

BCC_CSM1.2 次季节-季节(S2S)预报 历史回报的综合检验评估报告

国家气候中心 气候研究开放实验室

完成人：赵崇博、任宏利、吴捷、周放、聂羽

2016 年 12 月 12 日

摘 要

本评估报告依据 WMO 推荐中国气象局业务标准，参照预报司下发的《气候预测模式的检验评估方案》，针对 BCC_CSM1.2 次季节-季节 (S2S) 预报模式，从确定性预报和概率性预报两个主要方面，利用距平相关系数 (ACC)、时间相关系数 (TCC)、平均误差方差 (MSSS) 等确定性预报评估方法和相对操作特征 (ROC)、可靠性图表 (RD)、Brier 技巧评分 (BSS) 等概率预报评估方法，对主要气象要素温度和降水以及大气环流的模式历史回报结果，进行了综合检验评估。还进一步对全球和我国气候具有高影响力的次季节尺度气候现象，即热带大气季节内振荡 (MJO)、北半球夏季季节内振荡 (BSISO)、北极涛动 (AO) 以及冬季中高纬大气季节内变率主模态 (北大西洋 ATL_ISV 和北太平洋 PAC_ISV) 的预报技巧进行了综合检验评估，从而全面地考察了该模式的 S2S 预报性能并探讨了 S2S 可预报性来源，从而为预报业务会商和气候模式改进提供参考。主要结论如下：

1) BCC_CSM1.2 模式 1994-2013 年的气候态在某些地区存在系统性的漂移，如在欧亚大陆中高纬度东部地区冬 (夏) 季气温偏低 (高)，我国大部分地区气温偏高，热带西太平洋暖池和南太平洋辐合带地区 (热带东印度洋和海洋大陆地区) 降水偏多 (少)。

2) 对要素确定性预报技巧评估表现出很多通性，如对 500hPa 高度场预报技巧最高，2m 气温场的预报技巧次之，但高于降水预报技巧；模式对热带地区的预报性能好于热带外；确定性预报技巧评估 (ACC、TCC、MSSS) 表明，模式的预报技巧对初值非常敏感，随着 lead time 的延长模式预报性能迅速下降。

3) 概率预报技巧评估 (ROC、RD、BSS) 表明，模式同样对负异常事件 (BN) 的预报可靠性高于正异常事件 (AN)，且二者均优于接近常值事件 (NN) 的预报效果。模式高预报可靠性的空间分布与确定性预报相近，热带地区的预报性能好于热带外。较高的概率预报技巧表明模式具有相对较多的样本能够准确判断出各个变量场的高/低值事件出现与否。

4) 具体到东亚地区而言，模式对东亚和西北太平洋地区的 500hPa 位势高度场预报优于其他北半球热带外地区，但对降水和温度的预报技巧要低于其他地区，同时预报性能的年际变化很大，对我国东部的降水和气温预报技巧较高，对我国西部预报技巧明显偏低。

5) 对 MJO、BSISO 和 AO 指数的预报技巧检验表明，模式对 MJO 的整体预报技巧约为 16 天，在秋季可超过 21 天，冬季次之为 17 天，春季和夏季的技巧较低；模式对 BSISO1 指数的预报技巧整体高于 BSISO2 指数，两个指数的预报技巧分别为 10 天和 7 天；以相关系数 0.5 为阈值，模式对 AO 的预报技巧可以达到 11 天。

6) 实现对冬季 ATL_ISV 和 PAC_ISV 预报技巧的综合检验评估，结果表明，该模式对前两个 PAC_ISV 模态的预报技巧 (提前 3 候 ACC 仍可超过 0.3) 明显高于前两个 ATL_ISV (第三候预报 ACC 降到了约 0.2 和 0.1)，显示出该模式对中高纬 ISV 具有一定预报能力。

本次报告从气候态、确定性预报和概率预报三个方面对不同季节的温度、降水和环流要素次季节预报结果进行了检验，也评估了基于 BCC_CSM1.2 次季节-季节预测模式信息的 MJO、BSISO 和 AO 以及中高纬冬季 ISV 等气候现象的预报技巧，为预报员提供参考依据。

目 录

1 引言	5
2 资料和方法.....	5
2.1 资料和预处理.....	5
2.2 确定性预报评估方法.....	6
2.2.1 距平相关系数 (Anomaly Correlation Coefficient, ACC)	6
2.2.2 时间相关系数 (Temporal Correlation Coefficient, TCC)	6
2.2.3 平均方差技巧评分 (Mean Square Skill Score, MSSS)	7
2.3 概率预报评估方法.....	8
2.3.1 相对操作特征 (Relative Operating Characteristics, ROC)	8
2.3.2 可靠性图表 (Reliability Diagrams, RD)	8
2.3.3 Brier 技巧评分 (Brier Skill Score, BSS)	9
2.4 评估区域.....	10
3 全球基本要素和环流要素评估结果.....	10
3.1 2m 温度 (T2m)	10
3.1.1 气候态.....	10
3.1.2 距平相关系数 (ACC)	12
3.1.2 时间相关系数 (TCC)	13
3.1.3 平均方差技巧评分 (MSSS)	15
3.1.4 相对操作特征 (ROC)	16
3.1.5 可靠性图表 (RD)	18
3.1.6 Brier 技巧评分 (BSS)	19
3.1.7 2m 温度预报小结.....	19
3.2 降水 (Prec)	20
3.2.1 气候态.....	20
3.2.1 距平相关系数 (ACC)	21
3.2.2 时间相关系数 (TCC)	22
3.2.3 平均方差技巧评分 (MSSS)	24
3.2.4 相对操作特征 (ROC)	25

3.2.5 可靠性图表 (RD)	27
3.2.6 Brier 技巧评分 (BSS)	27
3.2.7 降水预报小结	28
3.3 500hPa 位势高度 (Z500)	29
3.3.1 气候态	29
3.3.2 距平相关系数 (ACC)	30
3.3.3 时间相关系数 (TCC)	31
3.3.4 平均方差技巧评分 (MSSS)	33
3.3.5 相对操作特征 (ROC)	34
3.3.6 可靠性图表 (RD)	36
3.3.7 Brier 技巧评分 (BSS)	36
3.3.8 500hPa 位势高度预报小结	37
4 全球气候现象评估	38
4.1 热带大气季节内振荡 (MJO)	38
4.2 北半球夏季季节内振荡 (BSISO)	39
4.3 北极涛动 (AO)	41
4.4 北半球中高纬大气季节内变率主模态 (ISV)	41
5 总结	43
参考文献	45

BCC_CSM1.2 次季节-季节模式预测性能综合检验评估

1 引言

BCC_CSM1.2 次季节-季节预报模式作为国家气候中心新一代次季节气候预测模式，已完成 1994 年起全部历史回算工作，并于 2015 年投入试运行，实时为国际 S2S 比较计划提供预报数据。作为 2016 年国家气候中心重点工作，对 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式历史回报进行综合检验评估，形成评估报告，以此作为该模式 S2S 预报性能评价的重要依据。为全面检验模式预报性能，开放室在近几年对 BCC 模式评估研究（见参考文献）基础上，参照 WMO 国际推荐标准和中国气象局业务标准，将对该模式的常规要素（气温、环流、降水）和次季节重要气候现象（MJO、BSISO、AO 等）以及北半球中高纬大气季节内变率主模态（ISV）的预报技巧进行检验评估，为模式进一步改进和发展提供思路。报告的第 2 部分介绍了评估所用的观测资料和检验方法，第 3 部分介绍全球基本要素的评估结果，第 4 部分介绍该模式对重要气候现象的预测技巧，第 5 部分进行总结。

2 资料和方法

2.1 资料和预处理

BCC_CSM1.2 次季节-季节模式的的回报和预报资料从 1994 年保留至今，考虑模式和观测资料的完整性，选取 1994-2013 共 20 年的资料进行评估。模式共有 4 个集合成员，输出未来 60 天的等压面环流要素和地表常规要素，分辨率为 T106L26。考虑到模式的系统误差，取 1994-2013 共 20 年的平均作为模式自身的气候态，它既是时间的函数，也是预报 lead time 的函数。本文侧重于对不同 lead time 的预报性能进行评估，将 lead 1-5 天的 5 天平均作为 lead 0 pentad，考虑预报时效主要对 lead 0 pentad 为结果进行评估。在进行概率预报技巧评估时，对超前 1-6 天每日四次近似为 24 个成员进行集合平均。按照 WMO 标准，模式数据均插值到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的网格上。

对全球，检验主要对 2m 气温（T2m）、降水（Prec）和 500hPa 位势高度（Z500）3 个要素进行评估。其中，2m 气温和位势高度的观测资料均采用 NCEP/DOE II 再分析资料（<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.pressure.html>）；降水观测数据使用 CMAP 降水资料（<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cmap.html>），分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

2.2 确定性预报评估方法

下面介绍本文所用检验评估方法，为了表述严谨，首先对所用符号及其含义进行统一，令 $x_{i,j}$ 代表观测值， $f_{i,j}$ 代表预测值，其中 $i = 1, 2, 3, \dots, M$ 代表评价区域的格点数， $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 代表时间序列，在进行区域平均时，需要乘以系数 w_i ，使用站点资料时， $w_i = 1$ ，使用格点资料时， $w_i = \cos(\varphi_i)$ ，其中 φ_i 为格点所在纬度。

2.2.1 距平相关系数 (Anomaly Correlation Coefficient, ACC)

距平相关系数，即 ACC，主要反映的是预报值与实况值空间型的相似程度，也可称为空间相似系数，每次预报均可对预报场计算空间相似系数，是 WMO 于 1996 年确定并建议使用的指标 (WMO, 1996)，需要首先计算各个格点的时间平均和异常：

$$\overline{x_i} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{i,j}, \quad \overline{f_i} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_{i,j}$$

$$\Delta x_{i,j} = x_{i,j} - \overline{x_i}, \quad \Delta f_{i,j} = f_{i,j} - \overline{f_i}$$

计算 ACC 的公式如下

$$ACC_j = \frac{\sum_{i=1}^M (\Delta x_{i,j} - \overline{\Delta x_j}) \times (\Delta f_{i,j} - \overline{\Delta f_j})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (\Delta x_{i,j} - \overline{\Delta x_j})^2 \times \sum_{i=1}^M (\Delta f_{i,j} - \overline{\Delta f_j})^2}}$$

式中，N 为评分总格点数或站点数，其中 $\overline{\Delta x_j}$ 和 $\overline{\Delta f_j}$ 分别为观测和预测所有格点时间距平的空间平均值。

2.2.2 时间相关系数 (Temporal Correlation Coefficient, TCC)

时间相关系数能够在统计意义上较好地表征模式对各个格点异常的预报能力，得到一个完整的相关技巧空间分布。计算 TCC 时需要求出每个格点的均方差和协方差，公式如下

$$Sx_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \overline{x_i})^2, \quad Sf_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_{i,j} - \overline{f_i})^2$$

$$Sxf_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \overline{x_i})(f_{i,j} - \overline{f_i})$$

$$TCC_i = \frac{S_x f_i}{S_{x_i} \times S_{f_i}} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \bar{x}_i)(f_{i,j} - \bar{f}_i)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2} \times \sqrt{\sum_{j=1}^N (f_{i,j} - \bar{f}_i)^2}}$$

进行区域平均时，同样需要考虑不同纬度的影响

$$TCC = \frac{\sum_{i=1}^M w_i TCC_i}{\sum_{i=1}^M w_i}$$

TCC 范围在-1 到 1 之间，越接近于 1 表明技巧越高，通常取 0.5 的相关技巧作为有预报意义的标准。

2.2.3 平均方差技巧评分（Mean Square Skill Score, MSSS）

2006 年，WMO 提出了标准评估系统，推荐模式的气候预测采用 MSSS 法进行评估（WMO, 2006）。MSSS 评分法主要是用于不分类的确定性预报检验和评估（WMO, 2009）。首先计算预测均方误差为：

$$MSE_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (f_{i,j} - x_{i,j})^2$$

“气候学”预测的均方误差差为：

$$MSE_{c_i} = (N / (N - 1))^2 S_{x_i}^2$$

得到 i 点处均方差技巧评分为：

$$MSSS_i = 1 - MSE_i / MSE_{c_i}$$

同样的，进行区域平均时，需要考虑不同纬度的影响

$$MSSS = \frac{\sum_{i=1}^M w_i MSSS_i}{\sum_{i=1}^M w_i}$$

由计算公式可知，在理想预报情况下，MSSS=1，MSSS 评分越高，预报技巧越高，通常取 MSSS=0 作为有预报意义的标准

2.3 概率预报评估方法

2.3.1 相对操作特征（Relative Operating Characteristics, ROC）

BCC_CSM1.2 次季节-季节预报模式的每次预报均有 24 个预报成员，因此虽然模式没有直接输出概率预报结果，但仍可通过各个集合成员构造 ROC 列联表（Contingency table）对概率预报技巧进行评估（表 1）。

表 1 集合成员构成的列联表

Bin number	Member	Observed	Observed
	distribution	occurrences	non-occurrences
1	F=0, NF=N	O ₁	NO ₁
2	F=1, NF=N-1	O ₂	NO ₂
3	F=2, NF=N-2	O ₃	NO ₃
...
n	F=n-1, NF=N-n+1	O _n	NO _n
...
N+1	F=N, NF=0	O _{N+1}	NO _{N+1}

在表 1 中，N 为集合成员数，F 为预报事件发生的成员数，NF 为预报事件不发生的成员数。对区域进行累加时，

$$O_n = \sum W_i(O)_i, \quad NO_n = \sum W_i(NO)_i$$

由此可进一步得到命中率（Hit Rate, HR）和空报率（False Alarm Rate, FAR）：

$$HR_n = \sum_{i=n}^N O_i / \sum_{i=1}^N O_i$$

$$FAR_n = \sum_{i=n}^N NO_i / \sum_{i=1}^N NO_i$$

以误报率作为横坐标、命中率作为纵坐标即可得到 ROC 曲线，由上述两式可知 ROC 曲线通过（0,0）和（1,1）两点，ROC 曲线下的面积（ROCA）常用作代表预报技巧的统计指数，其值介于 0-1 之间，对角线（ROCA=0.5）代表无预测技巧。ROC 曲线越向上凸起，即 ROC 面积越大代表预报技巧越高，将各个变量按照气候百分位分为高值、常值和低值三类事件进行检验。

2.3.2 可靠性图表（Reliability Diagrams, RD）

作为 ROC 的重要补充，WMO 同样推荐构造可靠性图表来评估概率预报技巧。众所周

知，ROC 曲线更适用于大样本长序列的预报评估，但 RD 可以很好弥补 ROC 曲线在预报可靠性评价上的缺陷。

可靠性图表的横坐标为预报概率，纵坐标为命中率 HR，但与 ROC 曲线不同，此处 HR 的定义为：

$$HR_n = O_n / (O_n + NO_n)$$

因此，RD 曲线越接近对角线，预报效果越好，模式可靠性也越高。若曲线在对角线之下代表过高估计，即预报概率太高；而曲线在对角线之上则代表过低估计，即预报概率太低。

2.3.3 Brier 技巧评分（Brier Skill Score, BSS）

Brier 技巧评分（BSS）的定义基于 Brier 评分（BS）之上，而 BS 也是一种定量估计概率预报准确率的方法，它的定义为：

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2$$

其中 n 为预报次数， f_i 为第 i 次预报的事件发生的概率， o_i 为第 i 次观测到的概率，若事件发生则 o_i 为 1，否则 o_i 为 0。BS 的范围在 0-1 之间，值越小表明模式技巧越高。但 BS 的缺陷在于它对事件的气候概率非常敏感。进一步 BS 评分可以分解为不确定性(uncertainty)、可靠性(reliability)和分辨能力(resolution)三项，即：

$$\begin{aligned} BS &= \bar{o}(1 - \bar{o}) + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m n_k (f_k - \bar{o}_k)^2 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m n_k (\bar{o}_k - \bar{o})^2 \\ &= BS_{unc} + BS_{rel} - BS_{res} \end{aligned}$$

其中 \bar{o} 代表事件发生的气候概率， $m = N + 1$ 代表概率的范围， f_k 代表预报概率， \bar{o}_k 代表预报概率为 f_k 时事件实际发生的概率，与可靠性图表中的 HR_n 一致。气候预报的 BS 为 $BS_{cli} = BS_{unc}$ ，因此 Brier 技巧评分的定义为

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{cli}} = \frac{BS_{res} - BS_{rel}}{BS_{unc}}$$

因此 BSS 的取值范围为负无穷到 1，BSS 越高代表概率预报技巧越高，气候预报的 BSS 为 0 分。因此 BSS 可以定量估计模式概率预报相对于气候预报的技巧的提高，同时能通过各个项的分解定量给出模式可靠性和分辨能力的贡献，但它的局限性在于不适用于少量数据样本和罕见事件的评估。

2.4 评估区域

综合 WMO 推荐和我国预报员重点关注的地区，对以下 6 个区域的平均值也进行了计算，区域范围如表 2 所示

表 2 评估所用区域范围和简称

区域	范围	备注
全球 (Global)	0°-360°E, 90°S-90°N	
热带 (Tropics)	0°-360°E, 20°S-20°N	WMO 推荐
北半球热带外 (NET)	0°-360°E, 20°N-90°N	WMO 推荐
南半球热带外 (SET)	0°-360°E, 20°S-90°S	WMO 推荐
东亚 (EA)	90°-150°E, 20°N-50°N	
南亚 (SA)	60°-130°E, 10°S-30°N	

