

# 全球平均气温未来情景的降尺度分析

范泽孟<sup>1</sup>, 岳天祥<sup>1</sup>, 陈传法<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 山东科技大学测绘科学与工程学院, 青岛 266510)

**摘要:**如何提高全球气候模拟数据的分辨率,以满足全球、区域乃至局地陆地生态系统全球变化响应的定量分析,是当今全球气候变化研究的核心内容之一。在全球尺度上,本文利用全球气象观测站点的气候数据和DEM数据,对全球年平均气温与纬度和海拔高程之间相关性进行回归分析,建立全球气候降尺度空间模拟的统计转移函数,并与高精度曲面建模(HASM)方法进行集成,从而实现IPCC GCM HadCM3的模拟数据从 $3.75^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 到 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 的降尺度处理。研究结果表明,在3种气候情景的T1-T4时段内,格陵兰岛平均气温在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的区域和南极洲平均气温在 $-35^{\circ}\text{C}$ 以下的区域均呈逐渐缩减趋势,赤道至南北回归线之间的平均气温大于 $40^{\circ}\text{C}$ 以上的区域呈逐渐增加趋势。其中,A1Fi情景的平均气温上升速度最快,A2情景次之,B2情景的平均气温上升速度最慢。构建降尺度方法有效地将IPCC GCMs的粗分辨率的气候情景数据降尺度转换成高分辨率的气候数据,并克服和弥补了目前IPCC GCMs的模拟数据因分辨率低而不能对区域乃至局地气候变化的细节及趋势进行刻画缺陷。

**关键词:**全球平均气温;未来情景;降尺度;HASM方法

## 1 引言

随着全球变化研究的逐渐深入,陆地生态系统结构及其服务功能未来情景研究对气候要素空间分辨率的要求越来越高。如何利用各种全球气候模式(Global Climate Models, GCMs)模拟的气候数据对陆地生态系统的分布模式进行定量化分析,已经逐渐成为评估全球气候变化对陆地生态系统影响的核心内容<sup>[1-2]</sup>。在各种自然和人文因子的共同作用下,陆地生态系统在不断响应气候变化模式的同时,其结构及格局的变化也在不断地改变各种气候因子分布状况。因此,准确地预测气候变化及未来情景对生态系统的可能影响已经成为“国际地圈-生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)”的主要研究目标<sup>[3-4]</sup>,而如何提高气候要素的空间分辨率则是实现这一研究目标的关键。

近年来,国内外有关IPCC全球气候模式数据应用的大量研究表明<sup>[5-13]</sup>,虽然GCMs的模拟数据能

在全球尺度上对气候的未来情景进行宏观预测分析,但由于空间分辨率低,不能模拟和反映小尺度上的细致结构变化,很难用于区域尺度上的各种生态系统的气候响应模拟。为了解决GCMs的模拟缺陷,提高在局部尺度和区域尺度上的模拟精度,相继发展了大量的动力学降尺度方法和统计学降尺度方法<sup>[14-16]</sup>。譬如,Jones等在GCM模拟结果的驱动下,运用单通道嵌套方法发展了能够模拟50 km分辨率的区域气候模式<sup>[17]</sup>;Xue等利用横向嵌套方法,在不同尺度上对GCM模拟的气候信息进行修正和补充<sup>[12]</sup>;Grotch和MacCracke在拓展GCM模拟数据适用空间尺度的过程中,运用不同的计算模型对气温与降水的变化范围进行模拟<sup>[18]</sup>;Zorita和von Storch研究表明,通常情况下,利用观测数据建立的统计模型对粗分辨率的GCMs数据进行综合分析,近而模拟的局部尺度信息可以作为统计降尺度方法的参考<sup>[19]</sup>。统计降尺度的基本思想是通过观测大尺度和区域尺度气候变量之间的关系,建立起GCM模拟结果到区域尺度和局部尺度之间的映

收稿日期:2011-10; 修订日期:2012-02.

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(40801150);国家杰出青年科学基金项目(40825003);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB421105, 2010CB950904);资源与环境信息系统国家重点实验室青年人才培养基金项目。

作者简介:范泽孟(1977-),男,云南镇雄人,副研究员,研究方向为气候变化与生态系统响应、生态模型与系统模拟。

E-mail: fanzm@lreis.ac.cn

射关系。由于该方法具有易实现性和有效性特征,目前已被广泛用于建立大尺度和区域尺度之间的联系<sup>[20]</sup>。但是,目前在建立统计降尺度方法的基础上,还是主要运用传统的反距离加权模型(IDW)、三角网模型(TIN)、克里根模型(Kriging)和样条插值模型(Spline)等。这些传统方法在插值过程中存在以下缺陷:IDW方法忽视了空间结构信息和领域以外的信息联系,TIN方法丢弃非线性信息和空间结构信息,Kriging方法丢弃非线性信息和非随机规律,而Spline方法将所有曲面近似的用一系列曲线进行连续的拼凑模拟,只适用于很有限的一部分特殊曲面<sup>[21-22]</sup>。而基于微分几何学曲面理论发展的高精度曲面建模(HASM, High Accuracy Surface Modeling)方法的模拟精度,虽然相对于以上传统方法有大幅度的提高<sup>[23-24]</sup>,但缺乏对经纬度、高程等与平均气温空间分布密切相关的辅助因子进行综合考虑。

