小	Bengtsson et al., 2007; Caron et al., 2011; Strachan et al., 2013

2. 研究现状

- ✓ **观测阈值**—基于观测值的识别算法虽然可以清楚地体现模式再现热带气旋的能力，但是没有考虑到模式的偏差和缺陷，导致了模式对热带气旋的气候态和年际变化的特征模拟较差
- ✓ **调整阈值**—基于观测指标阈值调整的方法提升了单个模式的模拟能力，但使得研究者难以区分不同模式结果之间的差异是由模式导致的，还是由热带气旋识别算法阈值的差异导致的。

相关文献	具体方法
Wu and Lau, 1992; Vitart et al., 1997	起初，代表热带气旋属性指标的阈值来自热带气旋的观测值，例如低层风速高于17 m/s
Camargo and Zebiak, 2002	基于热带气旋在不同的模式中都处于气旋强度和暖心指标的联合概率分布的尾端位置的假设，建立了依赖于模式和流域的阈值
Walsh et al., 2007	基于观测值建立的热带气旋径向风廓线，在不同分辨率下对风速求空间平均得到了依赖于分辨率的风速阈值
Murakami, 2014	动态调整分辨率的阈值使模式识别到的热带气旋数目与观测相当



2. 研究现状



- ✓ **模式算法**—开发适用于所有模式的识别算法
- ✓ 这些算法使得研究者在不同分辨率的模式之间对热带气旋的模拟和预测进行有效的相互比较，因此得到了广泛的应用

相关文献	算法名称	具体方法
Tory et al., 2013	OWZP算法	使用代表低形变涡度环境的参数来识别热带气旋，使得算法不依赖于分辨率
Hodges et al., 2017	TRACK算法	在检测步骤之前将模式的输出结果插值到设定分辨率的网格上，规避了阈值的调整
Ullrich and Zarzycki, 2017	TempExt算法	使用基于实际距离的闭合等值线指标来搜索局地极值，来避免算法对分辨率的敏感性。



2. 研究现状



TRACK算法:

1. 对模式每六小时的输出结果进行频谱过滤将其插值到T63网格上，仅保留波数在6-63之间的信号。
2. 通过850-600hPa垂直平均涡度的极值（绝对值高于 $5 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ）确定热带气旋的初始候选点。
3. 通过最小化路径平滑度的函数，将临近的候选点连接成一条最少持续两天的路径。
4. 通过一系列包括暖心在内的标准（850hPa涡度超过 $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ，850 hPa和250 hPa的涡度差超过 $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ，每层中均存在涡度的局地极大值）是否**在海上持续至少一天**来最终筛选出热带气旋。



2. 研究现状



TempExt算法:

1. 基于模式原始网格上每6小时的海平面气压的极小值来确定热带气旋的初始候选点;
2. 同时要求在热带气旋中心 5.5° 范围内存在比中心位置至少大2hPa的封闭SLP等值线;
3. 在初始候选点 1° 范围内存在250 hPa和500 hPa的位势高度差的极大值, 并且该位势高度差在 6.5° 范围内至少减少6 m。
4. 将 8° 范围内的初始候选点连接成一条最少持续54小时的路径。
5. 通过一系列标准 (至少54小时其下垫面位势高度不超过1500 m, 至少18小时其下垫面位势高度不超过10 m, 生成纬度在 10° 到 40° 之间, 路径最少行进 8°) 最终筛选出热带气旋。