3 全球基本要素和环流要素评估结果

3.1 2m 温度 (T2m)

3.1.1 气候态

首先将模式预报的气候态与 NCEP 再分析资料进行对比，从而对模式预报性能进行简单评估。经过对比，模式分别超前 0 候、1 候、2 候和 3 候的气候态差别不大，这里仅给出超前 0 候时模式预报与 NCEP 再分析资料气候态的偏差，也能最好的反映模式的性能。如图 1 所示，模式的 T2m 全年气候态在欧亚大陆高纬度地区整体偏低 1℃ 以上，对欧亚大陆中低纬地区以及青藏高原均模拟的温度偏高，我国除东北地区温度偏低以外，大部温度偏高。

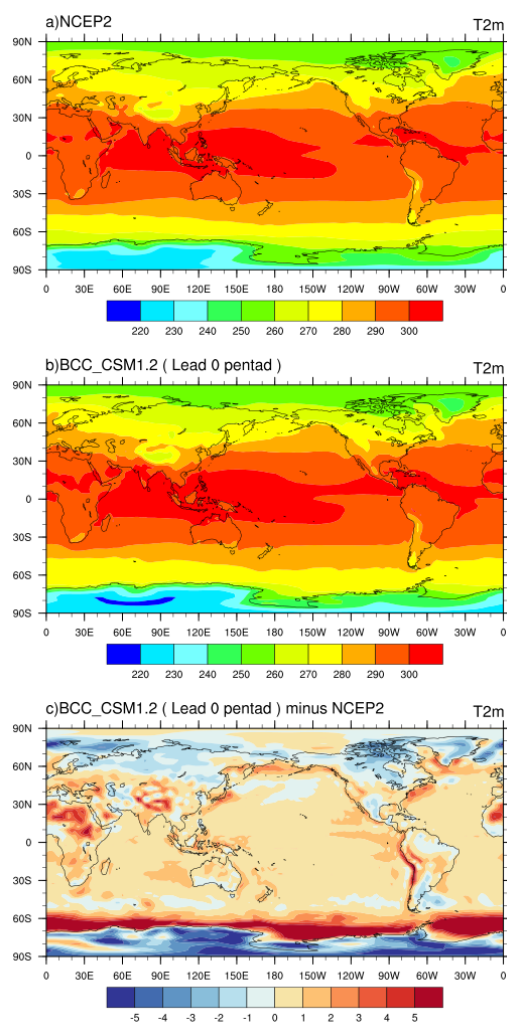


图 3.1 全球多年（20a）平均表面温度（单位：K），a）NCEP2，b）BCC_CSM1.2，c）BCC_CSM1.2 超前
0 候预报与 NCEP2 之差

进一步分季节对比模式的气候态偏差。图 2 给出的分别是冬季和夏季的季节平均 T2m 全球分布。在冬季，陆地温度除青藏高原地区偏高外，欧亚大陆整体偏冷。我国东部沿海、日本海、鄂霍兹克海以及西北太平洋大部分地区模式的表面温度显著偏高。在夏季则相反，模式预报的欧亚大陆温度偏高，西北太平洋地区则表现为冷偏差。

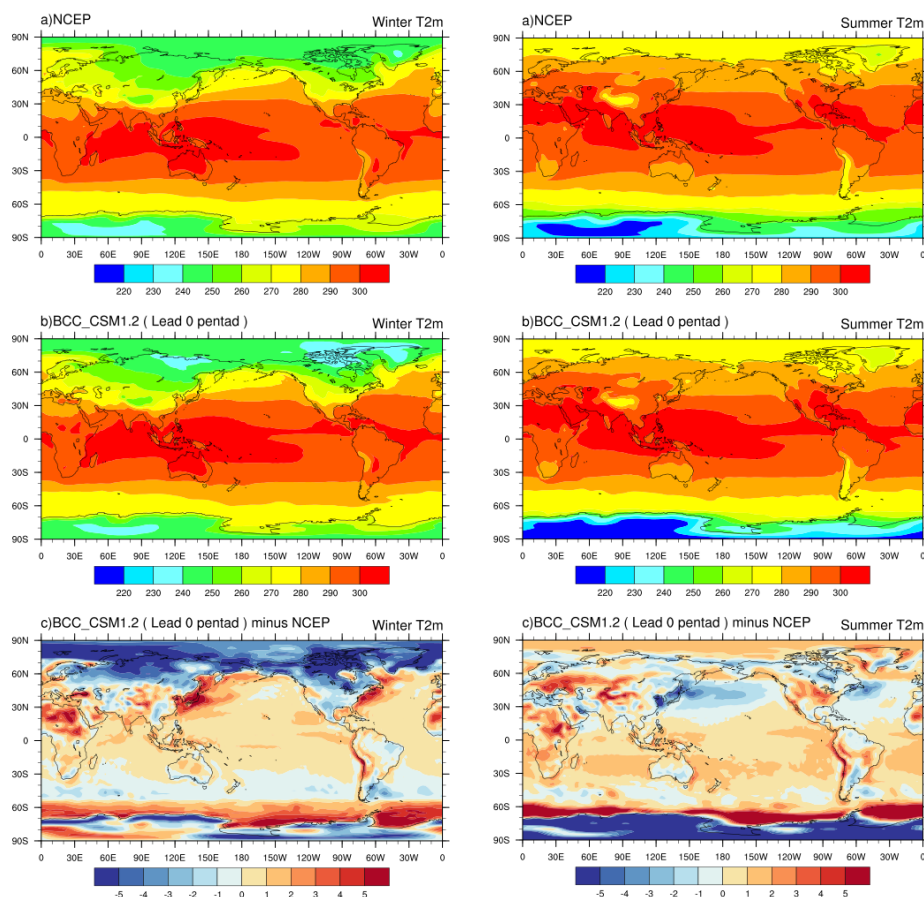


图 3.2 季节平均 (左: 冬季, 右: 夏季) 表面温度 (单位: K), a) NCEP2, b) BCC_CSM1.2, c) BCC_CSM1.2

超前 0 候预报与 NCEP2 之差

3.1.2 距平相关系数 (ACC)

距平相关系数 ACC 是短期气候预测中最常用的检验方法之一, 反映的是模式的总体预测性能。图 3.3 给出了 BCC_CSM1.2 模式提前 0 候起报的全球、北半球和东亚地区 2m 温度的逐年 ACC 技巧序列。由图可知, 冬季全球 ACC 均大于 0.7, 明显高于其他三个季节, 其他各个季节模式的 ACC 也都超过 0.6; 从 ACC 的年际变化上看, 模式 ACC 在 2002 年和 2005 年评分普遍较高。

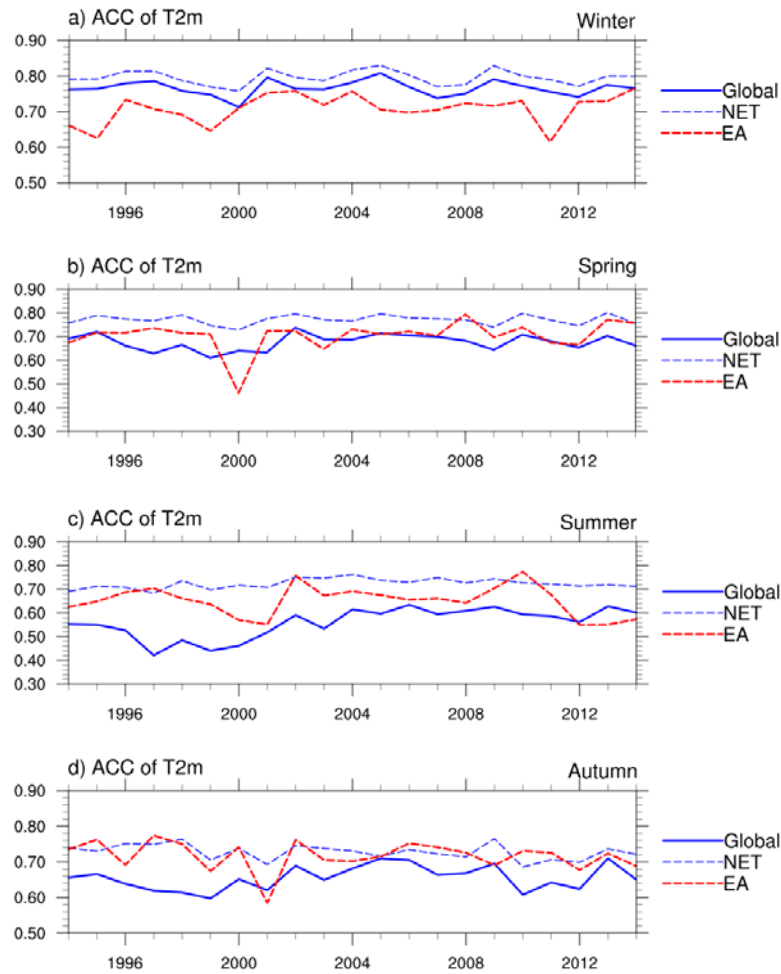


图 3.3 提前 0 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对全球、北半球和东亚地区 2m 温度预报 ACC 技巧的四个季节时间序列

3.1.2 时间相关系数 (TCC)

与 ACC 不同，时间相关系数 (TCC) 能够给出每个格点的预报技巧。考虑到预报时效的问题，这里主要 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式提前 0 候至 5 候对 2m 温度的预报技巧进行检验，各个格点的时间相关系数 (TCC) 技巧如图 3.4 所示，黄色填色为大于 0.5 的区域。不同区域平均的 TCC 及其随 lead time 的变化则由图 3.5 给出。如图 3.4 所示，在起报 1 候之后 2m 温度预报技巧较高的区域主要位于热带海洋地区，特别是热带太平洋地区。这一方面与海表温度自身持续性较好有关，另一方面得益于热带海洋存在 ENSO 等具有较高可预报性的气候模态。在热带外地区，具有较高预报技巧的地区则类似于马蹄形分布，从热带海洋大陆地区分别向东北太平洋和东南太平洋延伸，这主要受到 ENSO 遥相关(例如 PNA 等)的影响。

模式除了对 ENSO 区域具有较高的预报技巧，北半球热带外和东亚地区的预报技巧较高，如欧亚中高纬度，我国东部和北部地区等，模式在提前 0 和 1 候时也具有一定的预报技巧。这些地区也主要是受到 ENSO 次年夏季激发的菲律宾反气旋及 EAP 遥相关型的影响。对于不同季节而言，模式对东亚地区的预报技巧在夏季偏低，甚至低于北半球平均水平，这可能与东亚季风区的复杂性有关。此外，TCC 对初值的依赖性也非常明显，随着 lead time 的变长技巧显著下降，特别是从 lead 0 候到 lead 1 候下降非常明显。

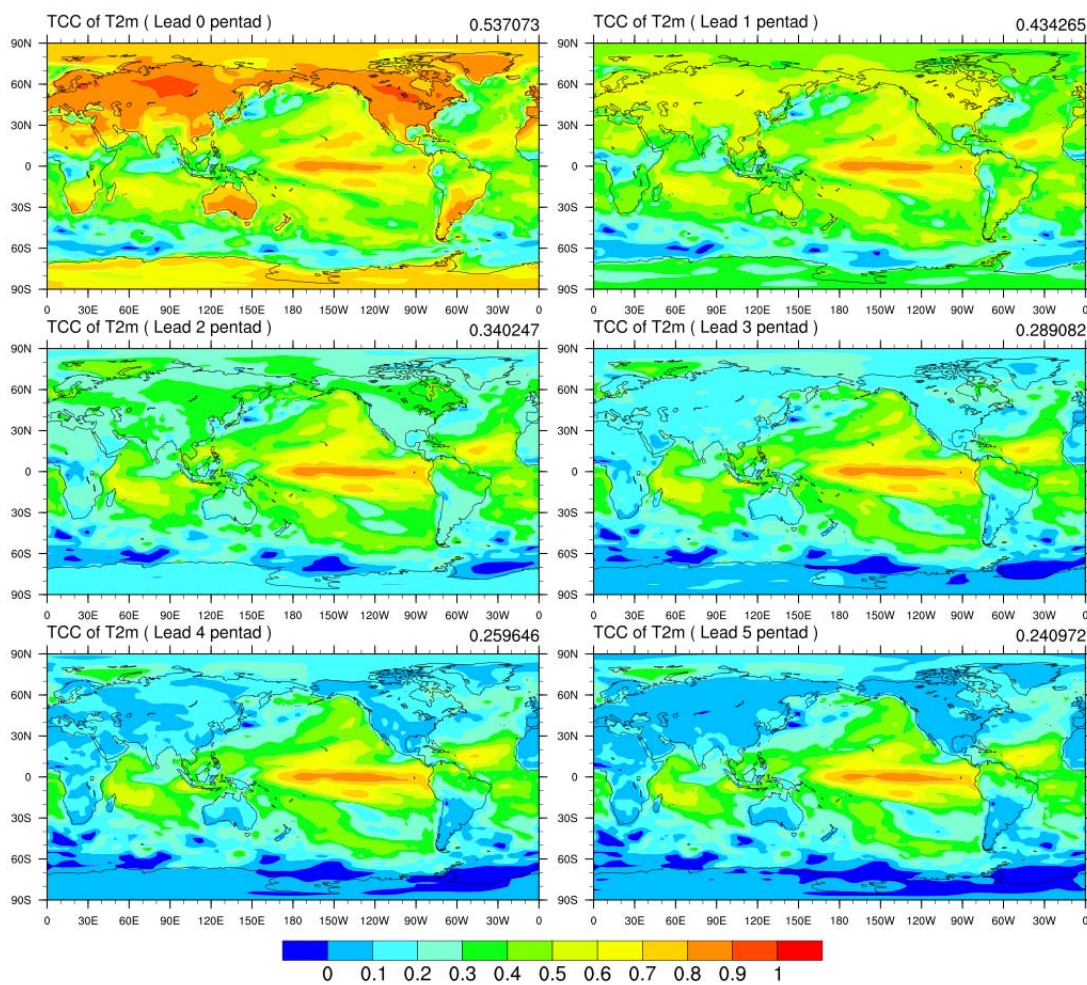


图 3.4 提前 0 候至 5 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对 2m 温度预报的时间相关系数（TCC）技巧

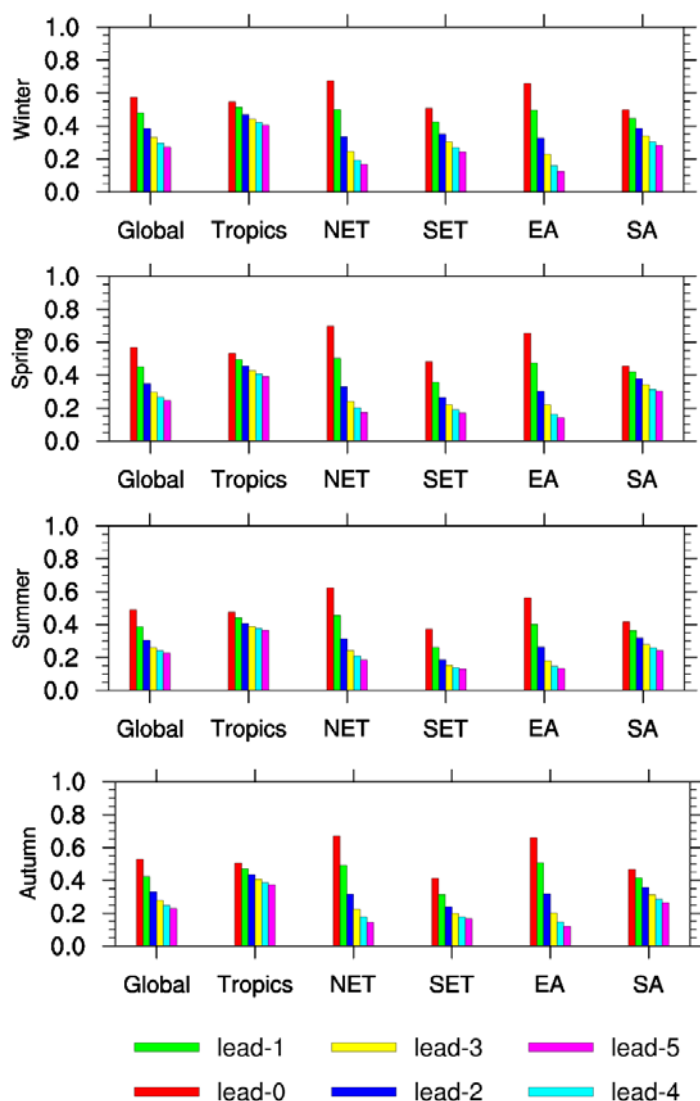


图 3.5 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式在不同 lead time 起报的四个季节 2m 温度的时间距平相关系数(TCC)

技巧在不同地区的平均

3.1.3 平均方差技巧评分 (MSSS)

MSSS 为 WMO 推荐的确定性预报的主要评估方法,主要考虑预报误差和“气候”预报误差的比值, MSSS 值越接近 1, 表明模式预测越准确, 大于 0 表明有预报意义。此处需要注意, 由于预报中最关注对异常的预报而不是气候态的偏差, 因此计算预报误差时未考虑气候态的漂移, 仅考虑对距平预报的偏差。