因此,本文旨在针对以上研究问题和方法缺陷,在完成全国平均气温和降水的变化趋势及未来情景模拟<sup>[25]</sup>的基础上,基于全球气象观测站点长期观测的气温数据、各站点的经纬度数据及全球1 km × 1 km的DEM数据,在对其空间统计分析的基础上,建立全球南北半球的平均气温降尺度模型,并与HASM方法进行集成,从而实现粗分辨率IPCC HadCM3模拟的气候情景数据的高空间分辨率的降尺度分析。

2 模型与方法

2.1 基础数据的采集与处理

采用的气候变化观测数据包括1964-2009年全球的2783个气象台站观测的月气候数据(Monly Climate Data for the World, MCDW)和中国752个气象观测台站的月气候数据。其中,MCDW数据是美国国家海洋与大气管理委员会(NOAA)联合世界气象组织(WMO)共同发布的全球月气候观测数据。气候未来情景模拟点数据分别为GCM Had-CM3 A1Fi、A2和B2三种情景的T1、T2、T3和T4时段的全球每月气候数据(<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>),数据的分辨率为3.75°(经度)×2.50°(纬度),栅格个数为96×73=7008。全球1 km×1 km的DEM数据来自于<http://srtm.csi.cgiar.org>。利用重采样方法将空间分辨率为1 km×1 km的DEM数据重采样后形成0.125°×0.125°空间分辨率的DEM数据,并与全球气象观测站点经纬度信息进行叠加,获得全球2783个气象台站在0.125°×0.125°空间分辨率DEM上的空间分布(图1)。

2.2 降尺度方法的集成

根据全球1964-2009年2783个气象站点的平均气温、站点经纬度和高程,对全球平均气温与海拔高程和纬度的相关关系进行回归分析。统计分析结果显示,以赤道线为界,北半球和南半球的年

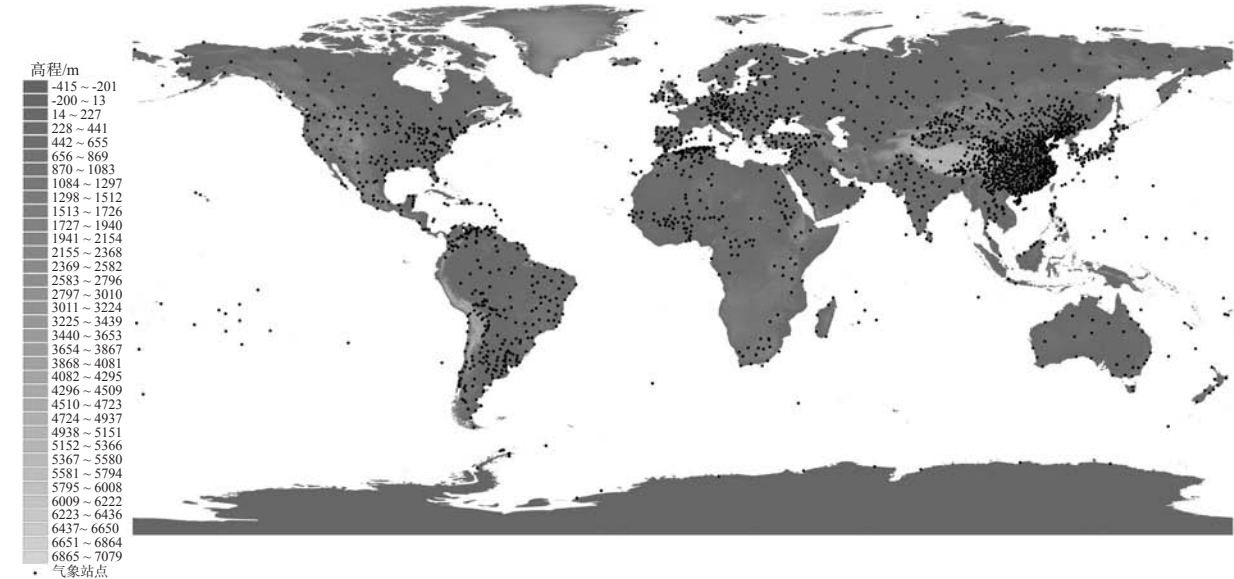


图1 全球DEM和2783个气象站点的空间分布

Fig.1 Global DEM and spatial distribution of 2783 meteorological stations

均温度均各自与纬度和台站海拔高程之间存在显著相关,模拟结果显示,北半球(纬度 $\geq 0^\circ$ )和南半球(纬度 $< 0^\circ$ )的年平均气温与纬度和海拔高程的复相关系数分别为0.955、0.958,其回归方程如下:

$$T_N = 39.147 + 0.725L_N - 0.004E_N \tag{1}$$

$$T_S = 31.514 + 0.414L_S - 0.004E_S \tag{2}$$

式中:  $T_N$ 、 $L_N$  和  $E_N$  分别代表北半球的平均气温( $^\circ\text{C}$ )、纬度( $^\circ$ )和海拔高程(m);  $T_S$ 、 $L_S$  和  $E_S$  分别代表南半球的平均气温( $^\circ\text{C}$ )、纬度( $^\circ$ )和海拔高程(m)。在经纬度分辨率为 $3.75^\circ$ 和 $2.5^\circ$ 的HadCM3 A1Fi、A2和B2情景模拟的气候点数据共有7008个,南北半球各分布3504个情景模拟点数据。北半球的情景模拟点数据顺序为1, 2, ..., 3504, 而南半球的情景模拟点数据则为3505, 3506, ..., 7008。北半球和南半球年平均气温转移函数可表征为如下方程:

$$T'_{N.i_0}(x,y,t) = T_{N.i_0}(x,y,t) + 0.725L_{N.i_0}(x,y) + 0.004E_{N.i_0}(x,y) \tag{3}$$

$$T'_{S.j_0}(x,y,t) = T_{S.j_0}(x,y,t) - 0.414L_{S.j_0}(x,y) + 0.004E_{S.j_0}(x,y) \tag{4}$$

