

# 大气随机动力学与可预报性<sup>\* 1</sup>

周秀骥

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

## 摘 要

偶然性与必然性过程及其相互转化是世界事物变化复杂性的根源。根据布朗运动统计理论, 提出了分子热运动是不稳定流体中湍流形成之源, 由此形成不同宏观尺度的随机运动是大气运动固有的属性。观测事实表明, 太阳辐射作为决定大气运动与变化的主要因子, 它的变化具有随机性, 是大气的随机强迫因子, 它对气候变化具有决定性影响。地-气相互作用是一个时变的非线性相互反馈的耦合过程, 形成了下边界对大气复杂的随机强迫作用, 其界面交换耦合随机动力学模式尚待建立。由于大气过程固有的随机性以及随机的外强迫耦合作用, 大气确定性预报的时效是有界的, 它决定于预报对象的不确定性及其空间尺度与时间尺度, 以及预报时效内的大气不确定性。由此, 客观存在着大气过程的报不准关系。

**关键词:** 随机运动, 大气动力学, 可预报性。

## 1 引 言

世界事物变化是必然的, 也是偶然的。必然过程与偶然过程以及它们的相互转化构成了世界的复杂性。

近百年来, 大气动力学在牛顿力学确定性科学框架中不断发展和完善, 取得了极大的成功, 在此基础上建立起来的数值预报理论和方法已经成功地应用于日常天气预报业务。1963 年, 著名气象学家洛伦兹(Lorenz)的论文《确定性非周期流》虽然揭示了大气混沌现象, 对大气可预报性提出了质疑<sup>[1]</sup>。但是, 正如论文题目所表达的, 混沌过程仍然是确定性的非周期运动, 只是运动对初始状态十分敏感。只要初始条件是确定的, 混沌运动本质上仍然是确定的, 大气动力学本质上仍未跳出确定性科学框架。

然而, 世界充满着偶然事件, 只能用概率统计与随机过程的理论与方法来刻画它们的发生和发展。在牛顿力学框架中, 偶然性过程与必然性过程是相互独立的, 偶然性因子对必然过程不起决定性作用, 一般视为小量而忽略不计, 或者只考虑其耗散作用。1905 年, 爱因斯坦首次揭示了分子随机热运动对流体中微粒子作用引起的布朗运动, 开创了随机动力

学研究<sup>[2]</sup>。近 20 多年来, 非线性科学取得了突破性进展, 无论是普里高京(Prigogine)的耗散结构理论<sup>[3]</sup>, 还是哈肯(Haken)的协同学理论<sup>[4]</sup>, 都证实了偶然过程与必然过程之间的密切联系与相互转化。它们不再是相互独立的了, 偶然因子在非线性系统中可以有组织地涌现出新的有序结构, 成为有序之源。随机动力学作为研究偶然因子与必然因子非线性相互作用的动力学正在逐步成熟<sup>[5, 6]</sup>。

大量观测资料表明, 大气中存在着多种特征的随机扰动因子, 大气过程是确定的, 也是随机的。1964 年, 文献[7]曾揭示了云物理结构的随机起伏特征, 以及随机因子对降水形成的决定性影响, 并在此基础上提出了暖云降水起伏理论。随着近 40 年来非线性动力学的发展, 人们愈来愈认识到随机动力对大气过程的作用, 远比暖云降水起伏过程要复杂并丰富得多。

本文下面的分析指出, 起源于分子热运动的宏观微尺度的随机力是大气本身固有的属性。太阳辐射的起伏, 以及陆地海洋等下边界与大气过程的随机耦合, 使大气变化过程承受着不同时空尺度结构的随机强迫作用。这些作用决定着大气过程的突变, 大气平衡态的稳定性、平衡态之间的跃变, 以及

