

# 气候变化及可预报性 (CLIVAR) ——气候研究的国际新计划\*

李崇银

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

**摘 要** 本文概括介绍了气候变化及可预报性(CLIVAR)研究计划。

**关键词** 气候变化 可预报性

## 1 引言

自从1979年国际上提出世界气候研究计划(World Climate Research Programme, WCRP)以来,有关气候变化及其影响的研究在全球范围蓬勃开展起来,使人们对气候及变化有了新的认识。特别是提出了物理气候系统概念,指出气候的形成和变化是大气、海洋、冰雪和陆面等各分系统共同作用的结果。1985年开始实施的热带海洋-全球大气(Tropical Ocean-Global Atmospheric Programme, TOGA)计划,在揭露和研究由热带海-气耦合系统所驱动的年际气候变化方面,尤其是关于ENSO循环问题起了重要的作用,取得了可喜的成绩。1990年开始的世界海洋环流试验(The World Ocean Circulation Experiment, WOCE)在揭示海洋对更长时间尺度全球气候变化的影响有重要的意义。

TOGA将于1995年结束,WOCE也将于1997年完成观测阶段的工作,而气候研究需要在已有基础上更进一步发展。因此WCRP的联合科学委员会(JSC)于1992年提出了CLIVAR(Climatic Variability and Predictability)的设想,并将其作为WCRP的一个主要的新活动,着重研究“慢”气候系统(例如海洋、冰和雪盖以及降雨特征)的变化。很显然,CLIVAR与全球能量和水循环试验正好互为补充。下面将就CLIVAR的初步科学计划做一概括介绍,但由于篇幅关系,重点介绍季节到年际时间尺度气候变化研究的问题。

## 2 CLIVAR的科学目标

CLIVAR预计进行15年,研究气候变化可预报性,以及气候系统对人类强迫的响应。其主要目标如下:

(1) 通过收集和分析观测资料,以及发展和应用耦合气候系统模式,揭示和了解反

1995-03-18收到, 1995-10-27收到修改稿

\* 本文主要取材于1995年1月CLIVAR的科学指导小组提出的初步计划

映季节、年际、年代际和世纪际时间尺度的气候变化及可预报性的物理过程。

(2) 通过对有质量校订的古气候资料和仪器观测资料的综合处理, 延长气候变化的记录, 以便研究各种重要时间尺度的气候变化。

(3) 通过发展全球耦合预报模式, 扩大季节到年际时间尺度气候预报的范围及提高预报精度。

(4) 了解和预报气候系统对温室气体和气溶胶增加的响应, 并通过比较这些预报与观测的气候记录揭示人类活动对自然气候信号的影响程度。

CLIVAR 包括三个分计划, 即:

CLIVAR-GOALS, 它研究季节到年际时间尺度的全球气候变化及可预报性;

CLIVAR-DecCen, 它研究年代际到世纪时间尺度的气候变化及可预报性;

CLIVAR-ACC, 它研究气候系统对大气中增加的温室气体和气溶胶的响应。

### 3 CLIVAR-GOALS

GOALS 是全球海洋-大气-陆地系统的英文缩写, CLIVAR-GOALS 将探索全球海洋-大气-陆地系统在季节到年际时间尺度上的变化规律及其可预报性。可以说 CLIVAR-GOALS 是 TOGA 的扩展和深入, 因为 TOGA 计划的实施虽对季节和更长时间尺度的大气可预报性的物理基础的了解有明显的促进, 但却仅仅是个开始, 整个耦合系统还有许多问题有待深入研究; 而且, TOGA 计划主要集中在热带太平洋, 以及 ENSO 循环本身, 实际上其他大洋(例印度洋)的状况对全球气候变化也有重要作用, ENSO 同其他大气系统又有明显相互作用。无论是研究的地域还是研究的内容都极需扩展, 研究问题要更深入, 要特别注意相互作用及其影响。这样, CLIVAR-GOALS 就是对全球气候系统在季节到年际时间尺度上的变化进行观测、分析和预报。

#### 3.1 目标

通过对耦合气候系统的观测资料和模拟结果的分析, 揭露和认识季节到年际时间尺度的气候变化规律及其可预报性。

通过对上层海洋、大气、陆地和冰雪系统的耦合模拟试验, 改进季节到年际时间尺度气候预报的准确性。

同其他有关的气候研究和观测计划合作, 发展和完善适当的观测、计算及资料收集和发布计划(系统)。

#### 3.2 科学问题

要实现 CLIVAR-GOALS 的目标, 需要回答和解决许多科学问题, 概括地可以将它们分为以下五个方面。

##### 3.2.1 基础科学

(1) 全球气候系统年际变化的统一信号是什么? 如何预报它们?