式中:  $T'_{N.i_0}(x,y,t)$ 、 $T_{N.i_0}(x,y,t)$ 、 $L_{N.i_0}(x,y)$  和  $E_{N.i_0}(x,y)$  分别代表A1Fi、A2和B2三种气候情景在北半球的第 $i$  ( $=1, 2, 3, \dots, 3504$ )个数值点的平均气温的预处理值、平均气温的初始值、纬度值和高程值;  $T'_{S.j_0}(x,y,t)$ 、 $T_{S.j_0}(x,y,t)$ 、 $L_{S.j_0}(x,y)$  和  $E_{S.j_0}(x,y)$  分别代表A1Fi、A2和B2三种气候情景在南半球的第 $j$  ( $=3504, 3505, 3506, \dots, 7008$ )个数值点的平均气温的预处理值、平均气温的初始值、纬度值和高程值。

将北半球和南半球平均气温统计降尺度转移函数与HASM方法进行集成,从而获得全球平均气温的高精度降尺度方法。在分别利用公式(3)和公式(4)对北半球和南半球未来情景的平均气温数据进行预处理并分别获得  $T'_{N.i_0}(x,y,t)$  和  $T'_{S.j_0}(x,y,t)$  的基础上,运行HASM方法,分别将北半球和南半球的年平均气温降尺度处理成分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的空间数据  $T'_{N.f}(x,y,t)$  和  $T'_{S.g}(x,y,t)$ , 其中,

$f=1, 2, \dots, 2077201$ ,  $g=1, 2, \dots, 2074320$ 。根据降尺度获得  $T'_{N.f}(x,y,t)$  和  $T'_{S.g}(x,y,t)$ , 可分别建立北半球(纬度 $\geq 0^\circ$ )和南半球(纬度 $< 0^\circ$ )平均生物温度的修正公式:

$$T'_{N.f}(x,y,t) = T'_{N.f}(x,y,t) - 0.725L_{N.f}(x,y) - 0.004E_{N.f}(x,y) \tag{5}$$

$$T'_{S.g}(x,y,t) = T'_{S.g}(x,y,t) - 0.414L_{S.g}(x,y) - 0.004E_{S.g}(x,y) \tag{6}$$

$$T_{Global}(x,y,t) = T'_{N.f}(x,y,t) \cup T'_{S.g}(x,y,t) \tag{7}$$

式中:  $T'_{N.f}(x,y,t)$ 、 $L_{N.f}(x,y)$  和  $E_{S.g}(x,y)$  分别为北半球第 $f$ 个栅格单元的年平均气温、纬度和DEM高程值;  $T'_{S.g}(x,y,t)$ 、 $L_{S.g}(x,y)$  和  $E_{S.g}(x,y)$  分别为南半球第 $g$ 个栅格单元的年平均生物温度、纬度和DEM高程值;  $T_{Global}(x,y,t)$  为的 $1441 \times 2881$ 个栅格的每一个栅格单元的年平均气温。在对南北半球的模拟结果分别利用公式(5)和(6)进行修正,并利用公式(7)进行合并的基础上,最终获得各种情景每一时段的分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的全球平均生物温度的ASCII码数据,从而实现全球平均气温未来情景模拟数据的高精度降尺度处理。

3 模拟结果分析

3.1 精度验证与对比分析

在对插值结果的精度进行验证的过程中,分别随机抽取HadCM3 A1Fi、A2和B2三种情景的气候点数据(7008个)的1%(约70个)作为验证点,另外

表1 不同方法对全球平均气温的插值精度对比分析  
Tab.1 The comparison of simulation accuracy to global mean temperature by different methods

情景	插值误差/ $^\circ\text{C}$			
	HASM	IDW	Spline	Kriging
A1Fi	0.4676	0.7083	0.6314	0.6482
A2	0.4731	0.7055	0.6430	0.6527
B2	0.4754	0.7074	0.6429	0.6549

表2 全球平均气温的未来情景  
Tab.2 Scenarios of global mean annual temperature

情景	气候要素	T1	差值	T2	差值	T3	差值	T4
A1Fi	平均气温/ $^\circ\text{C}$	3.2494	1.5246	4.7740	1.9676	6.7416	2.3221	9.0637
A2	平均气温/ $^\circ\text{C}$	3.3297	1.3278	4.6575	1.4966	6.1541	1.9106	8.0647
B2	平均气温/ $^\circ\text{C}$	3.3152	1.5470	4.8622	0.8922	5.7544	1.2367	6.9911



99%(6983 个)点数据作为插值数据,并分别运用HASM、IDW、Spline 和 Kriging 方法进行空间插值。在对插值结果的精度进行统计分析获得表1。