\* 初稿时间: 2005 年 8 月 4 日; 修改稿时间: 2005 年 8 月 13 日。

作者简介: 周秀骥, 江苏人, 1932 年生, 中国科学院院士。

新的大气平衡态的形成。

## 2 布朗运动与湍流

大气是由巨量气体分子组成的流体介质, 大气运动是分子运动在宏观微尺度上的统计平均状态, 描述大气结构和状态的物理量也都是分子运动物理量在宏观微尺度上的统计平均值。统计物理学理论指出, 由于分子热运动的随机性, 实际流体结构与运动的物理量都应具有宏观微尺度的起伏特征, 最典型的例子是均匀流体介质的光散射现象<sup>[8]</sup>。已经由理论和实验所证实, 均匀流体介质的光散射现象是由均匀介质密度的微尺度起伏所引起的, 在平衡态时, 这种起伏很小, 光散射很弱, 观测很困难。而当流体接近非平衡态的相变临界状态时, 密度起伏急剧增强, 产生了很强的临界光散射——乳光现象。另一例子是众所周知的流体介质中微粒子起伏的布朗运动。爱因斯坦指出, 这种宏观微尺度起伏的布朗运动是微粒子受到周围流体介质分子热运动的随机碰撞作用而引起的, 微粒子动力过程可用朗之万 (Langevin) 方程来描述

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} = F(t) \quad (1)$$

式中  $x$  为微粒子一维坐标,  $\beta$  为流体介质对微粒子的阻力系数,  $F(t)$  即为由周围介质分子碰撞引起的随机力。显然, 由随机微分方程(1)所确定的微粒子运动是一个随机过程。

描述大气运动的基本动力方程是纳维-斯托克 (Navier-Stokes) 流体力学方程

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \sum_j u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i \quad (2)$$

或可写为

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i \quad (3)$$

其中  $u_i$  为宏观微尺度流体粒子的运动速度, 是分子热运动在布朗运动尺度上的统计平均值。

在周围分子热运动碰撞作用下, 流体粒子运动同样应具有随机的布朗运动特征。因此, 方程(3)应更为完善的流体粒子运动的朗之万方程

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i + f_i \quad (4)$$

$$\text{或} \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} + \sum_j u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i + f_i \quad (5)$$

其中,  $f_i$  表示作用在宏观微尺度流体粒子的随机力。方程(5)即为推广的 Navier-Stokes 随机方程。

半个多世纪以来有关湍流实验与理论结果表明, Navier-Stokes 方程(2)为湍流运动所遵循的基本方程, 但该方程(2)中并没有湍流形成的源项。朗道 (Landau) 的涡旋串联理论指明湍流是如何发展的, 并未能解释湍流形成起始之源。现代混沌理论只说明运动对初始条件的高度敏感性, 也并未阐明湍流形成的物理本质。随机方程(5)却清楚指出, 分子热运动形成的随机布朗运动是湍流形成之源。当流体处于不稳定状态时, 随机力  $f_i$  可以有组织涌现宏观尺度的湍流运动。

方程(5)暂时还缺乏严格证明, 只能说是一个假设。但是雷诺 (Reynolds) 等圆管实验结果表明<sup>[9,10]</sup>, 当圆管中流体运动雷诺数  $Re = \frac{LU}{\nu}$  小于约 2800 时, 流体处于完全稳定的状态, 任何强度的外加扰动都无法使流体运动从有序的层流发展为无序的湍流。当雷诺数超过此临界数值时, 一定强度的外加扰动就可以使流体运动变为湍流运动。但是, 该临界雷诺数与外加扰动强度有关, 随着扰动强度的减弱, 临界雷诺数可以不断提高。实验证明, 最大的临界雷诺数曾达到 50000<sup>[11]</sup>。如果能用实验模拟或数值模拟方法证实存在着临界雷诺数的最大极限值, 它对应着布朗运动尺度的扰动, 其结果就可以作为随机微分方程(4)成立的一个验证。对于数值模拟来说, 这样的验证需要空间分辨率达到微米量级的计算模式, 目前的计算机能力还难以达到。但根据计算机技术的发展, 预计在今后 10 a 左右, 就可能实现湍流形成机制的数值模拟试验。