(2) 耦合海洋-大气-陆地系统年循环的结构和动力学, 以及它在全球大范围发生变化的原因是什么?

(3) 地球表面(海冰、SST、雪盖和土壤湿度)状况的缓慢变化在确定全球大气年

际变化性质中的作用是什么?

(4) 热带地区水面、陆地和海滨上低层湿度辐合是由什么因素所决定的? 更一般地, 大气热源 (汇) 的位置和维持时间是由什么因素决定的?

(5) 什么是热带-温带相互作用的本质? 尤其是热带 SST 在影响温带大气和形成温带 SST 异常方面有什么作用? 准确预报的热带 SST 可否成为某地方区域气候变化的前期 (1~2 季之前) 强迫因素?

### 3.2.2 预报

(1) 全球年际气候变化的本质是什么? 它与年循环有什么关系? 什么过程会加剧这种变化? 增加我们对这种变化的认识能否对预报有开拓作用。

(2) 为了季节-年际时间尺度预报的目的, 在耦合模式中关于积云对流、混合、辐射-云-气溶胶相互作用以及海-气耦合过程的参数化方面需要进行什么样的改进?

(3) 为了季节-年际时间尺度预报的目的, 需要对全球上层海洋和陆面进行什么测量, 以利于全球海洋-陆面-大气系统耦合模式的初值化和有效运行。

(4) 年际变化预报的预报技巧如何优化? 为了改进预报应如何发展模式? 对于耦合模式如何更好使用初始资料以及什么技术是最好的? 例如耦合海洋-大气模式的形势预报是否是有用的?

(5) 限制年际变化可预报性的因素是什么?

### 3.2.3 季节内振荡

(1) 热带和中纬度天气波动在季节到年际时间尺度气候变化和可预报性中起什么作用?

(2) 在全球耦合系统中, 季节内变化的本质是什么? 如何预报阻塞、季风的活跃和中断以及 30~60 天赤道振荡等事件的振幅、分布和频率?

### 3.2.4 年代 (十年) 际变化

(1) 年代际变化的性质和范围是什么? 年代际变化与年际变化的机制有何类同之处?

(2) 年代际耦合模式的主要成分在多大程度上是定常现象? 由一个年代到下一个年代它们在多大程度上会改变其特征? 例如, SOI 时间序列是定态的吗? 热带海洋中的年循环在统计上是定态的吗? ENSO 依赖于—组物理过程还是有多种原因?

### 4.2.5 社会影响

(1) 人类活动造成的气候改变如何影响自然的季节内和年际气候变化的特征。

(2) 耦合气候系统年际变化的可预报部分的空间结构是什么? 这些结构如何能转变成有经济和社会效益的预报?

## 3.3 主要研究内容

### 3.3.1 ENSO 和热带地区的可预报性

#### (1) 理论基础

大家知道, ENSO 是气候系统的一类每几年发生一次的准周期性扰动, 并存在暖 and 冷两种位相, 且以暖位相有更大的社会影响。尽管目前已经知道伴随暖位相会出现许多大气和海洋状况的异常, 也知道其中 Walker 环流的异常与海洋过程紧密相关显示了 ENSO 是大气和海洋耦合相互作用的结果。但是目前对 ENSO 的存在还没有一个很好

的解释,尤其是关于 El Niño 的产生。在 CLIVAR 计划期间要搞清楚 ENSO 的机制和过程,从而解决热带地区季节到年际时间尺度气候变化及其预报问题。

#### (2) 季节时间尺度可预报性的经验研究

根据观测资料的分析,人们已在开始对区域性环流和降水进行季节时间尺度的预报,尤其是利用南方涛动指数(SOI)来预报热带和副热带的气候异常。但是 ENSO 并不是唯一的因子,年际时间尺度的可预报性还明显地依赖于其他因子,例如,非州萨赫勒地区的降水变化还同印度洋和大西洋的 SST 有重要关系。因此,基于资料分析的经验研究还需要深入广泛地进行,而且为了弥补资料的不足,还需要进行观测资料与模式输出结果相结合的分析研究。

#### (3) 季节时间尺度可预报性的模式研究

到目前为止,对于季节时间尺度的气候预报来讲,中等耦合模式及海-气耦合大气环流模式都取得了一定的成功。前者以 Cane-Zebiak 模式为代表,它对大气的描写比较简单,模式海洋的垂直分辨率也比较低;后者包括了大气环流模式和大洋环流模式,物理过程的考虑比较全面,然而克服气候飘移是一个重要问题。上述两种模式虽在预报 ENSO 现象方面都表现出一定的可用性,但还不能断言 ENSO 是完全可预报的。因此,CLIVAR-GOALS 需要了解(模式对)耦合系统可预报性的限制及其原因,若有可能将延长预报时效和提高预报准确率。