从表1可看出,运用HASM方法进行空间插值的平均气温误差均低于其他方法的误差。所有插值方法中IDW方法的误差最大。在对多种方法进

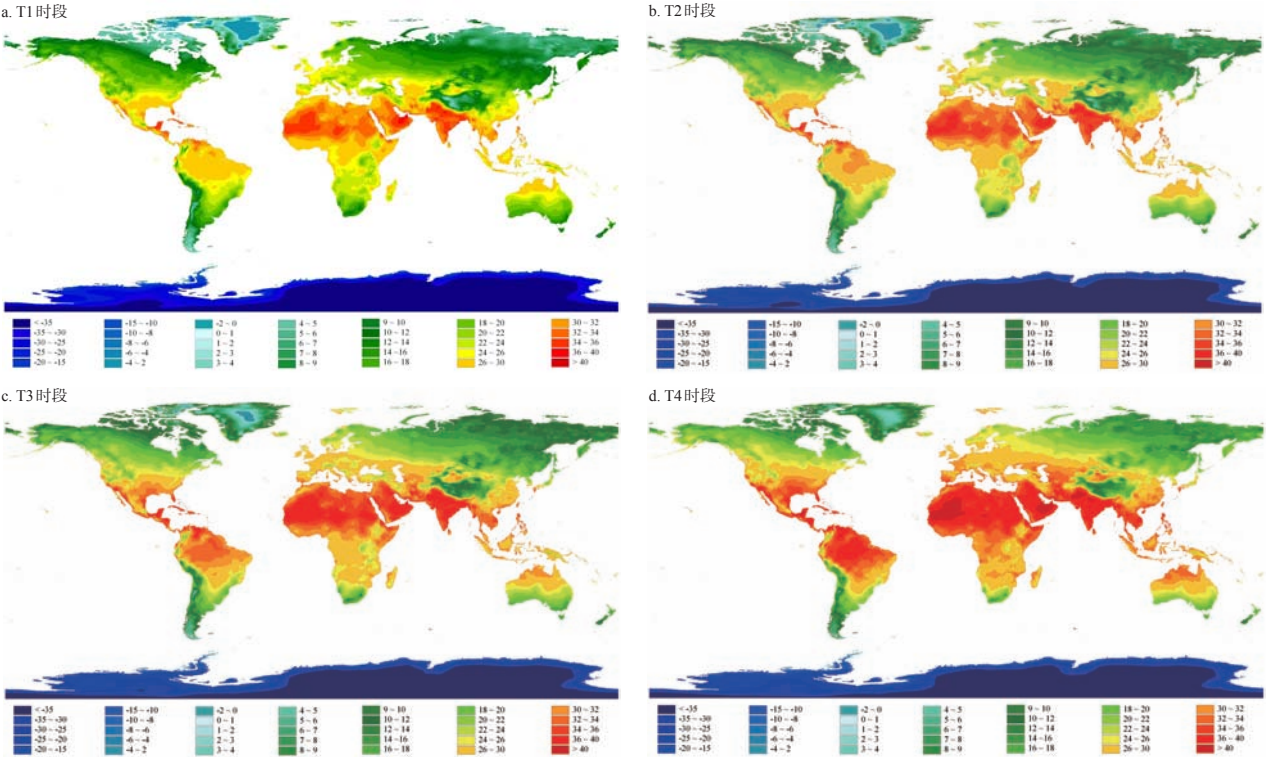


图2 A1Fi情景下T1-T4时段的全球平均气温空间分布

Fig.2 The distribution of global mean annual temperature under scenario A1Fi from T1 to T4

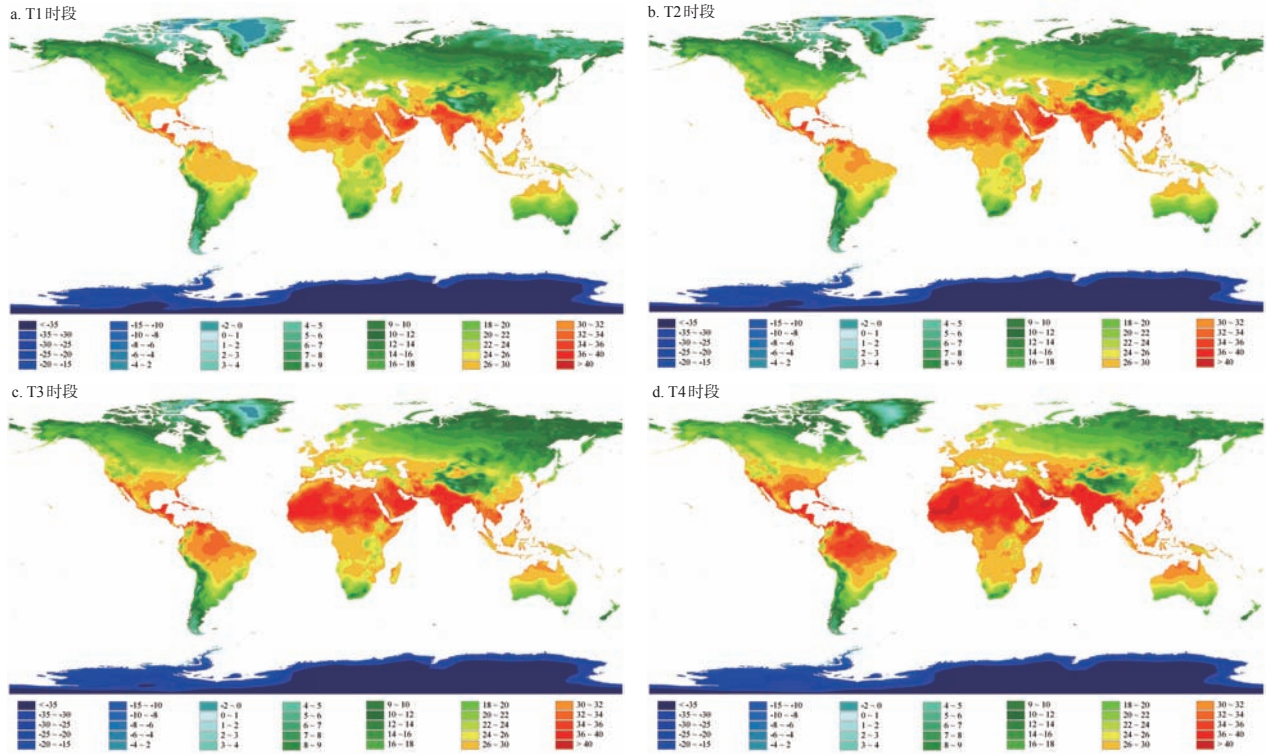


图3 A2情景下T1-T4时段的全球平均气温空间分布

Fig.3 The distribution of global mean annual temperature under scenario A2 from T1 to T4