实际大气在变化过程中不断处于动力或热力的不稳定状态, 由热起伏随机力  $f_i$  自组织作用形成的不同宏观时空尺度的湍流, 就决定了大气运动的本质是随机的, 大气状态的变化必然是确定性因子与随机因子非线性相互作用的结果。

## 3 太阳辐射的随机驱动

太阳辐射是大气运动和变化的主要驱动力, 由于太阳内部过程以及地球运动及其相对太阳的位置的变化, 入射到地球大气的太阳辐射总量是不断变化的。1843 年, 施瓦帕 (Schwabe) 揭示了太阳黑子的变化具有周期性, 对将近 200 年来的太阳黑子记录的分析表明, 太阳黑子相对数具有主周期为 11 a 的周期变化, 以及其他谐波周期变化。但是, 太阳黑子变化只反映太阳内部物理过程, 与太阳总辐射量

的变化还有区别。近 20 多年来,卫星观测给出了最有力的直接证据,NASA 卫星上 ESR,ACRIM 与 ERBE 在 1978~2002 年对太阳辐射直接测量结果分析表明<sup>[12]</sup>,入射到地球大气的太阳辐射总量具有明显的 11 a 周期变化,其变化幅度的相对值为 0.2% 左右。此外,还有明显的随机起伏变化量叠加在周期变化上,其幅度为 11 a 周期变化的 1/10 左右。同时,早在 20 世纪 90 年代初期,米兰柯维奇(Milankovitch M)从理论上计算了由于地球轨道偏心率、地轴倾斜度以及岁差运动等变化,引起了入射到地球大气总辐射量的周期变化<sup>[13]</sup>,其周期分别为 10 万年,4.1 万年和 2.2 万年。

由此可见,太阳辐射是由多个周期变化以及随机变化叠加的量,许多周期成份可能还未完全被揭示。我们可以把入射到地球大气系统的太阳辐射总量  $S$  看成由太阳常数  $S_0$ ,多周期变化量  $\sum_{i=1}^n S_i(t)$  以及随机变化量  $S'(t)$  三部分叠加所组成

$$S = S_0 + \sum_{i=1}^n S_i(t) + S'(t) \quad (6)$$

全球大气平均温度  $T$  变化应满足下列能量平衡方程

$$c \frac{dT}{dt} = S[1 - \alpha(T)] - \epsilon(T)\sigma T^4 \quad (7)$$

其中  $\alpha$  为地表-大气系统总体反照率,它决定于地表冰雪覆盖、生态等构成以及大气组成,应与温度  $T$  密切相关。 $\epsilon$  为地表大气系统整体比辐射率,也与地表特征及大气组成有关,同样是依赖于温度  $T$  的函数。

把式(6)代入式(7),可得

$$c \frac{dT}{dt} = f(T) + g(T) \sum_{i=1}^n S_i(t) + g(T)S'(t) \quad (8)$$

$$f = S_0[1 - \alpha(T)] - \epsilon\sigma T^4, \quad g(T) = 1 - \alpha(t)$$

由方程(8)所描述的温度变化是一个非线性随机过程,其状态应用概率密度函数  $\rho(T, t)$  来表征。假设随机力  $S'$  近似为白噪音

$$\langle S' \rangle = 0, \langle S'(t)S'(t') \rangle = 2D(t - t')$$

则  $\rho(T, t)$  满足下列福克-普朗克(Fokker-Planck)方程

$$\frac{\partial \rho(T, t)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial T} \left[ f(T) + g(T) \frac{dg}{dT} + g(T) \sum_{i=1}^n S_i(t) \right] \rho +$$

$$D \frac{\partial^2}{\partial T^2} [g^2(T)\rho(T, t)] \quad (9)$$

显然,方程(9)不存在定态解  $\frac{\partial \rho(T, t)}{\partial t} = 0$ 。这表明,在变化着的太阳总辐射强迫驱动下,地球大气整体平均温度不断在演变,永不存在稳定不变的平衡态。