#### (4) 热带耦合系统的可预报性

一些模式的预报试验表明,热带系统的可预报性极强地依赖于初始状态,而且以北半球春季为初值所作的预报都比较差,并认为北半球春季是“可预报性壁垒”。另一方面这种可预报性壁垒出现在北半球春季的原因以及大小等问题都还不清楚,有待深入研究。这可能有非线性过程的影响,也可能有外强迫作用(例如青藏高原积雪)的参数化问题。

### 3.3.2 温带地区的可预报性

#### (1) 理论基础

在温带地区,季节可预报性并不像在热带那么简单,因为温带大气和海洋中的许多变化都直接与大气环流的混沌现象有关。在这个意义上,温带大气最可预报的是在其内部变化较弱的夏季。但在另一方面,可预报的热带行星尺度环流形势会通过遥相关而影响温带大气环流,这却意味着在经向位势涡度梯度最强的冬季有利于温带大气的季节时间尺度的预报。而对于北半球的冬季环流来讲,许多研究都表明可以将其看成由两部分组成,其一是时间尺度为几周的准定常状态(准定常环流型),其二是时间尺度为几天的相对较快的环流型,它们存在相互转换关系。后者并不需要外强迫,而是同非线性大气动力学有关,比较难于预报。因此,在温带地区季节时间尺度预报的目的并不在于环流型转换的时间,而是估计下一个季节里的主要环流型。

资料分析和耦合大气环流模式的模拟都表明中纬度大气环流也存在着年代际时间尺度的变化,尤其是在北太平洋地区。因此,研究这种变化及其原因也将是 CLIVAR 的重要活动。

#### (2) 季节时间尺度可预报性的经验研究

一系列的资料分析都表明,中纬度地区的大气环流和气候(温度和降水)长期异常

与热带太平洋 SST 的异常 (ENSO) 有明显的关系。近些年的研究还发现热带大西洋和热带印度洋的 SST 异常也对许多地区 (如东北美洲, 欧洲和澳洲) 的气候变化有明显影响。

### (3) 热带-温带相互作用的模拟研究

一方面用耦合模式深入研究 ENSO 及热带海洋 SST 异常对温带大气环流和气候变化的影响, 另一方面也需要研究温带海洋和大气间的相互作用。

#### 3.3.3 季风及其可预报性

近些年来, 不少研究都指出了季风活动 (尤其是亚洲季风活动) 的重要性, 因此季风及其可预报性也就成为 CLIVAR 的重要内容。

##### (1) 全球热源

积云对流所释放的潜热是驱动热带大气运动的主要能量, 而且大范围的持续对流活动形成了全球大气的热源, 全球主要有三大热源, 分别位于印度尼西亚、热带非洲和亚马逊流域。由于亚-澳季风、非洲季风和美洲季风的活动和变化分别与上述三个热源演变有关, 因此深入研究全球热源 (汇) 的演变及原因是十分重要的。

另外, 由于热带辐合带等系统的活动所形成的局地热源也是需要研究的重要问题。

##### (2) 亚洲-澳洲季风系统

由于东亚寒潮 (冬季风) 的活动明显影响澳大利亚夏季风, 而澳大利亚的冷空气活动又影响亚洲 (尤其是东亚) 季风的的活动, 因此, 目前也就将这两个季风系统合称为亚-澳季风系统。

##### (a) 季节内变化

亚洲季风活动, 尤其是夏季风活动往往表现为活跃和中断交替发生的特征, 而活跃期和中断期的强度及持续时间又决定着强季风季和弱季风季的发生, 以及季风活动的年际变化。

亚洲季风和澳大利亚季风的活跃—中断循环都同 30~60 天大气低频振荡有关, 因此研究季节内变化是认识亚-澳季风系统变化规律的重要途径之一。

##### (b) ENSO 对亚洲夏季风的影响

ENSO 与亚洲夏季风的关系早为人知, 因为印度旱 (涝) 与 ENSO 暖 (冷) 位相有明显正相关。但是, 降水量异常的强度并不与 ENSO 的强度有明显关系, 而且整个亚洲季风区的降水并不像印度降水那样与 ENSO 有反相关关系; 数值模拟结果又充分显示了印度地区的降水有明显混沌特征。因此 CLIVAR 计划需要很好地搞清 ENSO 对亚洲夏季风的影响。