行精度对比验证并确定 HASM 方法空间插值精度优势的基础上,利用文中建立的全球平均气温降尺度模型与 HASM 方法集成,并利用 Arc/Info 的空间分析和制图功能,分别获得如表 2 和图 2~5 所示的 A1Fi、A2 和 B2 三种情景 T1(1961-1990)、T2

(2010-2039)、T3(2040-2069) 和 T4(2070-2099) 时段平均气温时空变化趋势。

3.2 A1Fi 情景平均气温的时空变化

在 HadCM3 A1Fi 情景下,全球平均气温在未来 T1-T4 时段内呈加速上升趋势。其中,在 T1-T2 时

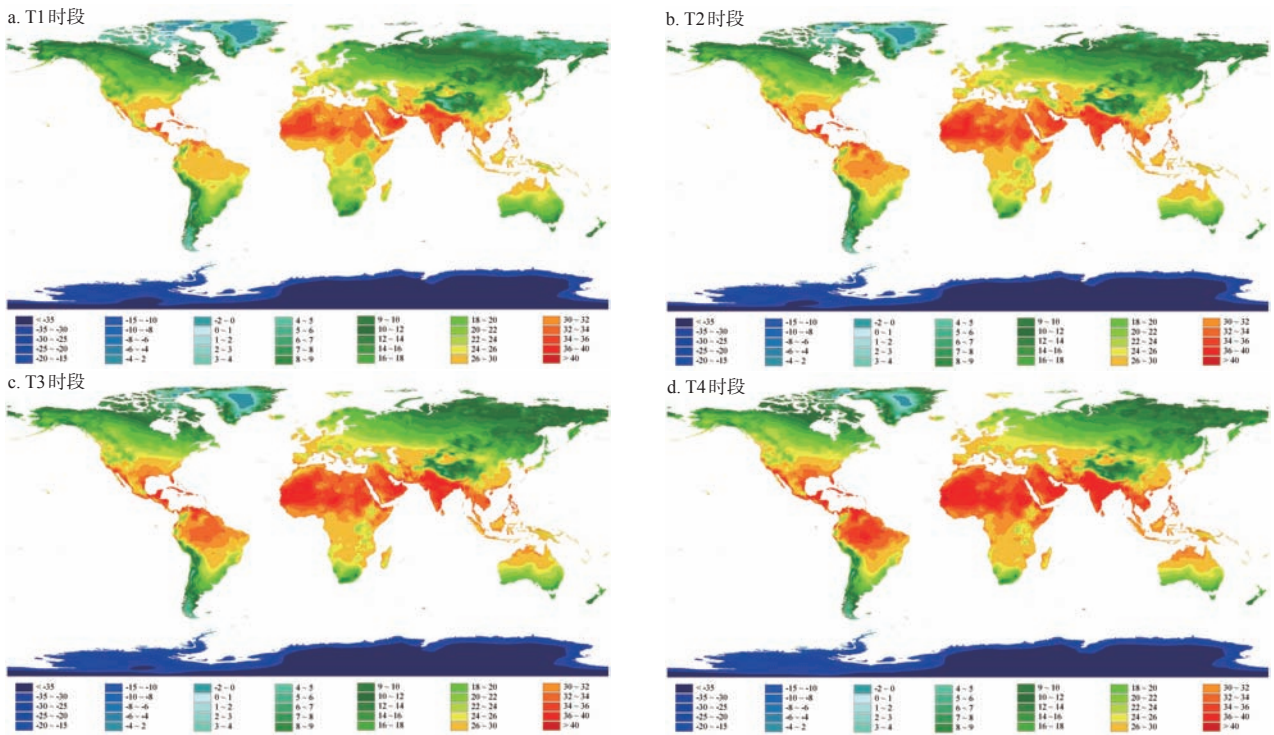


图 4 B2 情景下 T1-T4 时段的全球平均气温空间分布

Fig.4 The distribution of global mean annual temperature under scenario B2 from T1 to T4