全球平均而言, 陆地上 MSSS 总体得分在超前 3 候预报时开始降低至 0 以下, 在空间上看, MSSS 与 TCC 的评估结果较为类似, 技巧较高的地区均位于热带海洋和 ENSO 遥相关影响区域。需要注意的是, 欧亚中高纬度, 我国大部分地区在超前 0 和 1 候时评分大于 0,

但在热带印度洋和海洋大陆地区的评分很低（图 3.6）。技巧较高的地区均位于热带海洋和 ENSO 遥相关影响区域。

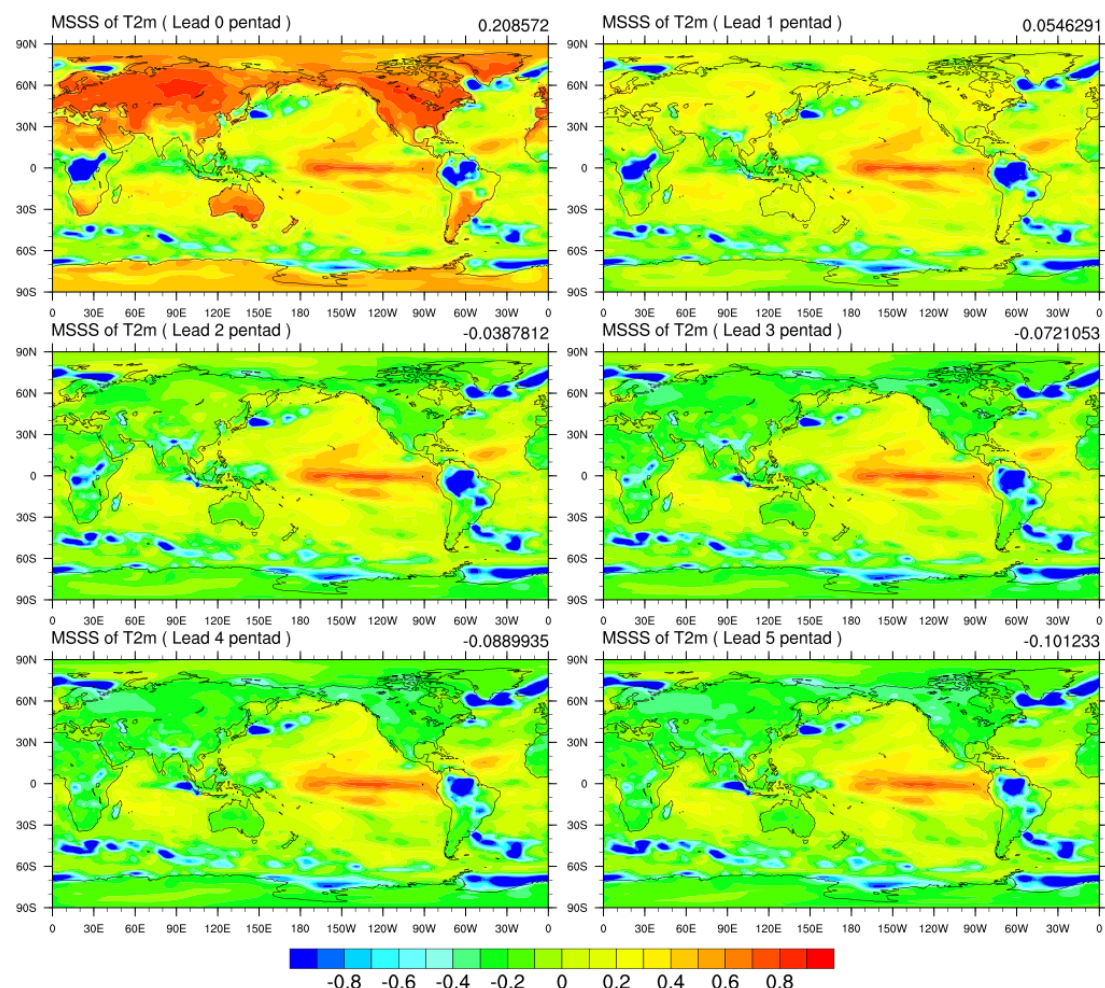


图 3.6 同图 3.4，但为均方技巧评分（MSSS）的空间分布图

3.1.4 相对操作特征（ROC）

下面采用 ROC（Relative Operating Characteristics）评估方法对按照气候概率百分位区分的正异常（AN）、负异常（BN）和接近正常（NN）三种事件的概率预报技巧进行评估。图 3.7 为模式提前 0 候 2m 温度正异常事件的 ROC 面积分布图，通常认为 ROC 面积大于 0.5 的区域模式具备预报技巧。总体而言，ROCA 与 TCC 分布类似，二者接近线性相关（Wang 等，2009），模式有技巧的区域集中在热带海洋和 ENSO 的遥相关影响区域，在亚欧大陆技巧较低。由三种事件 ROC 曲线可知（图 3.8），模式对异常高温事件的预报能力稍好于异常低温事件，但它们的技巧都远高于对常值事件的预报。模式对热带和赤道太平洋地区，在预

报的第 0 候时 ROC 面积指数均超过 0.6，赤道中太平洋超过 0.8。模式对我国大部分地区的高温异常预报技巧较高，在超前 0 候时，我国接近常值的 ROC 面积指数已经低于 0.5，预报技巧较低。

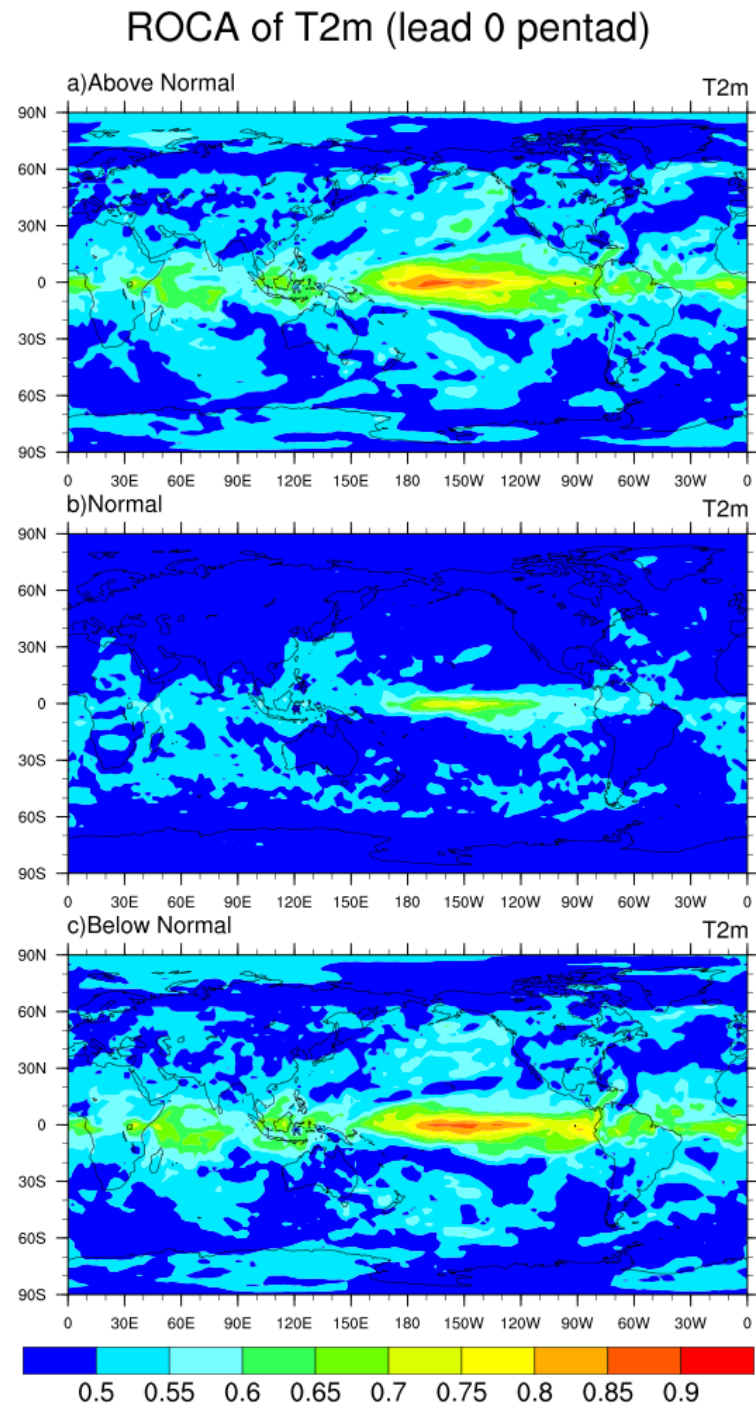


图 3.7 模式表面温度正异常事件 (Above Normal)、接近正常 (Near Normal, NN)，负异常 (Below Normal) 的 ROC 面积空间分布

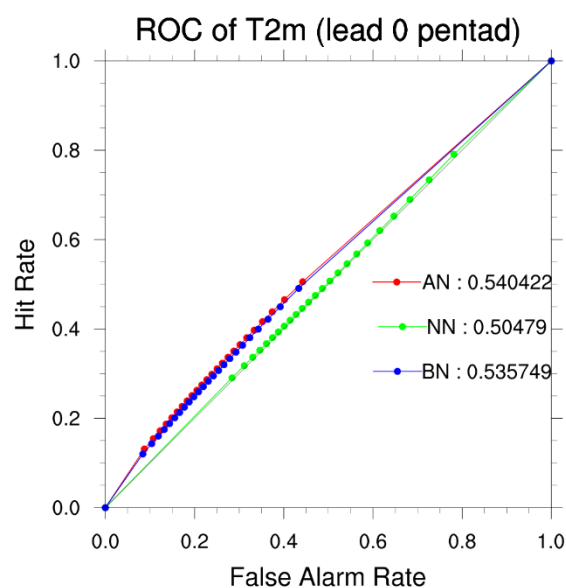


图 3.8 为图 3.7 所示的全球平均 ROC 曲线

3.1.5 可靠性图表 (RD)

图 3.9 进一步给出模式对气温预报的可靠性图表 (RD)。RD 曲线的横轴代表预报概率，纵轴代表观测到的命中率，曲线越接近对角线，预报效果越好，模式可靠性也越高。由图 3.9 可知，模式同样对正异常 (AN) 和负异常 (BN) 事件的预报可靠性好于接近正常事件 (NN)。此外，对于模式预报的低概率事件，实际观测中发生的频率偏高；而对预报的高概率事件，观测中发生的频率偏低，即 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式同其他模式类似，同样存在低概率低估，高概率高估的特征。

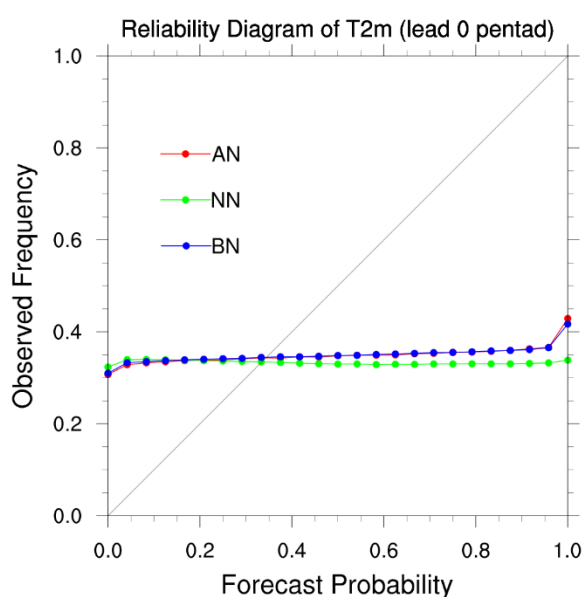


图 3.9 提前 0 候起报时 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对全球 2m 温度预报的可靠性图表 (Reliability Diagram)

3.1.6 Brier 技巧评分（BSS）

图 3.10 给出模式提前 0 候对 2m 温度回报技巧的 BSS 空间分布图。通常认为，模式在 BSS 大于 0 的区域具备预报技巧。由图可见，与 ROCA 类似，模式同样在热带中东太平洋以及西印度洋地区具有一定预报技巧。但在我国在超前 0 候时 BSS 指数已经低于 0，预报技巧较低。

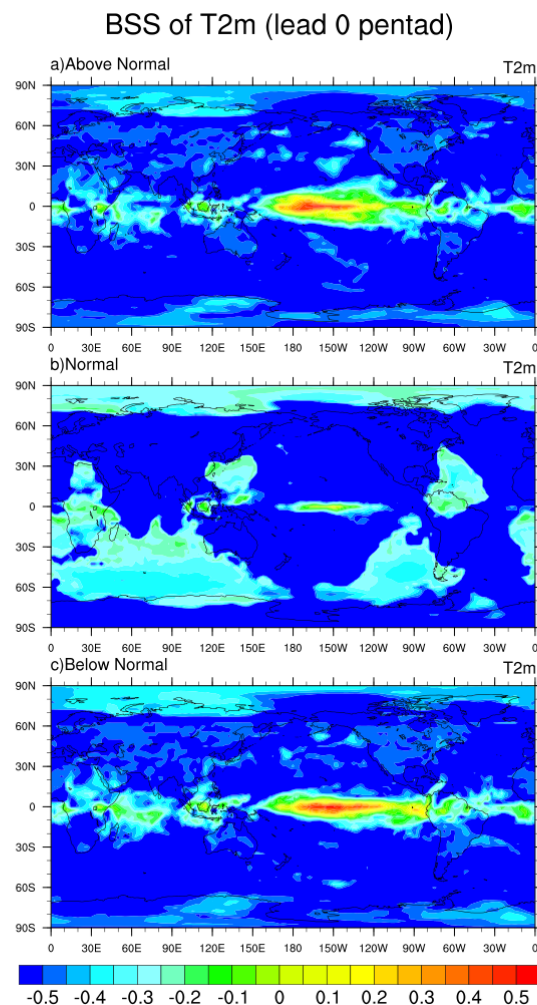


图 3.10 同图 3.7，但为 Brier 技巧评分的空间分布

3.1.7 2m 温度预报小结

通过对 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对 2m 温度预报性能的系统评估表明，首先，模式的平均态存在一定偏差，包括在欧亚大陆高纬度地区整体偏低，对欧亚大陆中低纬地区以及青藏高原均模拟的温度偏高，我国除东北地区温度偏低以外，大部温度偏高。第二，模式对气温具有一定的预报技巧，其中热带太平洋地区技巧较高。超前 0 候时在北半球热带外预报技巧相对较高，但对东亚地区的预报技巧地区低于北半球热带外平均，对我国而言，模式对我国东南和东北地区预报技巧相对较高。第三，模式对初值均非常敏感，随着 lead time

的延长，预报技巧显著下降。第四，概率预报性能检验（ROCA，BSS）的结果与 TCC 分布非常类似，热带太平洋地区的预报技巧较高，且模式对异常高温事件的预报能力稍好于异常低温事件，但它们的技巧都远高于对常值事件的预报。

3.2 降水（Prec）

3.2.1 气候态

与对气温（T2m）的分析类似，这里同样首先进行 BCC_CSM1.2 全球降水预测结果与 CMAP 观测的气候态对比分析。如图 3.10 所示，BCC_CSM1.2 预测的降水气候态的模式与观测相比，雨带的分布基本一致，特别是在热带反映出了热带辐合带（ITCZ）和南太辐合带（SPCZ）的主要特征，但热带西太平洋暖池和 SPCZ 地区降水明显偏强，印度洋和海洋大陆降水偏弱。

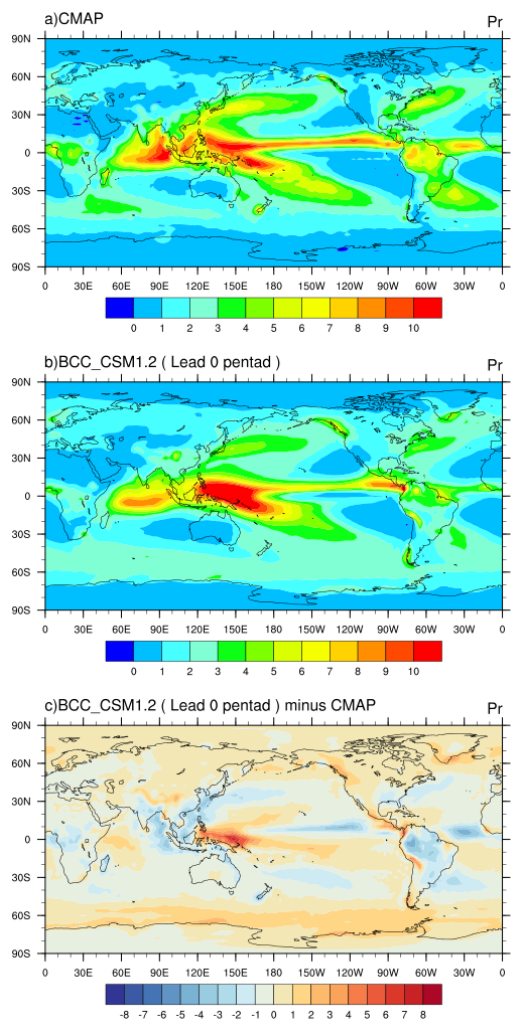


图 3.11 全球多年（20a）平均降水（单位：mm），a）CMAP，b）BCC_CSM1.2，以及 c）BCC_CSM1.2 超前 0 候预报与 CMAP 之差