##### (c) 季风对可预报性的影响

已有研究表明, 季风本身会对 ENSO 的强度和位相发生明显影响。ENSO 对冬季风变化可提供一个先兆, 同时冬季风异常又对 ENSO 有重要影响。故确定这些关系是 CLIVAR-GOALS 的明显目标。

##### (3) 泛美季风系统

泛美季风的的活动直接与东太平洋和大西洋 ITCZ 的活动有关, 而东太平洋 ITCZ 的活动又与太平洋的“赤道冷舌”有联系, 因此, 从海-气耦合相互作用研究泛美季风系统及 ITCZ 是十分必要的。

#### (4) 非洲季风系统

由于区域性降水形势同 ENSO 有关 (夏季降水与 SOI 有正相关), 非洲季风环流和降水被认为是有可能预报的。但是, 非洲季风区尤其是东非的降水与印度洋 SST 的异常也有关系, 而且大西洋 SST 南北偶极子形势的变化也影响非洲季风和降水, 特别是西非季风降水和大西洋 SST 偶极型都以年代际变化为主要特征, 这为研究年际和年代际变化间的关系提供了机会。

#### 3.3.4 大气-陆面相互作用

陆面性质, 例如土壤湿度和雪盖异常, 对季节时间尺度气候异常的形成和维持所起的重要作用已为人们所重视, 要认识和预报气候变化, 植被和陆面过程也就成为必须考虑的问题。

在发展耦合海洋-陆地-大气系统的逼真模式时, 必须包含预报土壤湿度、陆面反照率、雪盖和地面粗糙度等的陆面过程模式。

#### 3.3.5 计划的主要内容

##### (1) 模拟和预报

- (a) 模式发展和敏感性研究
- (b) 预报系统的发展
- (c) 资料同化要求
- (d) 总体积分技术
- (e) 季风的模拟和预报
- (f) 数值天气预报和气候变化模拟
- (g) 重新分析

##### (2) 观测

- (a) 一般要求

CLIVAR-GOALS 的资料要求包括:

为确定海洋环流和热量贮藏以及描写其对大气强迫响应所需的海洋资料;

为了确定相互通量的海洋-大气交界面资料;

为了确定大气环流和大气对海洋强迫响应所需的大气资料;

描写陆面特征的资料;

为了研究目的而扩展基本资料的替代资料。

因此, CLIVAR-GOALS 将在扩展 TOGA 观测系统的同时, 与全球气候观测系统 (The Global Climate Observing System, GCOS) 和全球海洋观测系统 (The Global Ocean Observing System, GOOS) 密切合作, 以期得到所需的资料。

##### (b) 观测系统

观测系统要求测量表面风应力、海表温度、上层海洋热力结构、海洋环流、大气变量、海面高度及海水盐度等。

##### (c) 过程研究

为了实现 CLIVAR-GOALS 的目标, 必须对一些特殊过程进行深入研究, 包括加强必要的观测, 以便更好了解过程的物理机制, 改进模拟和预报的精度。

## 4 年代际—世纪时间尺度气候变化和可预报性 (CLIVAR—DecCen)

### 4.1 概论

#### 4.1.1 理论基础

地球气候在年年变化, 也在更长时间尺度变化着, 但人们仅对很少的气候变化现象进行了研究, 有所了解。对较长时间尺度气候变化缺乏了解一方面是由于仪器记录的资料大约才 100 年; 另一方面是较长时间尺度的气候变化同海洋的潜在作用有关, 而对这些人知道很少。由于海洋的重要性以及人们还很少研究, 因此 CLIVAR—DecCen 将特别探索海洋在决定年代际到世纪时间尺度气候变化中的作用; 而且必然涉及三维海洋环流及其影响。

人类活动造成的气候改变都是叠加在自然气候变化的背景上的, 因此要估计未来的气候变化就需要尽可能好地了解 and 预报自然气候变化的空间和时间尺度。

#### 4.1.2 科学目标

(1) 通过对耦合气候系统的观测和模拟资料的分析, 揭露和了解年代际到世纪时间尺度的气候变化和可预报性。

(2) 通过古气候研究计划, 仪器资料的校正和对照、大气和海洋资料的再分析以及新的观测计划, 建立一套能描写年代际到世纪时间尺度气候变化的资料系列。

(3) 为了发展和完善适当的观测、计算及资料收集和发布计划, 必须与其他相应气候研究和观测计划合作, 以了解年代际到世纪时间尺度气候变化及可预报性的机制。

#### 4.1.3 DecCen 气候变化的可能机制

- (1) 由于随机强迫引起的年代际大气变化
- (2) 海洋内部的振荡
- (3) 气候态的突然转换
- (4) 大气—海洋相互作用形成的耦合模
- (5) ENSO 的非线性动力学
- (6) 外源 (太阳活动、温室气体及气溶胶等) 的强迫

#### 4.1.4 科学问题

- (1) 在大气—海洋系统中, 年代际或更长时间变化的特征型是什么?
- (2) 海洋—大气—冰—陆地系统中某些成员如何引起其他成员的变化?
- (3) 气候系统中年代际或更长时间尺度变化的机制是什么?
- (4) 年代际或更长时间气候变化在多大程度上是可预报的?