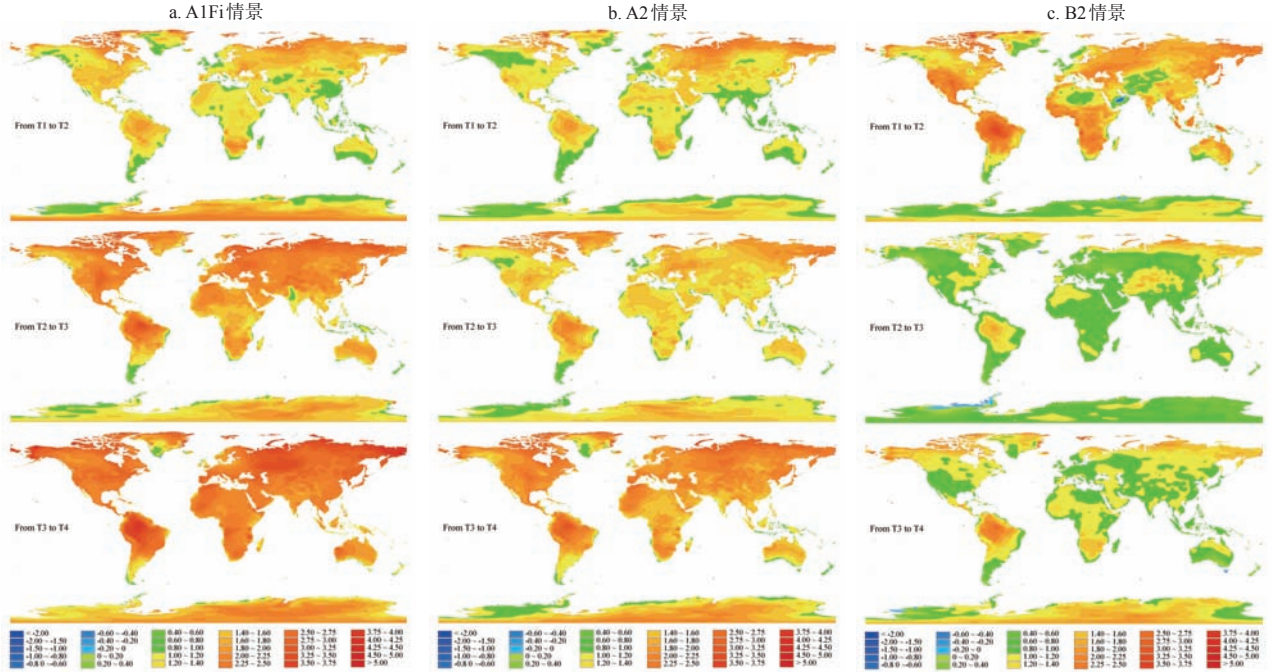


图 5 A1Fi, A2 和 B2 情景下全球平均气温变化趋势

Fig.5 The changes of global mean annual temperature under scenario A1Fi (a), A2 (b) and B2 (c)



段上升 $1.5246^{\circ}\text{C}$ 、T2-T3时段上升 $1.9676^{\circ}\text{C}$ 、T3-T4时段上升 $2.3221^{\circ}\text{C}$ 。从HadCM3 A1Fi情景的平均气温的空间变化趋势来看:①在T1-T2时段,东南亚、澳大利亚南部、南极洲外缘,非洲大陆外缘、南美洲南部及外缘区域、格陵兰岛西南部、北美洲西北部外缘区域增温幅度在 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ ,呈小幅度增温。亚洲中南部及西部、澳大利亚北部、非洲中北部、南美洲中南部和北美洲西北部增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。欧亚大陆北部、北美洲北部、南美洲中北部、非洲南部、南极洲内陆等区域增温幅度最大,其增温幅度在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上;②在T2-T3时段,仅有印度尼西亚南部与澳大利亚北部的岛屿区域、印度北部、非洲南部边缘区、南美洲南部及其东部边缘区、南极洲外缘区等增温幅度为 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ ,南极洲大部分区域、印度南部等区域的增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ,其余全球大部分地区增温幅度均在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。③在T3-T4时段,除格陵兰岛西南部、欧洲西北部、南美洲西南部沿海、澳大利亚南部沿海、非洲西部沿海、南极洲外缘等的局部地区增温幅度为 $1^{\circ}\text{C}$ 以下,南极洲外缘、格陵兰岛中西南部、南美洲东南部、欧洲西北部等区域增温幅度在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 以外,其余全球绝大部分地区增温幅度均在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。

### 3.3 A2情景平均气温的时空变化

在HadCM3 A2情景下,全球平均气温在未来T1-T4四个时段内仍然呈加速上升趋势,而且上升速度高于A1Fi情景。其中,在T1-T2时段上升 $1.3278^{\circ}\text{C}$ 、T2-T3时段上升 $1.4966^{\circ}\text{C}$ 、T3-T4时段上升 $1.9106^{\circ}\text{C}$ 。从HadCM3 A2情景的平均气温的空间变化趋势来看:①在T1-T2时段,南亚、澳大利亚南部及其沿海区域、南极洲外缘,非洲大陆外缘、南美洲南部及外缘区域、格陵兰岛东南部、北美洲西北部区域增温幅度最小,为 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 。亚洲中、澳大利亚中北部、非洲中北部、南美洲中、北美洲中南部、及南极洲等区域的增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。欧亚大陆北部、北美洲北部、南美洲中北部、非洲南部等区域的增温幅度最大,在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上;②在T2-T3时段,印度尼西亚南部与澳大利亚北部的岛屿区域、非洲沿海区、南美洲南部及其东部边缘区、北美洲西部、欧洲西部、南极洲外缘等区域增温幅度为 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ ,中南亚地区、非洲大部区域、澳大利亚、北美洲中西部、南极洲等区域的大部分地区增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。其余的亚洲东北部、欧洲中东部、北美洲北部、南美洲北部等区域的局部地区增温幅度在 $2^{\circ}\text{C}$

以上;③在T3-T4时段,除格陵兰岛西南部、南美洲西南部沿海、澳大利亚北部岛屿及南部沿海、非洲西南沿海、南极洲外缘等的局部地区增温幅度为 $1^{\circ}\text{C}$ 以下,南极洲中部、格陵兰岛中西南部、南美洲东南部、欧洲西北部等区域的局部区域增温幅度在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 以外,其余全球绝大部分地区增温幅度均在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。