进一步分季节对比模式的气候态偏差。图 3.12 给出的分别是冬季和夏季的季节平均降

水全球分布。在冬季，降水偏差与夏季相比相对较小，主要表现为海洋大陆降水偏少，西太平洋降水偏多。在夏季，观测降水的大值中心比冬季偏北。模式在南亚沿岸地区、日本海及其以东以及赤道东太平洋降水偏少，热带西太平洋降水仍显著偏多。

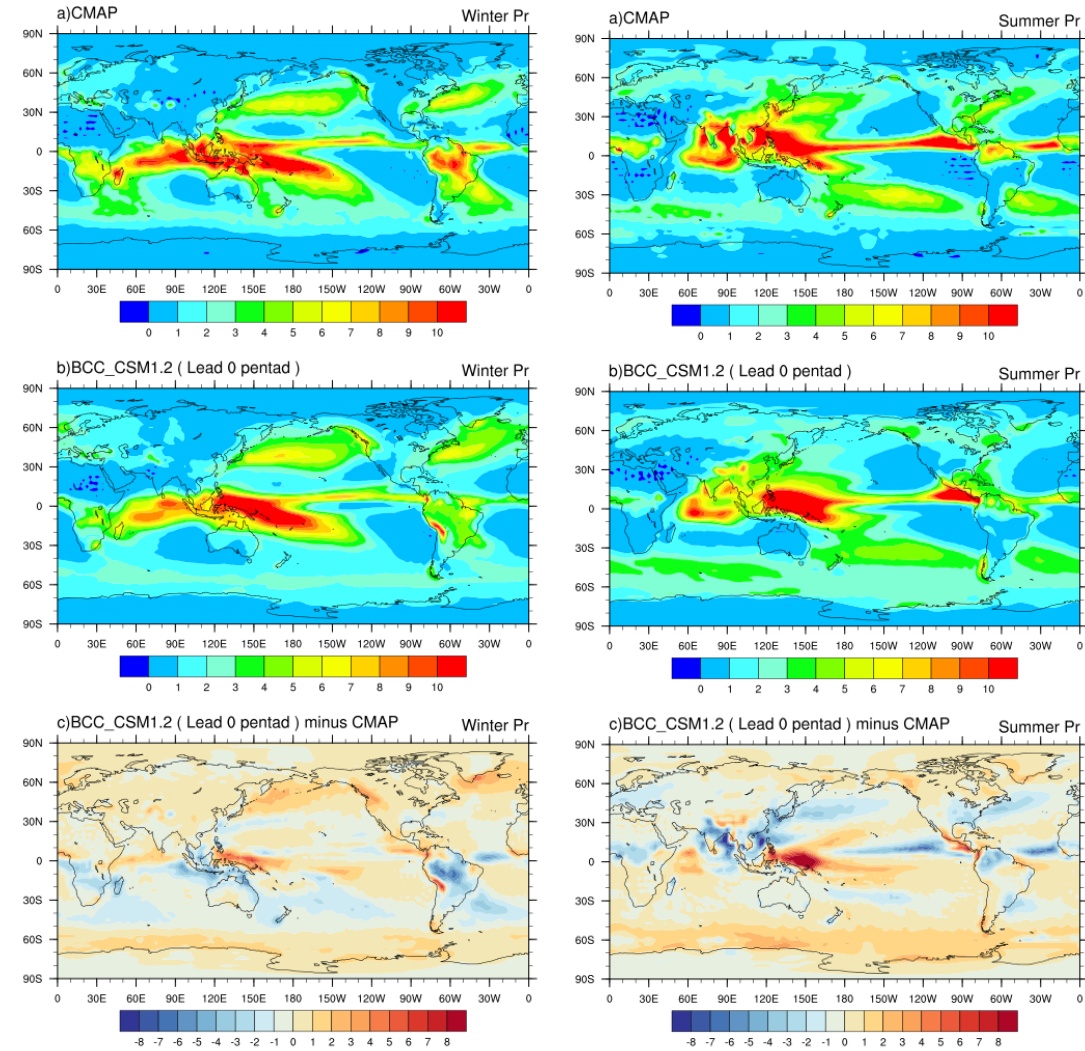


图 3.12 季节平均(左: 冬季, 右: 夏季)降水(单位: mm), a)CMAP, b)BCC_CSM1.2, 以及 c)BCC_CSM1.2

超前 0 候预报与 CMAP 之差

3.2.1 距平相关系数 (ACC)

图 3.13 给出降水距平空间相似系数的年际变化，与 2m 气温相比，降水的 ACC 评分明显偏低，全球平均而言均在 0.6 以下。各个区域评分差距比较明显，在春季，东亚地区相关系数较低；在夏季，全球的 ACC 得分较低，均低于 0.4。注意在 1997 年的强 El Nino 年，全球降水 ACC 得分最高。这主要得益于模式对 ENSO 预报性能带来的对降水预报的把握能力。特别是在历史上典型的 ENSO 年，例如 1997 年的秋冬季和 1998 年的春季，模式对降

水预报的 ACC 评分能够超过约 0.5 左右。

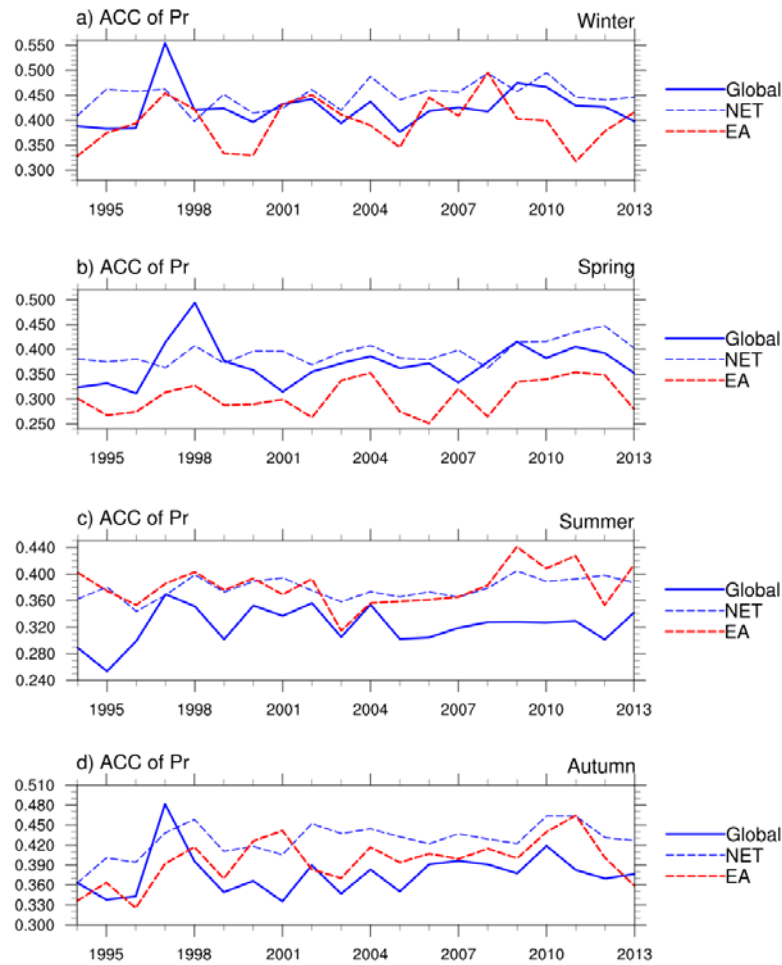


图 3.13 提前 0 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对全球、北半球和东亚地区降水预报 ACC 技巧的四个季节
时间序列

3.2.2 时间相关系数 (TCC)

图 3.14 给出了提前 0 候至 5 候起报的模式对降水异常预报的 TCC 技巧全球空间分布图。总体而言，相关技巧在 0.5 以上的区域与气温相比已显著减少，超前 0 候全球平均的 TCC 约为 0.35，表明模式对降水的预报技巧明显偏低。由图可知，模式对降水的预报技巧主要位于热带中东太平洋；从不同区域来看，模式对热带地区，特别是 ENSO 发生地区降水的预报技巧较高，说明降水的异常信号主要来自前期海温强迫。模式预报结果对初值比较敏感，提前 1 候较提前 0 候的预报技巧下降明显，之后随 lead time 的延长，预报技巧下降不大（图 3.15）。对于我国而言，模式在超前 0 候时我国大部分地区降水异常预报 TCC 技巧已经小于 0.5，因此对我国降水异常的预测能力有限，仅在华南地区的少数台站具有一定技巧。

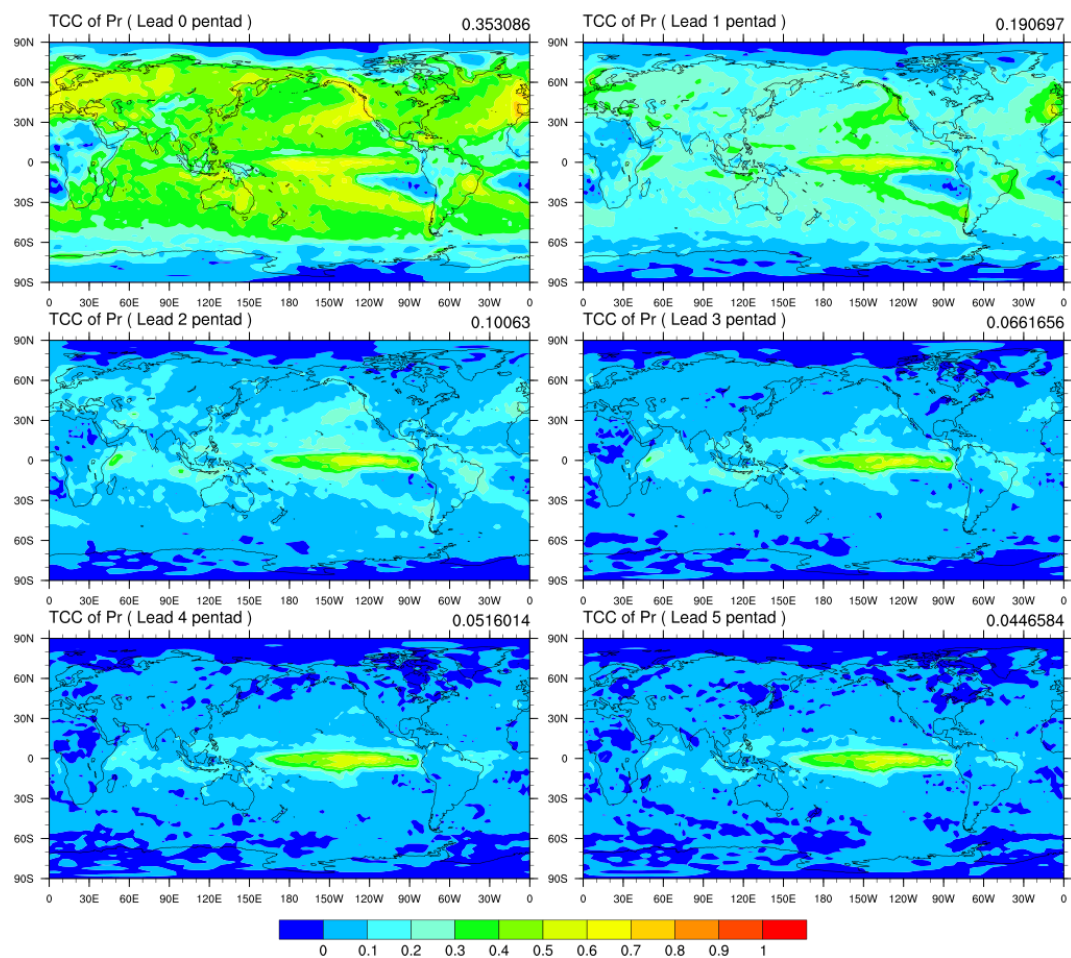
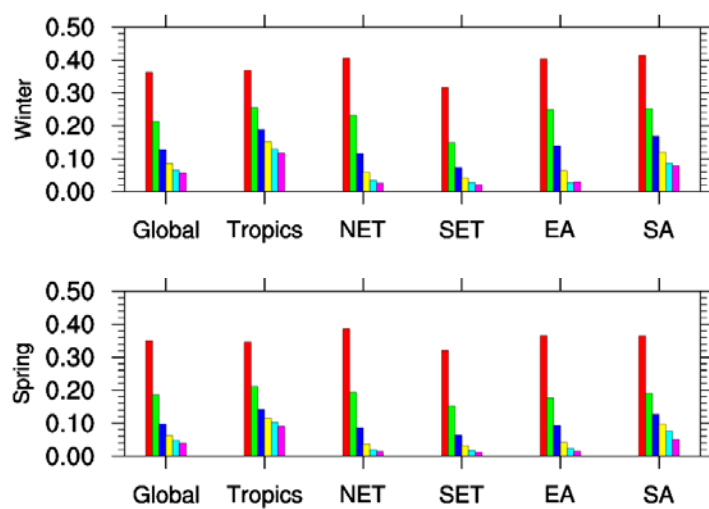


图 3.14 提前 0 候至 5 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对降水异常预报的时间相关系数 (TCC) 技巧的空间分布图



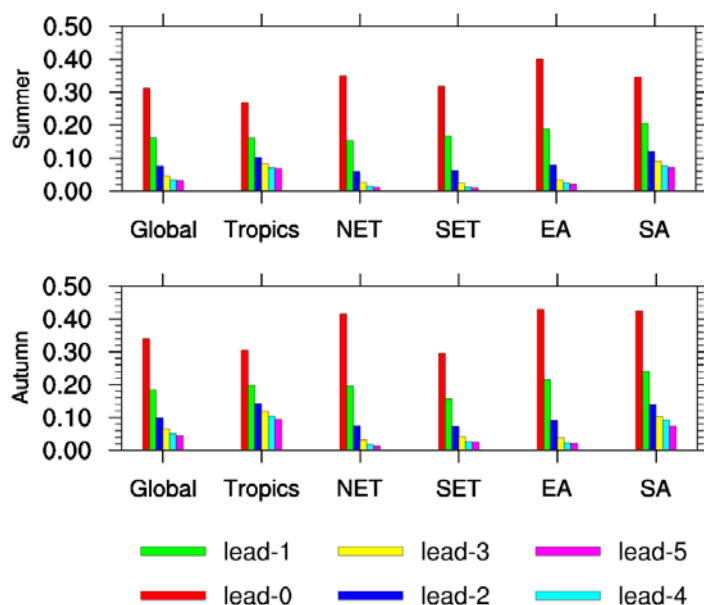


图 3.15 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式在不同 lead time 起报的四个季节降水的 TCC 技巧在不同地区的平均

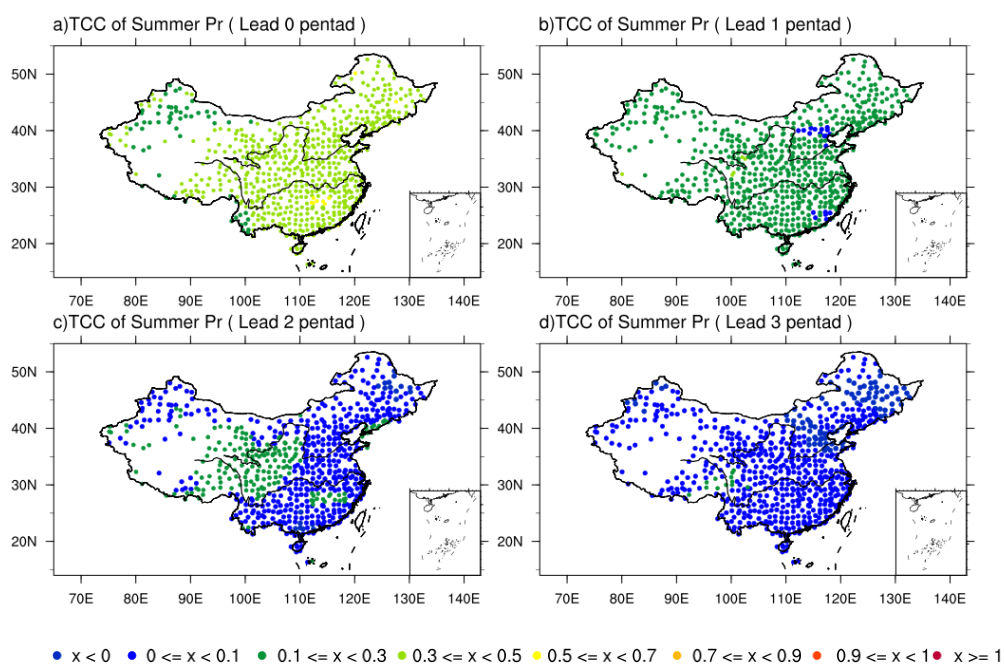


图 3.16 提前 0 候至 3 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对我国 700 台站降水异常预报的时间相关系数(TCC) 技巧的空间分布图

3.2.3 平均方差技巧评分 (MSSS)

对降水均方差技巧 (MSSS) 评估表明, 模式对热带中东太平洋 ENSO 发生的区域、北半球中高纬地区、南亚和我国东南地区降水有一定的预测能力, 对热带东印度洋和热带西太平洋地区 and 我国西北大部的降水性能预报较差。