### 4.2 气候系统的年代际和更长时间尺度变化

#### 4.2.1 气候系统的缓慢变化部分

- (1) 气候系统中大洋水团的形成和交汇
- (2) Inter-Ocean 与 Inter-Basin 间的交换
- (3) 大气—海洋间的交换和热输送

(4) 海冰的作用

(5) 陆地

#### 4.2.2 过去 100 年气候记录中的年代际变化

(1) 气候记录和它对解释年代际变化的可能性

(2) 过去 100 年地面温度和大气环流变化的形势

(3) 海洋中长期变化的观测

(4) 海冰的年代际变化

#### 4.2.3 从古气候信息推断过去气候变化

(1) 历史上的气候变化 (基于化石和树轮进行研究)

(2) 上一个冰河期的气候变化 (基于古代海洋信息和冰核进行研究)

(3) 突发性气候漂移

(4) 内冰期的气候变化

(5) 古气候信息解释中的问题

#### 4.2.4 年代际和更长时间尺度气候变化的模拟

### 4.3 CLIVAR-DecCen 计划的主要内容

#### 4.3.1 仪器气候记录的综合

(1) 大气资料的再分析

(2) 归档海洋资料的分析

(3) WOCE 资料的评价和综合

(4) 海面通量

(5) 火山爆发的影响

(6) 海冰

#### 4.3.2 古气候资料的分析

#### 4.3.3 模拟

(1) 海洋环流模式

(2) 大气模式

(3) 耦合模式

#### 4.3.4 观测

## 5 人类活动造成的气候改变的模拟、检测和分析

### (CLIVAR-ACC)

#### 5.1 引言

人类活动造成的温室气体的排放可能引起的全球增暖、局地气候和环流恶化以及海平面上升等已成为人们广泛担心的问题, 因此需要深入研究确定。CLIVAR-ACC 的主要科学目标是:

(1) 确立和完善对自然的气候变化和人类活动引起的气候改变的科学评价;

(2) 确定检测和分析人类活动引起的气候改变的方法;

变;

(3) 预报因温室气体含量增加和其他人类活动的影响所造成的直到下世纪的气候改变;

(4) 提供区域性气候改变的可靠预报。

### 5.2 气候改变的模拟

人类活动所造成的全球或区域性气候改变都是比较小的, 比较难于从 1-2 个年代际的自然变化中检测和分析出来。因此模式对气候系统的动力过程的描写, 以及初值化都是十分重要的问题。

### 5.3 模式研究的优先问题

(1) 耦合系统中什么模 (比如 ENSO 模) 会因外源强迫的改变而被修改 (加强或减弱) 吗?

(2) 海洋环流将如何被改变? 这些改变又将如何影响气候系统的行为?

(3) 全球云分布将如何改变? 又将如何修改云辐射强迫?

### 5.4 模式确认 (Validation)

通过各种模式的对比试验, 找到最好的模式系统。

### 5.5 检测和分析人类活动引起的气候改变

## 6 CLIVAR 和其他国际研究计划

(1) 在 WCRP 中, CLIVAR 将同世界海洋环流试验 (WOCE) 和全球能量和水份循环试验 (The Global Energy and Water Cycle Experiment, GEWEX) 计划以及北极系统研究 (The Arctic Climate System Study, ACSYS) 计划密切合作, 相互补充。

(2) 在 WCRP 之外, CLIVAR 将同国际地圈-生物圈计划 (IGBP) 中的联合全球海洋通量研究 (Joint Global Ocean Flux Study, JGOFS), 全球分析、解释和模拟 (Global Analysis, Interpretation and Modelling, GAIM) 计划密切合作。

(3) CLIVAR 将同业务观测系统, 全球气候观测系统 (GCOS)、全球海洋观测系统 (GOOS) 以及全球陆面观测系统 (Global Terrestrial Observing System, GTOS) 密切配合。

## An Introduction to the CLIVAR — A New World Climate Research Programme

Li Chongyin

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)