### 3.4 B2情景平均气温的时空变化

在HadCM3 B2情景下,全球平均气温在未来T1-T4四个时段内呈减速上升趋势,其中,在T1-T2时段上升 $1.5470^{\circ}\text{C}$ 、T2-T3时段上升 $0.8922^{\circ}\text{C}$ 、T3-T4时段上升 $1.2367^{\circ}\text{C}$ 。从HadCM3 B2情景的平均气温的空间变化趋势来看:①在T1-T2时段,除沙特阿拉伯等极小区域内气温呈减少趋势外,全球绝大部分区域均呈增温趋势。其中,亚洲西部、非洲北部内陆区、欧洲西部、格陵兰岛东南部、北美洲西部局部、南美洲南部和澳大利亚南部沿海等部分地区的增温幅度在 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 之间,在增温幅度为 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 的边缘区域的增温幅度 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ,其余的全球大部分地区的增温幅度均在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上;②在T2-T3时段,除冰岛、亚历山大岛及其周边岛屿的局部呈降温趋势外,其余全球的平均气温均呈上升趋势。北美洲西部及东南沿海、格陵兰岛南部、南美洲南部及北部沿海、非洲中南部、欧洲南部及其东部、亚洲中部及其东南部、澳大利亚大部、南极洲大部的增温幅度为 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 。南美洲内陆、北美洲东北部、非洲北部、亚洲北部及西部、澳大利亚东部和西部的部分地区增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ;③在T3-T4时段,除塔斯马利亚岛和南极洲的玛丽·伯德地等极小地区平均气温呈小幅度下降外,其余全球平均气温均呈上升趋势。其中,南美洲南部及东部沿海、北美洲西南部、格陵兰岛西南部、非洲北部、非洲沿海、地中海周边区域、欧洲西南部、欧洲东部、亚洲中南部的部分地区、印度尼西亚、澳大利亚南部、南极洲外缘等区域的增温幅度在 $1^{\circ}\text{C}$ 以下。南美洲中部、北美洲中东部、非洲内陆、亚洲中北内陆、澳大利亚北部、南极洲大部等地区的平均气温增温幅度为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。仅有南美洲北部、北美洲北部、格陵兰岛东部及维多利亚岛等局部的平均气温增温幅度达到 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。

### 3.5 三种情景的对比分析

模拟结果显示,IPCC HadCM3的A1Fi、A2和B2三种情景的全球未来平均气温呈持续上升趋势。对3种情景的各个时段的平均气温空间分布

图及表进行分析,可以发现:①3种情景从T1-T4时段变化最为明显的是格陵兰岛平均气温在0℃和南极洲平均气温在-35℃以下的区域逐渐缩减,而赤道至南北回归线之间的平均气温大于40℃以上的区域在逐渐增加;②基于A2情景数据的初始(T1)时段模拟的年平均气温最高,其次是基于B2情景数据的初始(T1)时段的模拟结果,而基于A1Fi情景数据的初始(T1)时段的模拟结果的平均气温最低;③在T1-T4时段内,基于A1Fi情景数据模拟的年平均气温的增加速度最快,基于A2情景数据模拟的年平均气温的增加速度其次,而基于B2情景数据模拟的年平均气温的增加速度最慢;④到T4时段时,基于B2情景数据模拟的年平均气温为最低。

## 4 结论与讨论

如何提高全球气候模拟数据的分辨率,以满足更加精细的全球植被动态模拟、区域乃至局地的陆地生态系统格局及其服务功能的模拟和综合评估,是全球气候变化研究亟须解决的科学问题。本文在全球尺度上,通过利用全球气象观测站点的气候数据和DEM数据,对全球年平均气温与纬度和海拔高程之间进行统计回归分析,建立了全球气候降尺度空间模拟的统计转移函数,并与HASM方法进行综合集成,实现了IPCC GCM HadCM3的模拟数据从 $3.75^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 到 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 的降尺度处理。

对HadCM3的A1Fi、A2和B2进行降尺度的时空分析结果表明,在3种气候情景的T1-T4时段内,格陵兰岛平均气温在0℃以下的区域和南极洲平均气温在-35℃以下的区域均呈逐渐缩减趋势,而赤道至南北回归线之间的平均气温大于40℃以上的区域在逐渐增加。其中,A1Fi情景的平均气温上升速度最快,A2情景次之,B2情景的平均气温上升速度最慢。另外,在3种气候情景下的未来两个10年的全球平均变暖速度和最近10年的比较接近,而在21世纪中期以前的HadCM3的A1Fi和A2情景的全球变暖趋势明显高于HadCM3的B2情景,这与Johns等的模拟结果具有很好的一致性<sup>[26]</sup>。

研究结果一方面表明,在运用HASM方法对全球平均气温进行降尺度处理的过程中,考虑纬度和高程等地形要素的影响,将会使得模拟结果更加接近实际分布状况。另一方面表明,本文利用纬度和海拔高程信息作为辅助变量,建立全球气候观测站点数据的降尺度处理的转移函数,通过与HASM方

法进行集成,可以有效地将IPCC GCM的粗分辨率的气候情景数据降尺度转换成高分辨率的气候数据,从而克服和弥补目前IPCC GCMs的模拟数据因分辨率粗而不能对区域乃至局地气候变化的细节及趋势进行刻画的缺陷。