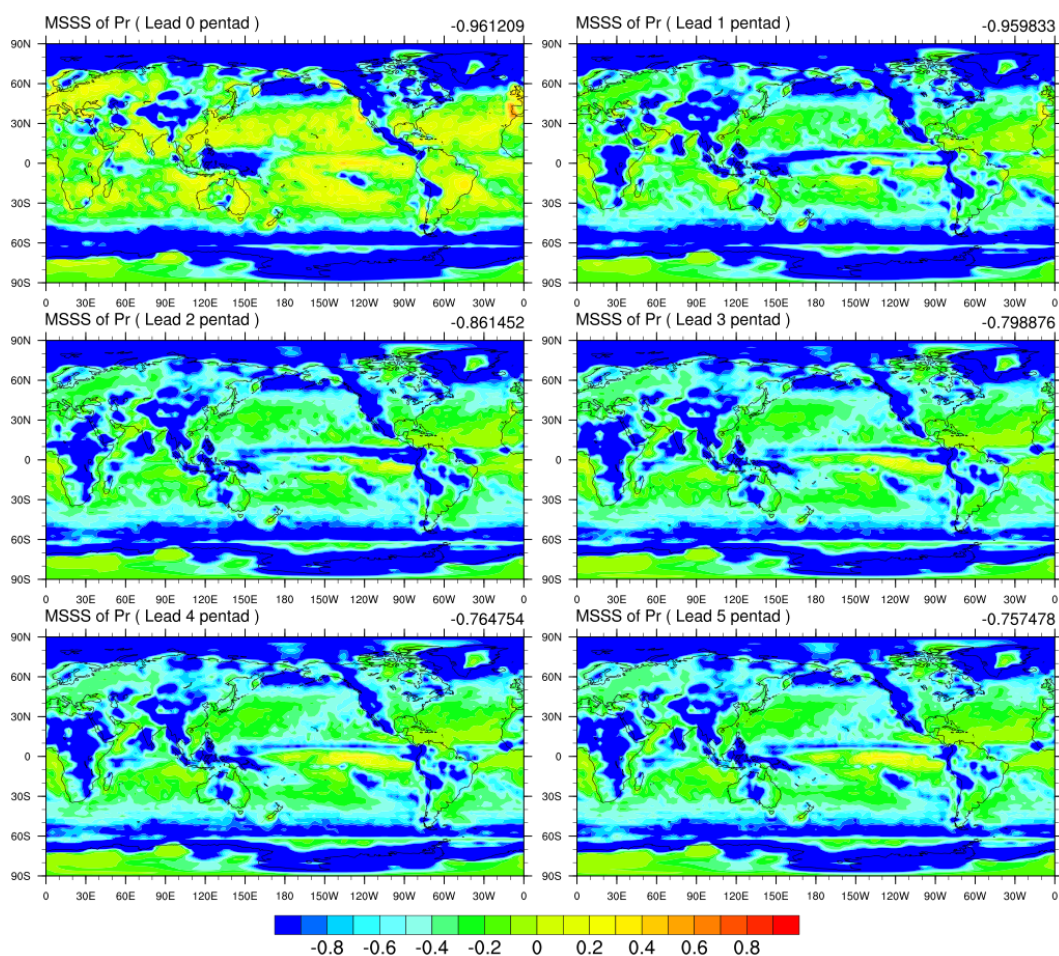


图 3.17 同图 3.14，但为均方技巧评分（MSSS）的空间分布图

3.2.4 相对操作特征（ROC）

由图 3.17 可见，对降水正异常事件，ROC 面积的空间分布与 TCC 比较接近，其表现为明显的西北太平洋暖池地区对正异常事件和负异常事件的较高技巧，而模式对我国江淮流域的降水接近常值事件也具备一定的预报能力。ROC 曲线图进一步说明（图 3.18），就全球平均而言，模式对降水负异常事件（BN）的预报技巧略好，而模式对正异常事件（AN）和接近正常值得降水基本无预报技巧。

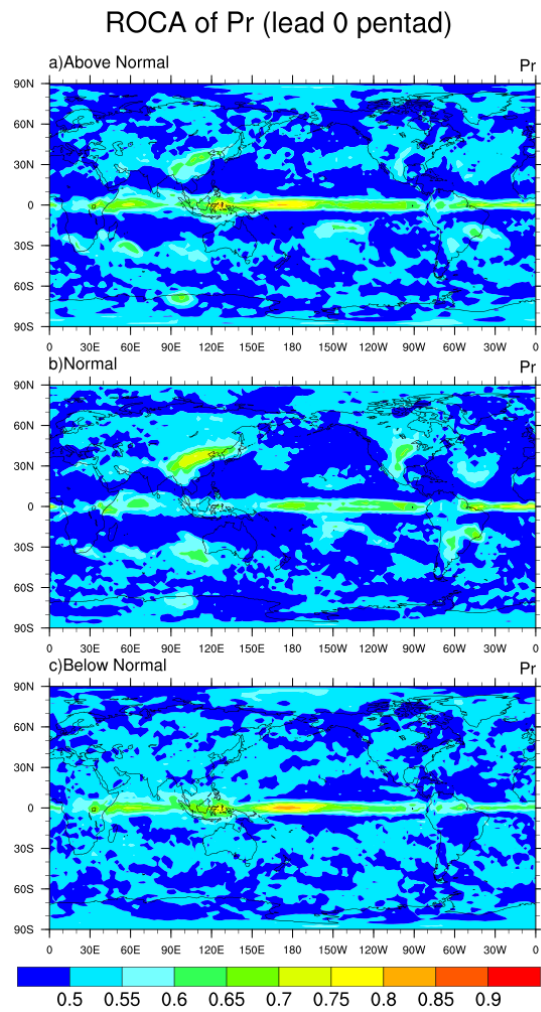


图 3.18 模式降水正异常事件 (Above Normal)、接近正常 (Near Normal, NN), 负异常 (Below Normal)

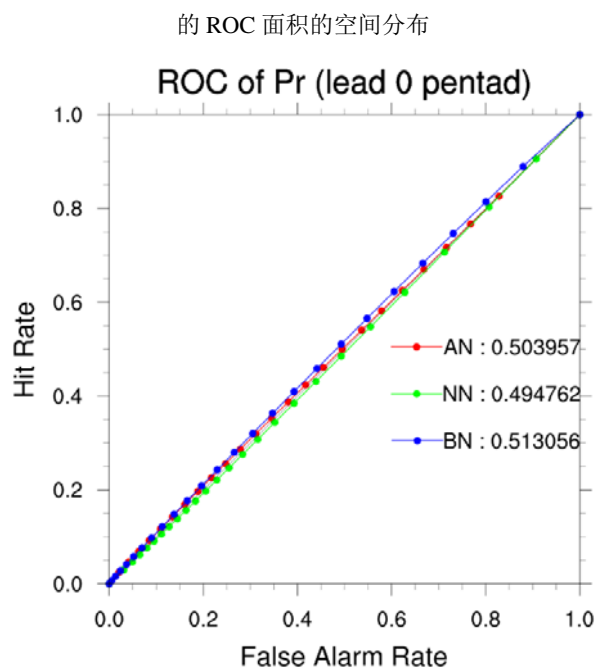


图 3.19 为图 3.17 所示的全球平均 ROC 曲线

3.2.5 可靠性图表 (RD)

通过可靠性图表也可看出 (图 3.19), 模式对降水负异常事件预报的可靠性稍高, 好于降水正异常事件, 特别是对预报较大概率时的可靠性更高。但就全球平均而言, 模式降水概率预报基本无预报技巧。

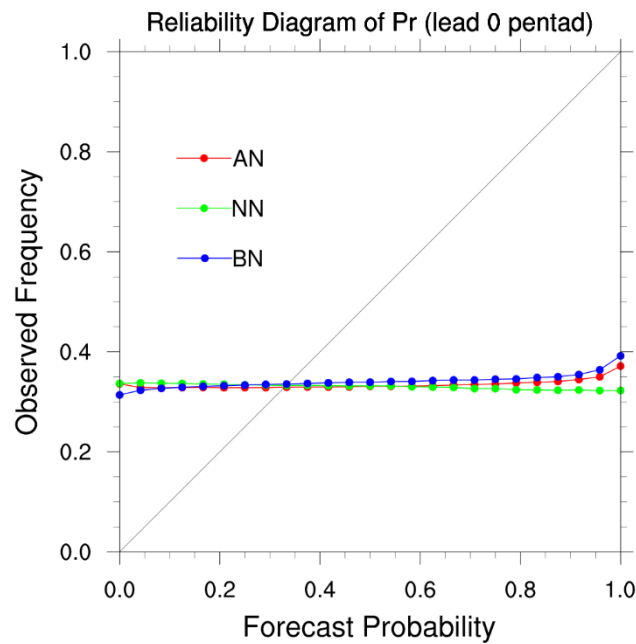


图 3.20 提前 0 候起报时 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对全球降水预报的可靠性图表(Reliability Diagram)

3.2.6 Brier 技巧评分 (BSS)

对降水 BSS 的空间分布与 TCC 和 ROC 面积均具有较好的一致性, 在北半球有明显的波列状的分布存 (图 3.20)。相比之下, 模式对赤道西太平洋正、负异常概率预报的 BSS 无明显差别, 后者略微高于前者。

BSS of Pr (lead 0 pentad)

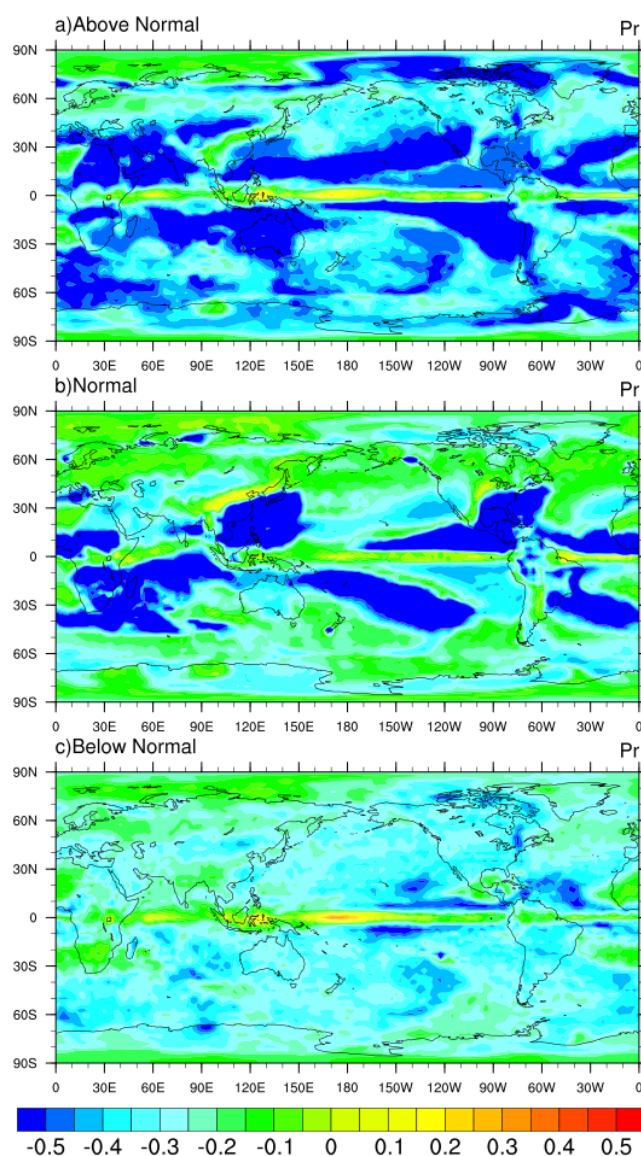


图 3.21 同图 3.18，但为降水 Brier 技巧评分的空间分布

3.2.7 降水预报小结

通过与观测的对比，本部分从多个方面对 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对降水预报性能进行检验和评估，主要得到以下几点结论：首先，在气候态，模式能够大致较好的把握各季节雨带分布，特别是热带太平洋的 ITCZ 和 SPCZ 的降水，但是，热带西太平洋暖池和 SPCZ 地区降水明显偏强，MC 地区降水偏弱；第二，整体而言，模式对降水有一定预测能力，lead 0 候时全球平均 TCC 在 0.35 附近，模式性能对初值十分敏感，整体预测水平明显低于气温预测；第三，使用 ACC，TCC 等评估方法表明，模式对南亚、热带太平洋、特别是 ENSO 地区的降水预测能力较强，对我国而言，对江淮地区降水预测能力相对较好。

3.3 500hPa 位势高度 (Z500)

3.3.1 气候态

与前面几部分相类似，这里仍然首先对模式预报的环流气候态进行对比分析。由图 3.22 所示，模式预报的气候态，在北半球欧亚大陆中高纬度整体偏低，但在北太平洋上则偏高，模式的东亚大槽偏西。

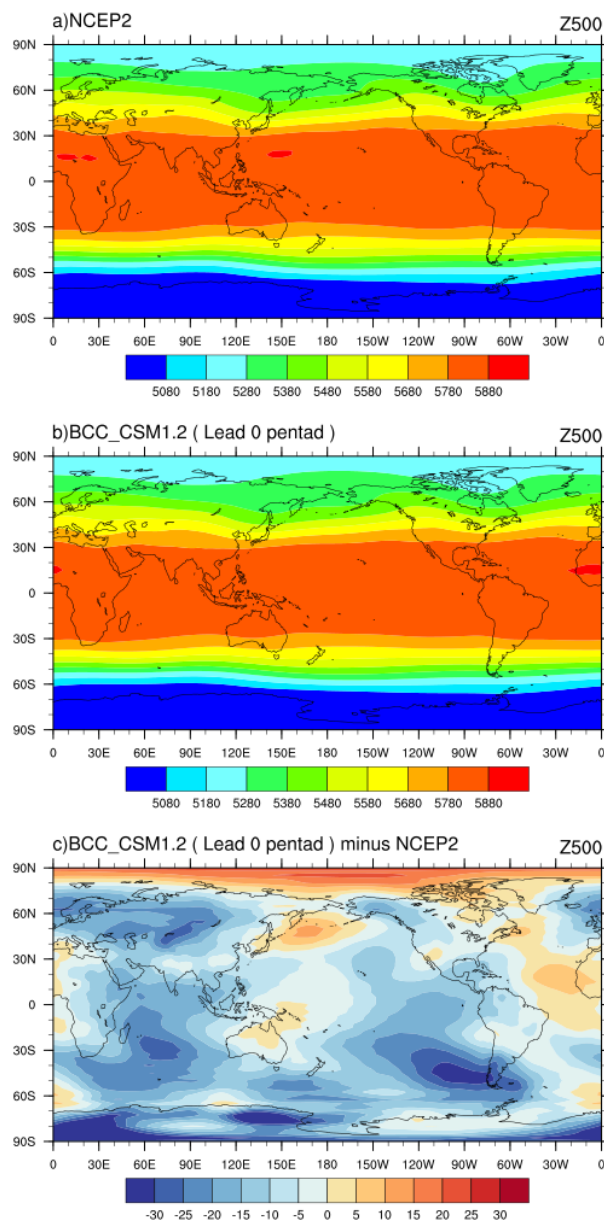


图 3.22 全球多年(20a)平均 500hPa 位势高度(单位:位势什米),a)NCEP2,b)BCC_CSM1.2,c)BCC_CSM1.2

超前 0 候预报与 NCEP2 之差

进一步分季节对比模式 500hPa 位势高度的气候态偏差。图 3.23 给出的分别是冬季和夏季的季节平均 500hPa 位势高度全球分布。在冬季，在北半球欧亚大陆、北美和北大西洋整

体偏低。但在夏季，我国东北地区、北美和北大西洋则表现为正偏差。

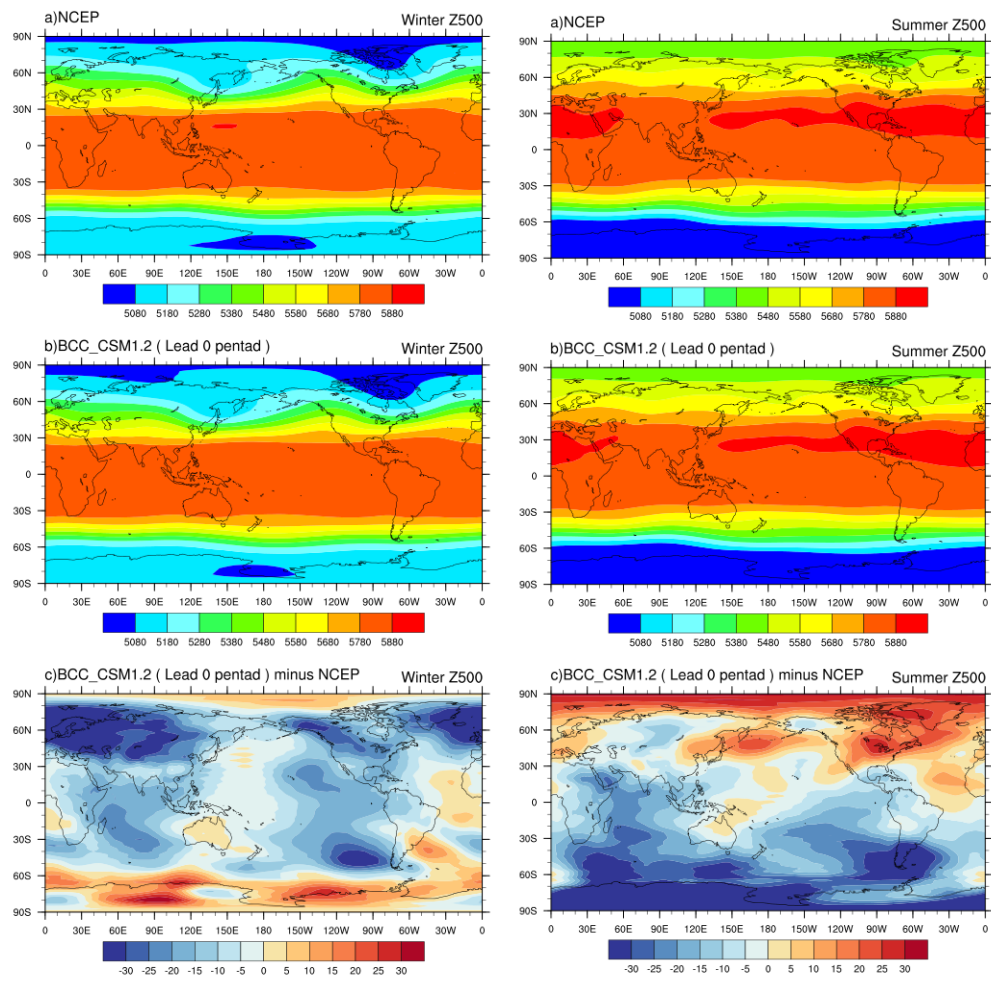
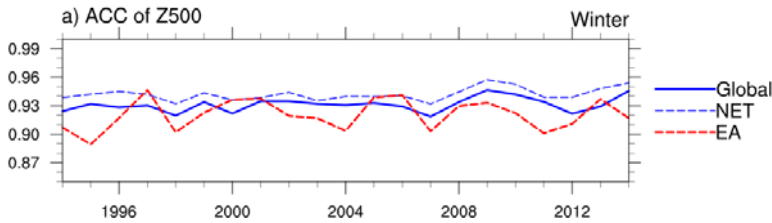


图 3.23 季节平均 (左: 冬季, 右: 夏季) 500hPa 位势高度 (单位: 位势什米), a) NCEP2, b) BCC_CSM1.2,

c) BCC_CSM1.2 超前 0 候预报与 NCEP2 之差

3.3.2 距平相关系数 (ACC)

对 500hPa 位势高度场而言，目前 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式超前 0 候时对春夏秋冬四个季节的 ACC 预报技巧均高于 0.8 (图 3.24)。500hPa 位势高度场的 ACC 年际变化很大，在主要 ENSO 年 (97/98 和 09/10) 预报技巧较高，反映出模式对 ENSO 事件预报性能具有一定技巧。



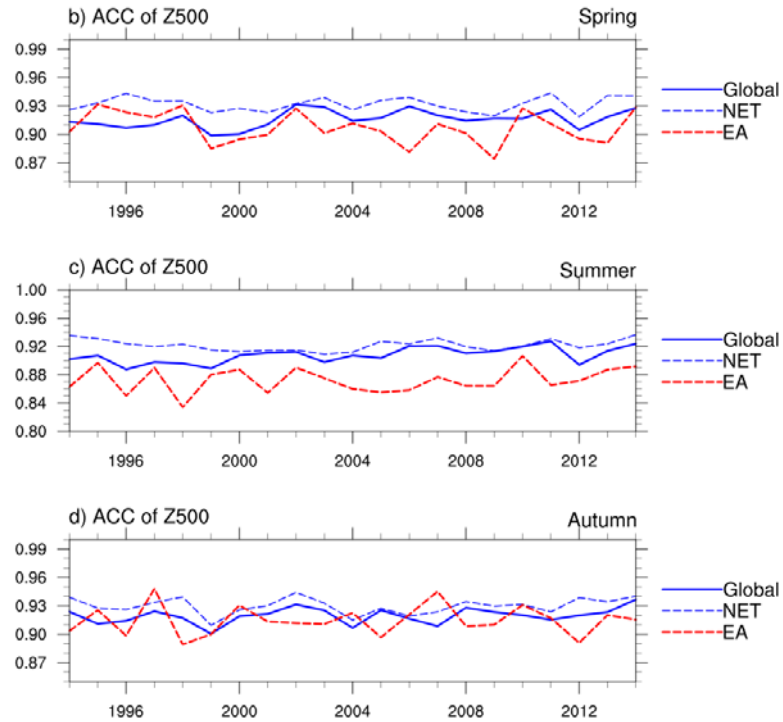


图 3.24 提前 0 候 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式对全球、北半球和东亚地区 500hPa 位势高度预报 ACC 技巧的四个季节时间序列

3.3.3 时间相关系数（TCC）

从时间相关系数的空间分布上看（图 3.25），随着 lead time 的延长至 1 候以上，模式对热带地区的 500hPa 位势高度场的预报技巧最高，在超前 5 候时模式预测的相关技巧仍能超过 0.5，远高于模式气温和降水的预测。不同季节模式对热带地区位势高度异常的预报能力也要远高于其他地区，超前 1 候时区域平均可达 0.6~0.8（图 3.26），且具有很好的持续性，北半球热带外的相关也高于南半球热带外。对东亚地区而言，模式在夏季对西太副高有一定的预报技巧，但在冬季对贝加尔湖以北到鄂霍茨克海地区等中高纬阻塞形势易发生地区的预报技巧偏低。在我国，模式预报的位势高度异常在东南地区也具有较高的相关，北部地区的位势高度场预报技巧较低。需要注意的是，在热带外，模式对初值很敏感，随着 lead time 的延长模式预报性能显著下降。

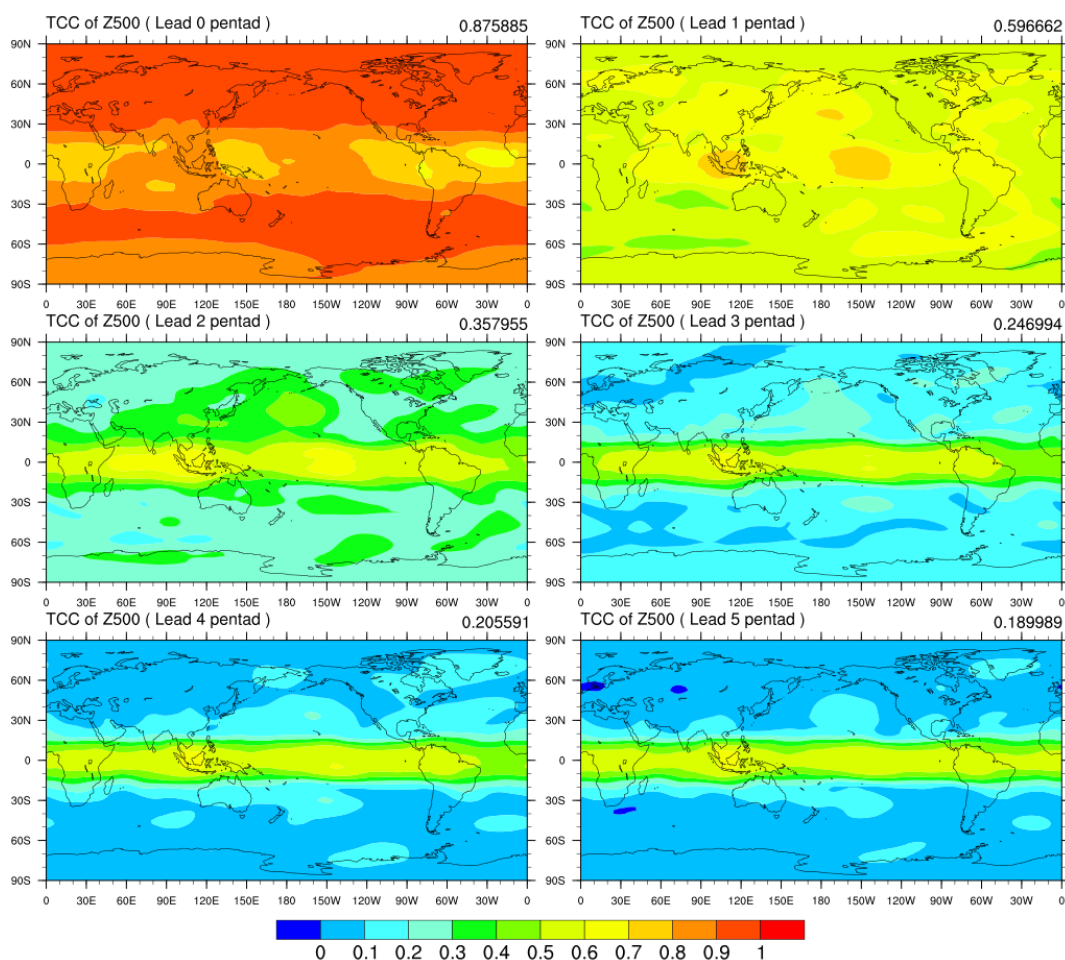
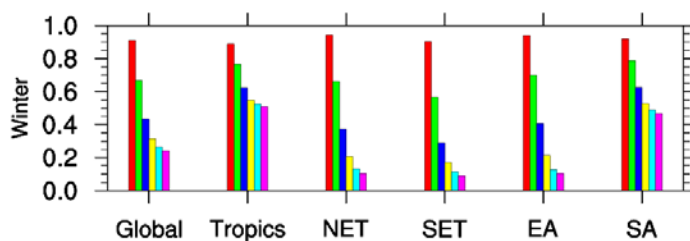


图3.25 提前0候至5候BCC_CSM1.2次季节-季节模式对500hPa位势高度异常预报的时间相关系数(TCC)

技巧的空间分布图

从不同季节的区域平均上看（图 29），全球平均而言，模式对冬季 500hPa 位势高度场的预报技巧最高。而且，模式预报技巧对初值比较敏感，从 lead-0 延长到 lead-1 个候模式技巧下降较快，热带地区随着 lead time 的延长模式预报技巧下降不明显。此外，与 2m 温度和降水不同，在夏季，该模式对东亚地区预报技巧高于北半球热带外，可能与模式对 EAP 遥相关型预报能力较好有关。



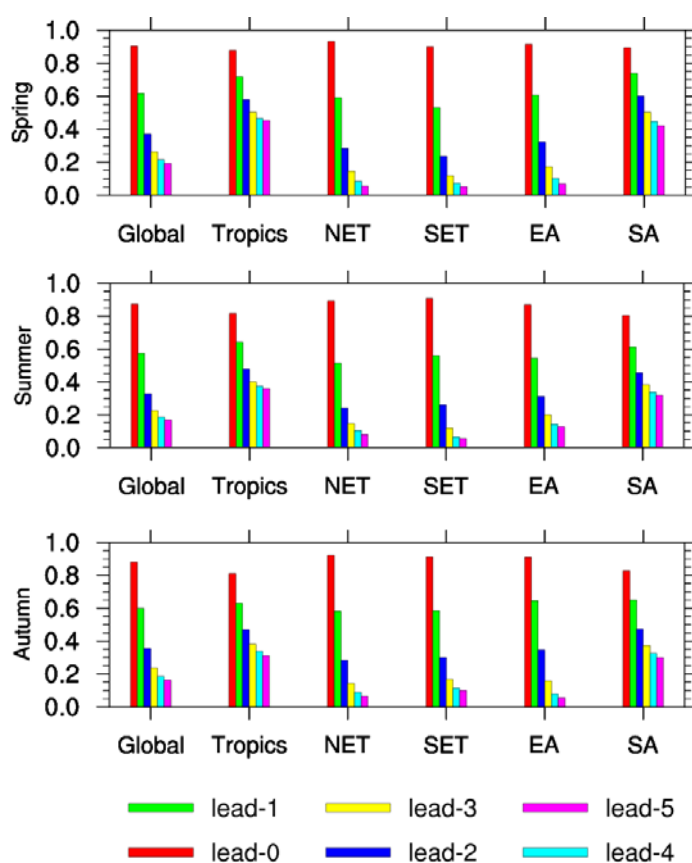


图 3.26 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式在不同 lead time 起报的四个季节 500hPa 位势高度的 TCC 技巧在不同地区的平均

3.3.4 平均方差技巧评分 (MSSS)

对模式预报的 500hPa 位势高度的均方差技巧评估 (MSSS) 结果与 TCC 比较类似, 均表现为模式对热带和北太平洋大部分地区的环流形式把握能力较强, 具体到系统上来说, 模式对东亚地区中纬度地区的环流有较一定的预测技巧, 对我国北部预报技巧较低, 此外对热带外的预报技巧均随着 lead time 的延长而迅速减小。

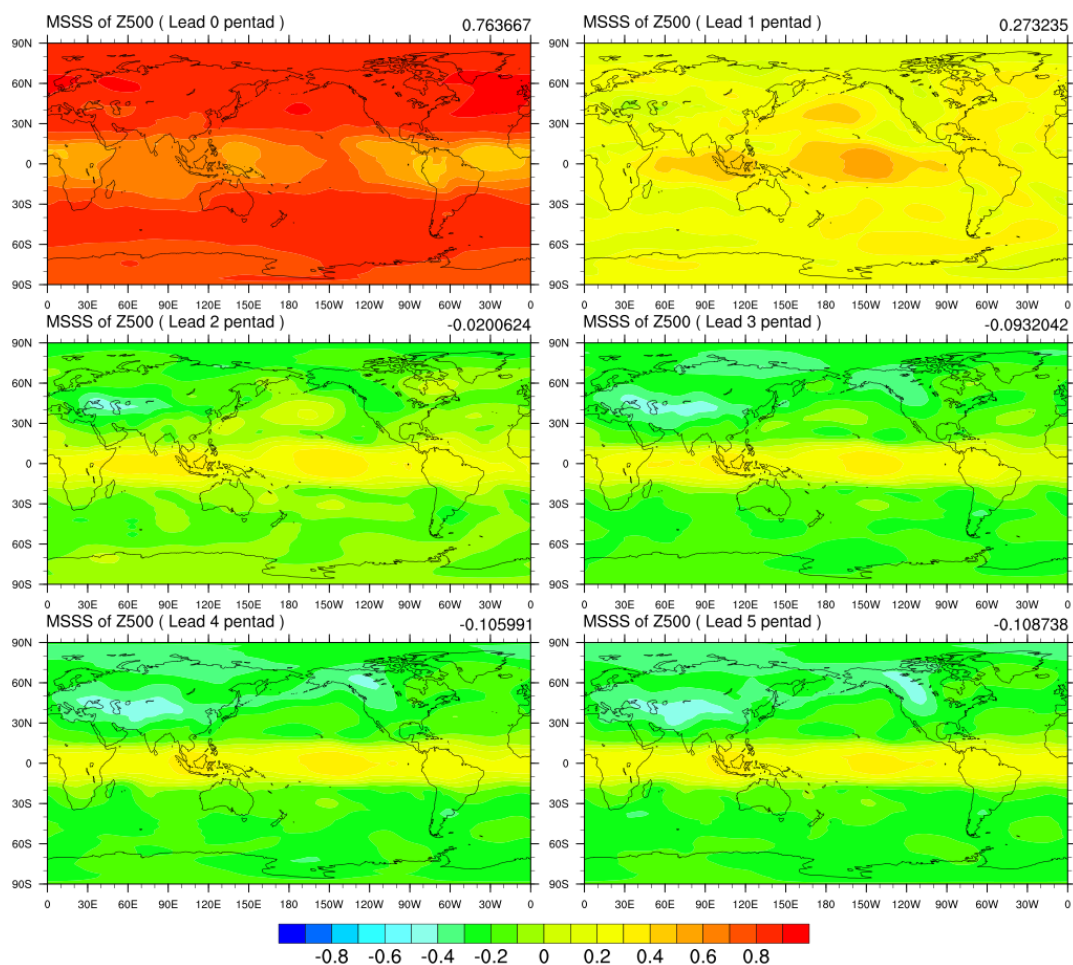


图 3.27 同图 3.14，但为均方技巧评分（MSSS）的空间分布图

3.3.5 相对操作特征（ROC）

对 500hPa 位势高度场正异常事件和负异常事件,从 ROC 面积的空间分布上看(图 3.28),除热带地区,模式对我国南方一直到副热带西太平洋的副高活跃区的位势高度有较高的预报技巧。从全球平均的 ROC 曲线来看(图 3.29),模式对 500hPa 位势高度异常偏低事件的预报技巧稍高于异常偏高事件,均比接近常值事件的预报技巧偏高。与全球平均相比,热带地区的 ROC 曲线表面,热带地区 500hPa 位势高度的概率预报技巧与热带外相比较高。