## 参考文献

- [1] Rosenrweig C, Parry M L. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 1994, 367: 133-138.
- [2] Zhou G S, Wang Y H. Global change and climate-vegetation classification. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(7): 577-585.
- [3] Wood Jr F B. The need for system research on global climate change. *System Research*, 1988, 5(3): 225-240.
- [4] 周广胜, 王玉辉. 全球变化与气候—植被分类研究和展望. *科学通报*, 1999, 44(24): 2587-2593.
- [5] Forster P M, Taylor K E. Climate forcing and climate sensitivities diagnosed from coupled climate model integrations. *Journal of Climate*, 2006, 19(23): 6181-6194.
- [6] Walsh J E, Chapman W L, Romanovsky V, et al. Global climate model performance over Alaska and Greenland. *Journal of Climate*, 2008, 21(23): 6156-6174.
- [7] Koutsoyiannis D, Efstratiadis A. On the credibility of climate predictions. *Hydrological Sciences*, 2008, 53(4): 671-684.
- [8] 许崇海, 沈新勇, 徐影. IPCC-AR4模式对东亚地区气候模拟能力的分析. *气候变化研究进展*, 2007, 3(5): 287-292.
- [9] 孙颖, 丁一汇. IPCC-AR4气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估. *气象学报*, 2008, 66(5): 755-780.
- [10] 江志红, 陈威霖, 宋洁, 等. 7个IPCC-AR4模式对中国地区极端降水指数模拟能力的评估及其未来情景预估. *大气科学*, 2009, 33(1): 109-120.
- [11] 顾问, 陈葆德, 杨玉华, 等. IPCC-AR4全球气候模式在华东区域气候变化的预估能力评价与不确定性分析. *地理科学进展*, 2010, 29(7): 818-826.
- [12] Xue Y K, Vasic R, Janjic Z, et al. Assessment of dynamic downscaling of the continental U.S. regional climate using the Eta/SSiB regional climate model. *Journal of Climate*, 2007, 20(16): 4172-4193.
- [13] Akinyemi F O, Adejuwon J O. A GIS-based procedure for downscaling climate data for west Africa. *Transactions in GIS*, 2008, 12(5): 613-631.
- [14] Charles S P, Bates B C, Whetton P H, et al. Validation of downscaling models 384 for changed climate conditions: case study of southwestern Australia. *Climate Research*,

- 1999, 385(12): 1-14.
- [15] Ashiq M W, Zhao C Y, Ni J, et al. GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain-plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 99(3-4): 239-253.
- [16] Dickinson R E, Errico R M, Giorgi F, et al. A regional climate model for the western U.S. *Climatic Change*, 1989, 15(3): 383-422.
- [17] Jones P D, Murphy J M, Noguer M. Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model, I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1995, 121(526): 1413-1449.
- [18] Grotch S L, MacCracken M C. The use of general circulation models to predict regional climate change. *Journal of Climate*, 1991, 4(3): 286-303.
- [19] Zorita E, von Storch H. The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *Journal of Climate*, 1999, 12: 2474-2489.
- [20] Brown B G, Katz R W. Regional analysis of temperature extremes: Spatial analog for climate change. *Journal of Climate*, 1995, 8(1): 108-119.
- [21] 岳天祥, 杜正平. 高精度曲面建模与经典模型的误差比较分析. *自然科学进展*, 2007, 16(8): 986-991.
- [22] Yue T X, Du Z P, Song D J, et al. A new method of surface modeling and its application to DEM construction. *Geomorphology*, 2007, 91(1-2): 161-172.
- [23] YUE T X. *Surface Modeling: High Accuracy and High Speed Methods*. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [24] 范泽孟, 岳天祥, 宋印军. 基于 YUE-HASM 方法的气温与降水时空变化趋势. *地理研究*, 2009, 28(3): 643-652.
- [25] 范泽孟, 岳天祥, 陈传法, 等. 中国气温与降水的时空变化趋势分析. *地球信息科学学报*, 2011, 138(4): 526-533.
- [26] Johns T C, Gregory J M, Ingram W J, et al. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate Dynamics*, 2003, 20(6): 583-612.

## Downscaling of Global Mean Annual Temperature under Different Scenairos

FAN Zemeng<sup>1</sup>, YUE Tanxiang<sup>1</sup>, CHEN Chuanfa<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** One of the key issues of global change research is how to improve the simulated data resolution of Global Climate Models (GCMs) for the quantitative analysis of terrestrial ecosystems in response to the climate change at global, regional and local levels. In this paper, the statistcial transfer funcitons are developed by establishing the regression analysis of relation between mean annual temperature and latitude and elevation with the digital elevation models and climate data from global meteorological stations aton global level. The High Accuracy Surface Modelling (HASM) method integrated the statistical transfer functions, is used to downscale the simulated data of HadCM3 from a spatial resolution of  $3.75^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  to  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ . The simualted results of A1Fi, A2 and B2 scenarios show that the mean annual temperature would be increasing in the 21st century, the areas in Greenland where the mean annual temperature is below  $0^{\circ}\text{C}$  and in Antarctica below  $-35^{\circ}\text{C}$  would shrink, and the areas between north and south tropics where the mean annual temperature is higher than  $40^{\circ}\text{C}$  would expand. The increase rate under scenario A1Fi is the highest and that under scenario B2 is slowest among three scenarios during the period from T1 to T4. The results also show that the coarse resolution data of IPCC GCMs can be availably downscaled to high resolution data by integrating the statistcial transfer funcitons and HASM methods, which could overcome the limitation that the current simulated data resolution of IPCC GCMs can not be used to explain and describe the details of climate change at regional level, especially at local level.

**Key words:** global mean annual temperature; scenarios; downscaling; HASM Method

本文引用格式:

范泽孟, 岳天祥, 陈传法. 全球平均气温未来情景的降尺度分析. *地理科学进展*, 2012, 31(3): 267-274.