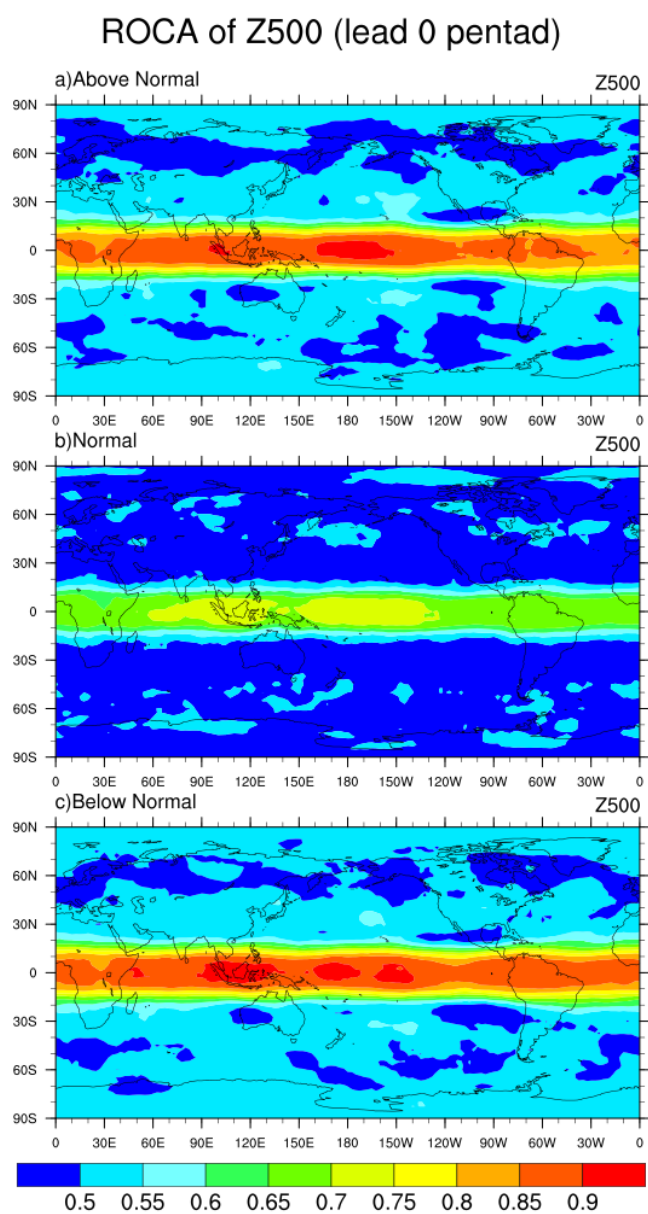


图 3.28 模式 500hPa 位势高度正异常事件 (Above Normal)、接近正常 (Near Normal, NN), 负异常 (Below Normal) 的 ROC 面积的空间分布

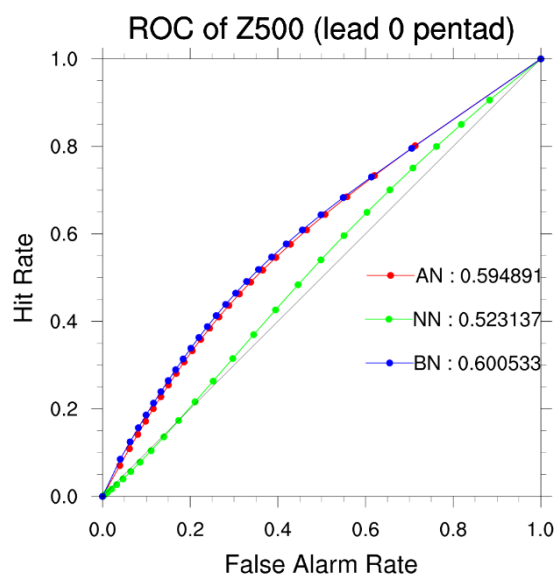


图 3.29 为图 3.28 所示的全球平均 ROC 曲线

3.3.6 可靠性图表 (RD)

从可靠性图表上看，相较于 2m 温度和降水，模式对 500hPa 位势高度场的预报可靠性更高，虽然仍然存在预报低概率时低估和预报高概率时高估的问题，但整体与对角线更加接近，特别是在热带地区（图 3.30）。此外，模式对负异常事件预报的可靠性好于正异常事件，二者也均好于接近常值事件。

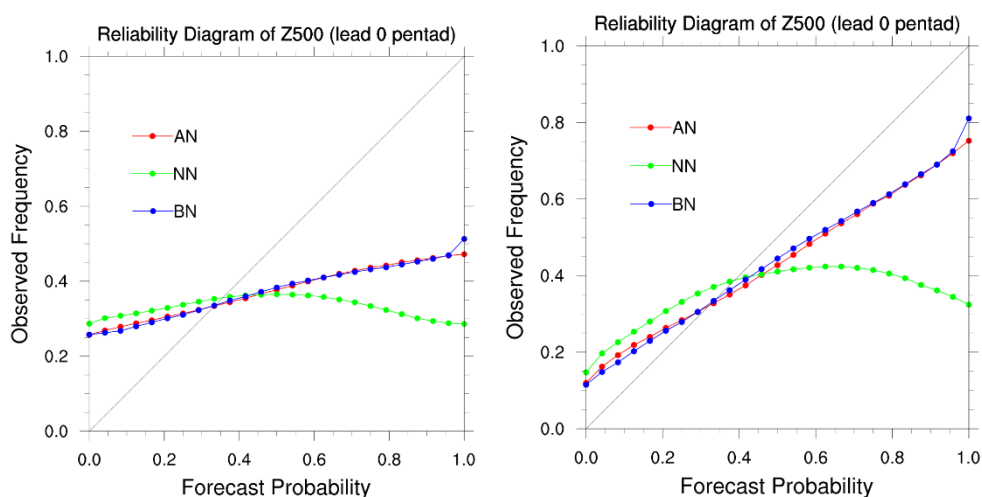


图 3.30 BCC_CSM1.2 次季节-季节模式提前 0 候对全球（左）和热带（右）地区 500hPa 位势高度预报的可靠性图表

3.3.7 Brier 技巧评分 (BSS)

图 3.31 给出模式超前 0 候对 500hPa 位势高度场正异常事件、负异常事件和接近常值事件的 BSS 空间分布。与 TCC 类似，该模式主要在热带地区预报技巧较高。模式对 500hPa

位势高度异常偏低事件的预报技巧稍高于异常偏高事件，均比接近常值事件的预报技巧偏高。

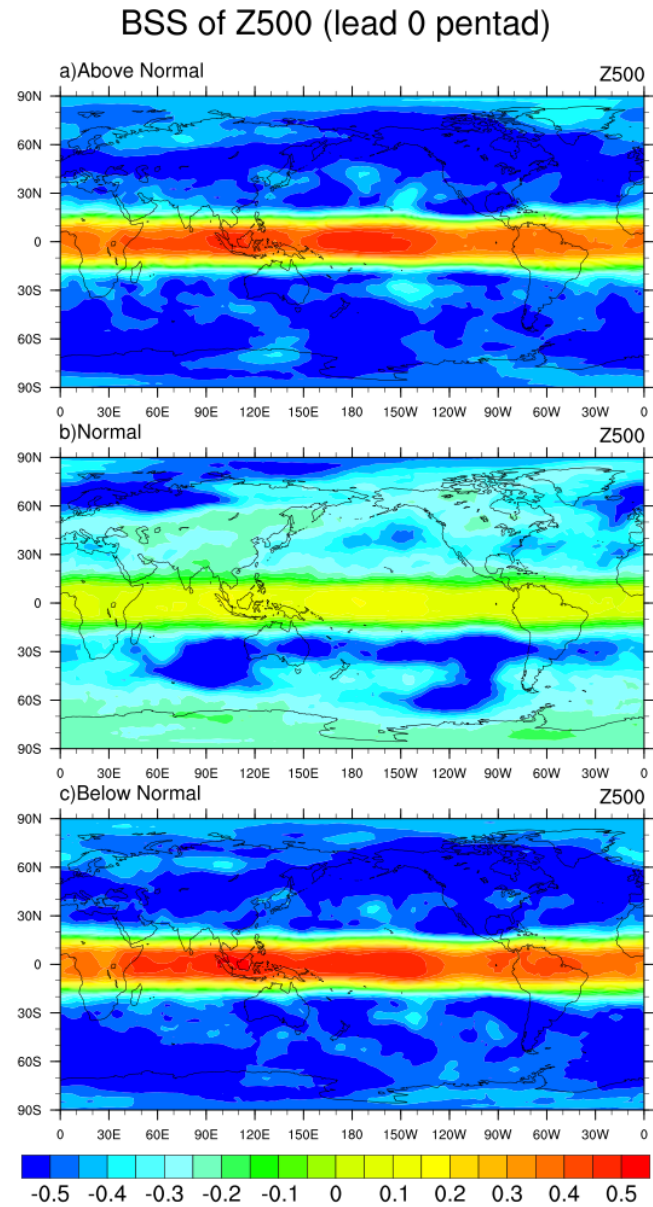


图 3.31 同图 3.28，但为 500hPa 位势高度场 Brier 技巧评分的空间分布

3.3.8 500hPa 位势高度预报小结

模式对 500hPa 位势高度的预测能力，代表着模式把握整体环流形势的性能，可以为预报员进行主观判断提供重要参考，对其预测能力的综合评估表明：首先，模式对环流的把握能力较好，整体明显高于气温和降水；第二，模式主要对热带地区位势高度预报能力较强，特别对东亚中纬度地区预报技巧较高，有利于预报员通过对环流形势把握从主观上对降水和温度预报做出判断，但对我国东北部地区和欧亚大陆中高纬阻塞易发地区的位势高度场预报技巧偏低；最后，需要注意的是，模式在热带外地区，对初值十分敏感，随着 lead time 的

延长，模式预报性能显著下降。

4 全球气候现象评估

4.1 热带大气季节内振荡（MJO）

基于 Wheeler 和 Hendon（2004）提出的实时多变量 MJO 指数（RMM）作为 MJO 的监测指标。该指数综合考虑了 MJO 的大尺度对流和环流相互耦合的结构特征，RMM1 和 RMM2 构成的二维空间位相图能够实时直观地反映出 MJO 对流的位置和传播特征，被广泛地应用于 MJO 的监测和科研业务中。RMM 指数选取 200hPa 纬向风场（U200）、850hPa 纬向风场（U850）和向上长波辐射（OLR）这 3 个变量，首先从逐日场数据中去掉气候态季节循环（0-3 波）和年际变化分量（前 120 天平均），之后对热带地区（15°S-15°N）进行经向平均，再对各变量进行标准化，最后投影到由观测资料分析得到的前两个 EOF 空间型上（图 1），即可得到一对 RMM 指数。当计算模式预测的 RMM 指数时，需要对预报场去掉模式自身的气候态；此外，在去掉年际变化时，需综合考虑观测和预测时段的结果，如对于第 n 天的预报，需要减去之前 $120-n+1$ 天的观测和 $n-1$ 天的预报值。

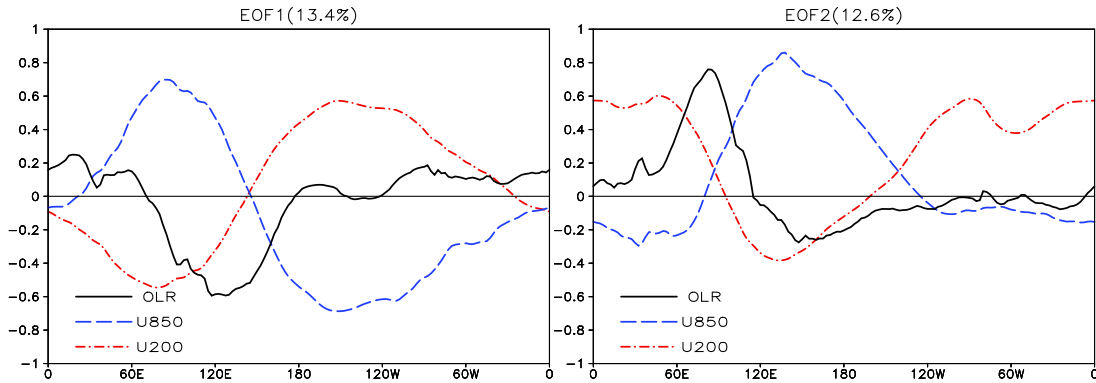


图 4.1 热带地区经向平均（15°S-15°N）的多变量（U200、U850 和 OLR）EOF 分解的前两个模态

采用相关技巧（COR）、均方根差（RMSE）、均方技巧评分（MSSS）等 3 种方法，对 BCCCSM1.2 模式 1994-2014 共 21 年的回报的 RMM 指数进行评估，技巧的阈值分别取 0.5、 $\sqrt{2}$ 和 0。图 4.2 给出了利用以上 3 种评估方法得到的全年和四个季节的预报技巧。如图所示，以相关技巧为例，模式对 MJO 的整体预报技巧约为 16 天；对各个季节而言，模式在秋季最高，可超过 21 天，冬季次之（17 天），春季和夏季的技巧较低。若以 RMSE 和 MSSS 做为标准，模式对 MJO 的预报技巧则可超过 20 天，这可能与模式 4 个成员集合之后 MJO 信号减弱有关，但从季节差异上看仍然是模式在秋季预报技巧最高。

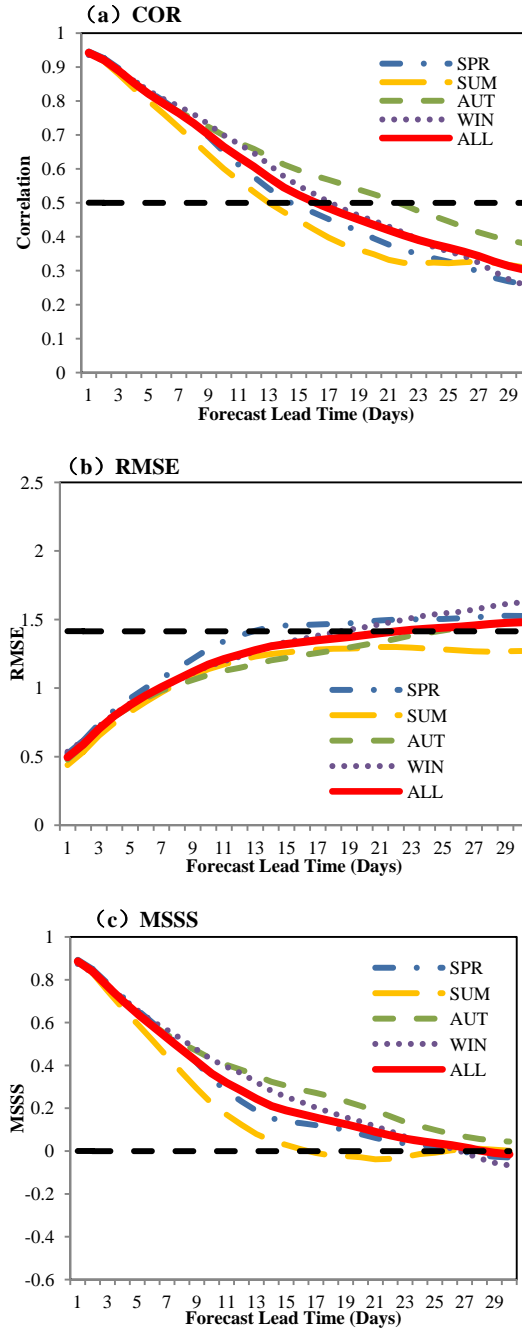


图 4.2 BCC_CSM1.2 对 RMM 指数的历史回报技巧检验，其中 (a) 为相关系数技巧 (COR)，(b) 为均方根误差 (RMSE)，(c) 为均方技巧评分 (MSSS)

4.2 北半球夏季季节内振荡 (BSISO)

利用 Lee 等 (2013) 定义的 BSISO 指数对模式对北半球夏季季节内振荡的预报能力进行检验评估。Lee 等 (2013) 对每年 5 月至 10 月东亚和南亚地区 (40-160°E, 10°S-40°N) 的 OLR 场和 U850 场进行多变量 EOF 分析，发现第 1 模态与第 2 模态、第 3 模态与第 4 模态相互耦合 (图 4.3)，主周期分别位于 30-60 天和 10-30 天，能够较好地代表北半球夏季亚洲季风区季节内振荡的环流特征及其向北传播的特点，因此取其第 1 和第 2 模态的时间系数定义为 BSISO1-1 和 BSISO1-2 指数，取第 3 和第 4 模态的时间系数定义为 BSISO2-1 和

BSISO2-2 指数，分别表征位于不同频段上亚洲夏季风季节内振荡的主要特征。计算 BSISO 指数时同样需要预先去掉季节循环、年际变化，之后进行标准化并投影到这四个空间模态上（图 4.3），便可得到这两对 BSISO 指数。

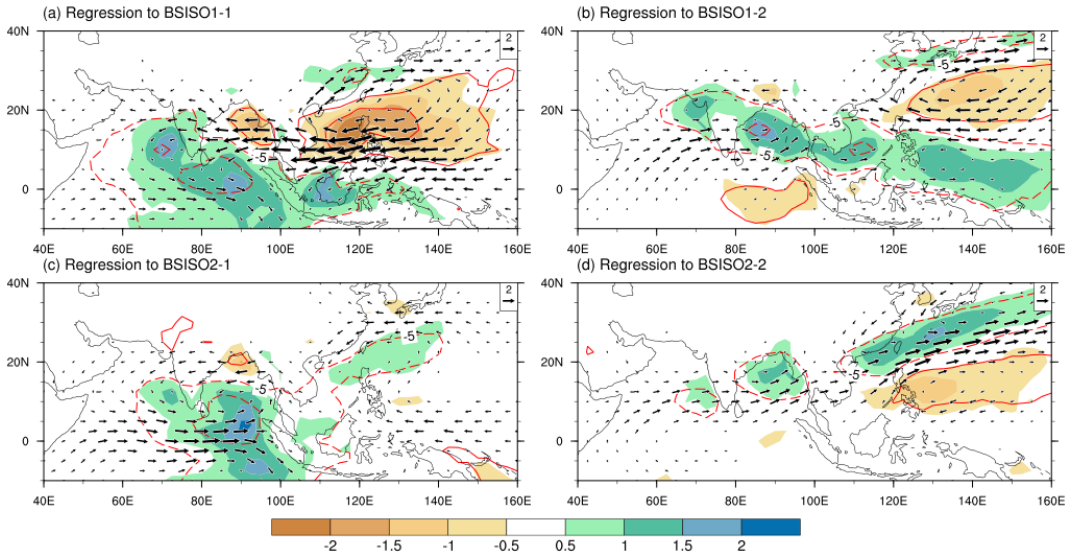
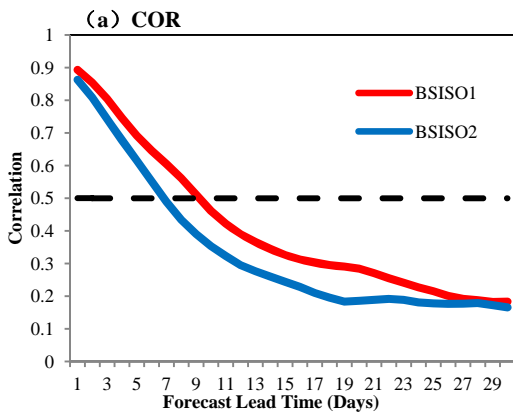


图 4.3 BSISO 指数回归的异常 850hPa 风场（矢量，单位：m/s）、OLR 场（等值线，单位：W/m²）和降水场（阴影，单位：mm/day）

下面对模式对 BSISO 指数的预报性能进行评估。如图 4.4 所示，模式对 BSISO1 指数的预报技巧整体高于 BSISO2 指数，从相关技巧（COR）上看，模式对两个指数的预报技巧分别为 10 天和 7 天，这与这两个指数的可预报性有关。若参考均方根误差（RMSE）和均方技巧评分（MSSS），则模式对两个指数的预报上限分别提高到 13 天和 9 天。



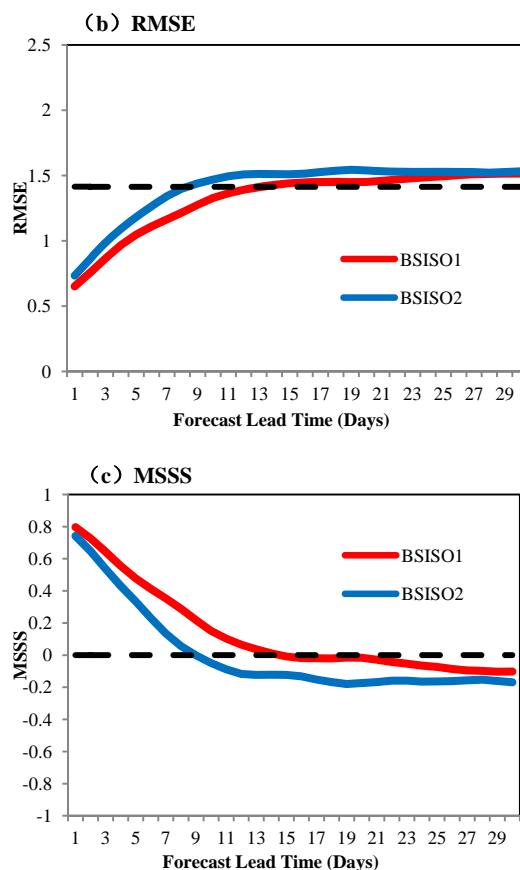


图 4.4 BCC_CSM1.2 对 BSISO 指数的历史回报技巧检验，其中 (a) 为相关系数技巧 (COR)，(b) 为均方根误差 (RMSE)，(c) 为均方技巧评分 (MSSS)

4.3 北极涛动 (AO)

北极涛动 (AO) 是北半球热带外大气低频变率的主导模态。AO 模态通常定义为 20°N 以北逐月海平面气压 (SLP) 距平经验正交函数 (EOF) 分解的第一主模态 (Thompson and Wallace, 2000)。在进行 EOF 分解之前，对各格点数据进行了面积加权处理。EOF 第一模态所对应的标准化时间系数则定义为 AO 指数。为了评估模式对 AO 指数的预报技巧，首先将模式回报的 SLP 距平投影到观测的 EOF 模态上，从而得到模式预报的 AO 指数。然后，计算观测和预报的 AO 指数之间的相关系数，以此衡量 BCC_CSM1.1m 模式的预报技巧。

图 4.5 给出了该模式对逐月 AO 指数的预报性能。超前 1-4 天时，最大相关技巧在 0.9 以上，超前 11 天时的相关技巧仍大于 0.5。因此模式对 AO 指数存在一定预报技巧，在超前 15 天之后，相关系数下降至低于 AO 自身持续性，几乎无明显预报技巧。如以 0.5 为标准，则该模式对 AO 的预报技巧为 11 天。

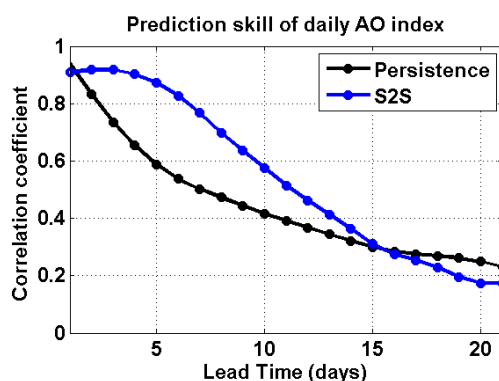


图 4.5 模式对逐日 AO 指数的预报技巧。图中横坐标为预报时长

4.4 北半球中高纬大气季节内变率主模态（ISV）

考虑到中高纬大气低频变率对气候重要性，对 BCC_CSM1.2 模式中北半球中高纬大气季节内变率（ISV）主模态，即北大西洋和北太平洋中高纬大气季节内变率主模态（ATL_ISV 和 PAC_ISV）的预报技巧就行了综合检验评估。

首先，通过对观测资料中北半球中高纬地区 300hPa 位势高度场和流函数场做小波功率谱（图略）分析发现，热带外地区普遍存在 20-60d 左右的季节内变化周期，且显著季节内变率最强区域分别位于北大西洋地区和北太平洋地区。其次，分别对冬季北大西洋和北太平洋地区 20-60d 滤波 300hPa 流函数做正交函数(EOF)分解,图 4.6 展示了前两个冬季 ATL_ISV（方差贡献分别为 18.7%和 17.6%）和 PAC_ISV（方差贡献分别为 19.0%和 16.7%）主模态的 EOF 型，分别呈现出季节内 NAO 和 PNA 分布型。

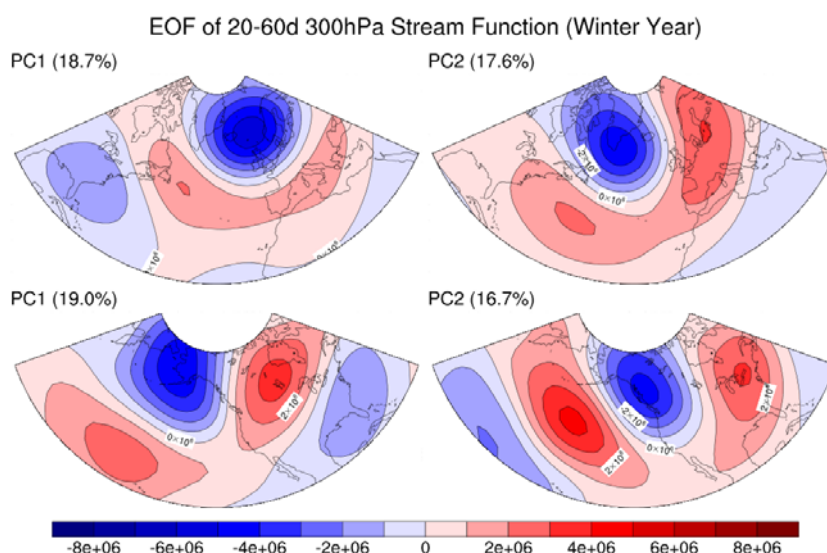


图 4.6 前两个冬季 ATL_ISV 和 PAC_ISV 主模态的 EOF 型

为了评估模式对 ATL_ISV 和 PAC_ISV 的预报技巧，首先将模式回报的流函数做 20-60d 尺度滤波并投影到观测的 EOF 模态上，得到模式预报的 PC 指数。其次将该 PC 指数与模式

回报的 20-60d 尺度流函数做回归，从而得到模式预报的 ATL_ISV 和 PAC_ISV 模态。最后，计算观测和预报的 ATL_ISV 和 PAC_ISV 模态之间的距平相关系数，以此衡量 BCC_CSM1.2 模式的预报技巧。结果如图 4.7 所示，该模式对前两个 PAC_ISV 模态的预报技巧在提前 3 候 ACC 仍可超过 0.3 且，明显高于前两个 ATL_ISV 模态，后者第 3 候预报 ACC 降到了约 0.2 和 0.1。但总体上仍显示出该模式对中高纬 ISV 具有一定的预报能力。

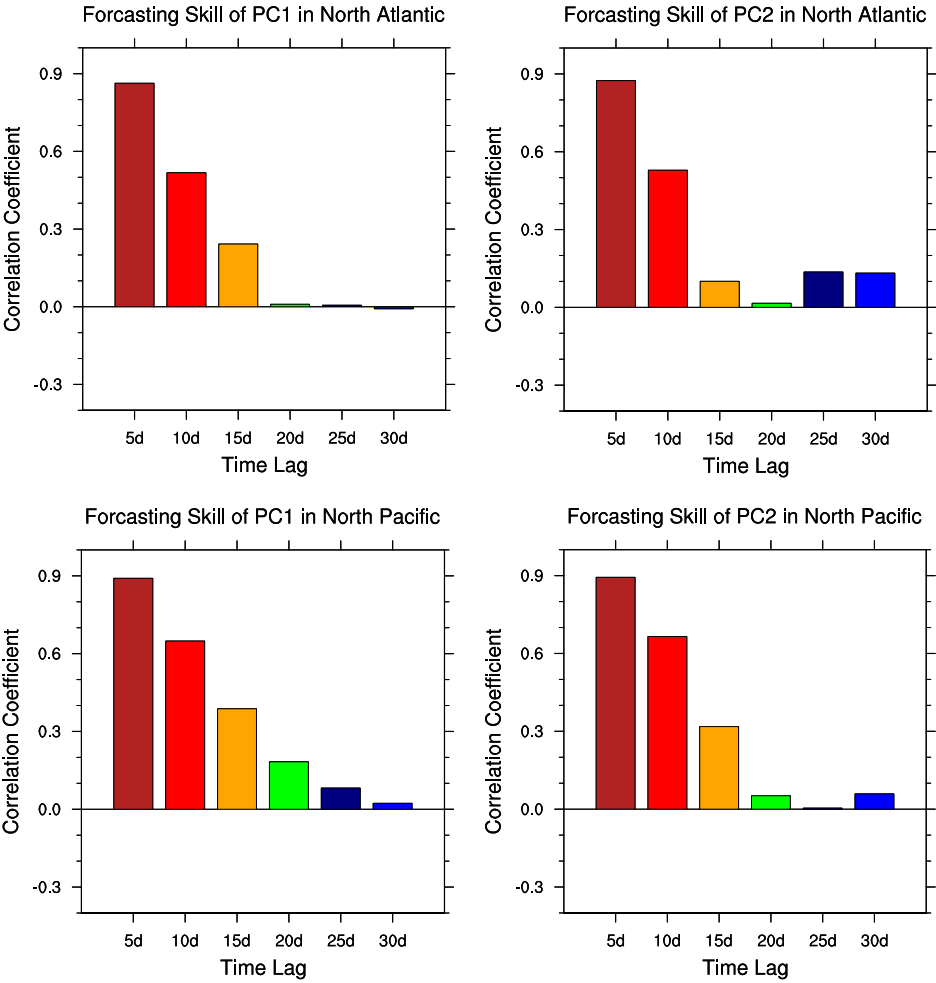


图 4.7 前两个冬季 ATL_ISV 和 PAC_ISV 主模态的预报技巧评分。

5 总结

本次报告依据 WMO 推荐中国气象局业务标准，分别使用确定性预报评估方法，如空间相似系数（ACC）、时间相关系数（TCC）、平均误差方差（MSSS）等确定性评估方法，和相对操作特征（ROC）、可靠性图表（RD）、Brier 技巧评分（BSS）等概率预报评估方法，对 BCC_CSM1.2 次季节-季节尺度的主要气象要素气温（T2m）、降水（Prec）和大气环流 500hPa 位势高度（Z500）的模式历史回报结果进行了综合检验评估。而且，进一步对全球

和我国气候具有高影响力的次季节尺度气候现象，即热带大气季节内振荡（MJO）、北半球夏季季节内振荡（BSISO）、北极涛动（AO）以及冬季中高纬大气季节内变率主模态（北大西洋 ATL_ISV 和北太平洋 PAC_ISV）的预报技巧进行了综合检验评估，从而全面地考察了该模式的 S2S 预报性能并探讨了 S2S 可预报性来源，从而为预报业务会商和气候模式改进提供参考。主要得到以下结论：

1) BCC_CSM1.2 模式 1994-2013 年的气候态在某些地区存在系统性的漂移，如在欧亚大陆中高纬度东部地区冬（夏）季气温偏低（高），我国大部分地区气温偏高，热带西太平洋暖池和 SPCZ 地区（热带东印度洋和海洋大陆地区）降水偏多（少）。

2) 对要素确定性预报技巧评估表现出很多通性，如对 500hPa 高度场预报技巧最高，2m 气温场的预报技巧次之，但高于降水预报技巧；模式对热带地区的预报性能好于热带外；确定性预报技巧评估（ACC、TCC、MSSS）表明，模式的预报技巧对初值非常敏感，随着 lead time 的延长模式预报性能迅速下降。

3) 概率预报技巧评估（ROC、RD、BSS）表明，模式同样对负异常事件（BN）的预报可靠性高于正异常事件（AN），且二者均优于接近常值事件（NN）的预报效果。模式高预报可靠性的空间分布与确定性预报相近，热带地区的预报性能好于热带外。较高的概率预报技巧表明模式具有相对较多的样本能够准确判断出各个变量场的高/低值事件出现与否。

4) 具体到东亚地区而言，模式对东亚和西北太平洋地区的 500hPa 位势高度场预报优于其他北半球热带外地区，但对降水和温度的预报技巧要低于其他地区，同时预报性能的年际变化很大，对我国东部的降水和气温预报技巧较高，对我国西部预报技巧明显偏低。

5) 对 MJO、BSISO 和 AO 指数的预报技巧检验表明，模式对 MJO 的整体预报技巧约为 16 天，在秋季可超过 21 天，冬季次之为 17 天，春季和夏季的技巧较低；模式对 BSISO1 指数的预报技巧整体高于 BSISO2 指数，两个指数的预报技巧分别为 10 天和 7 天；超前 11 天起报时的 AO 相关系数技巧仍大于 0.5。

6) 实现对冬季 ATL_ISV 和 PAC_ISV 预报技巧的综合检验评估，结果表明，该模式对前两个 PAC_ISV 模态的预报技巧（提前 3 候 ACC 仍可超过 0.3）明显高于前两个 ATL_ISV（第三候预报 ACC 降到了约 0.2 和 0.1），显示出该模式对中高纬 ISV 具有一定预报能力。

本次报告针对气候态、确定性预报和概率预报对不同季节的温度、降水和环流要素次季节预报结果进行了检验，也评估了基于 BCC_CSM1.2 次季节-季节预测模式信息的 MJO、BSISO 和 AO 以及中高纬冬季 ISV 等气候现象的预报技巧，为预报员提供参考依据。

参考文献

- Lee J Y, Wang B, Wheeler M C, et al. 2013. Real-time multivariate indices for the boreal summer intraseasonal oscillation over the Asian summer monsoon region. *Clim Dyn*, doi:10.1007/s00382-012-1544-4.
- 任宏利, 吴捷, 赵崇博, 刘颖, 贾小龙, 张培群. MJO 预报研究进展. *应用气象学报*, 2015, 26(6): 658-668.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. *J Climate*, 13: 1000-1016.
- Wang B, Li J Y, Kang I S, et al. 2009. Advance and prospectus of seasonal prediction: assessment of the APCC/ClipAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980-2004). *Clim Dyn*, 33: 93-117.
- WMO. 1999. Abridged final report with resolutions and recommendations. Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland, No.896: 154-157.
- WMO. 2006. Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF): New attachment II-8 to the manual on the GDPFS (WMO-No. 485), Volume I.
- Wheeler, M., Hendon, H., 2004. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Weather.Rev.* 132, 1917-1932.
- Wu, J., H.-L. Ren, J. Q. Zuo, et al., 2016: MJO prediction skill, predictability, and teleconnection impacts in the Beijing Climate Center Atmospheric General Circulation Model. *Dyn. Atmos. Oceans*, **75**, 78-90.
- Zhao C. B., T. J. Zhou, L. C. Song, H.-L. Ren, 2014: The boreal summer intraseasonal oscillation simulated by four Chinese AGCMs participating in CMIP5 project. *Adv. Atmos. Sci.*, **31**, 1167-1180.
- Zhao, C. B., H.-L. Ren, L. C. Song, J. Wu, et al., 2015: Madden-Julian oscillation simulated in BCC climate models. *Dyn. Atmos. Oceans*, **72**, 88-101.
- Zuo, J. Q., H.-L. Ren, J. Wu, Y. Nie, et al., 2016: Subseasonal variability and predictability of the Arctic Oscillation/North Atlantic Oscillation in BCC_AGCM2.2. *Dyn. Atmos. Oceans*, **75**, 33-45.