根据现代非线性系统理论研究结果<sup>[5]</sup>,太阳辐射随机扰动  $S$  对气候变化的影响是十分显著而复杂的。古气候变化研究表明,地球冷暖气候期可以大约以 10 万年为周期交替出现。地球运动及其对太阳相对位置变化引起的入射太阳辐射总量也具有 10 万年周期变化的特性,但其变化量太小,它所能引起的地球大气平均温度变化只有 1 °C 量级,比实际变化幅度 10 °C 量级要小 10 倍。1982 年,邦济(Benzi R)考虑了太阳随机扰动  $S'$  的非线性作用<sup>[14]</sup>,发现了太阳辐射随机变化驱动大幅度气候变化的随机共振现象。即非线性过程中,太阳辐射随机扰动  $S'$  可以增强小幅度太阳辐射周期变化对气候变化的调制作用,而引起气候的大幅度周期变动。除随机共振以外,太阳辐射随机扰动  $S'$  可能有组织地涌现新的气候态。同样,在气候突变以及气候冷暖状态的变迁中,太阳辐射随机扰动  $S'$  也具有决定性的作用。

以上分析只考虑了太阳辐射随机驱动对全球大气平均状态变化的作用和影响,实际上,入射到地球大气的太阳辐射具有复杂的时空分布与变化,如何在三维全球气候模式中全面考虑太阳辐射分布的变化过程与随机驱动,将是大气科学一个重要的前沿课题。

#### 4 地表的随机强迫

除了太阳辐射的驱动外,下边界地表对大气过程的强迫作用同样是决定性的。事实上,现代大气科学已十分成熟,全球大气变化过程已可用完整的非线性偏微分方程组来定量描述,从而实现定量的数值模拟和数值预报,这组方程的普遍形式可简写为

$$\frac{\partial x_i(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = Z_i(x_j, \nabla x_j, \Delta x_j, t, p_k) + x'_i \quad (10)$$

$i = 1, 2 \cdots n, \quad j = 1, 2 \cdots n, \quad k = 1, 2 \cdots m$  其中,时空分布变量  $x_i(\mathbf{r}, t)$  涵盖温度、湿度、气压、风、辐射、降水、云雾以及痕量气体、气溶胶等大气组成及诸物理化学量,  $p_k$  为描述物理化学过程的参数。这组方程对应所有的大气状态及变化,实际大气过程则决定于初始场  $x_i(\mathbf{r}, 0)$  及边界值  $x_i(\mathbf{r}, t)|_s$  的定解条件。

目前,对初始场的研究和处理比较深入而充分,发展了各种资料同化方法,以减小误差,获得最优化的初始条件。而对边界值的研究与处理则相对粗糙,距离实际边界动力过程还有很大差距。

地球大气下边界主要是由海洋和陆地两大部分组成。海洋是具有多尺度时空分布与变化的流体,其变化涉及到海洋物理、化学与生物过程及其耦合。陆地表面是由冰雪、水文、土壤、生态、高山以及城乡建筑等组成的复杂系统,同样具有多尺度时空分布与变化的结构,并涉及到相互耦合的物理、化学与生物过程。地表与大气在界面上的主要过程是动量、能量(感热、潜热、辐射)与物质成份(水、痕量气体、气溶胶等)的交换  $I_R$ 。这些交换量就是方程(10)的下边界定界条件,显然,界面交换量决定于界面两侧介质的物理、化学及运动状态,也必然是界面空间坐标与时间函数

$$I_R|_S = I_k(x_i, y_i, \nabla x_i, \nabla y_i, \mathbf{r}, t, D_l)$$

其中  $S$  为界面,  $x_i, y_i$  为地表两侧介质的状态量,  $D_l$  为有关交换过程的参数。

以上分析表明,地表对大气过程的强迫作用不是固定不变的,其界面交换通量改变了界面两侧介质状态,而改变了的介质状态又影响界面通量,形成一个非线性相互反馈的时空变化过程。同时,这样的交换通量也必然是一个随机量。如何在大气模式中完整描述这样复杂的相互反馈的界面随机强迫过程,建立界面随机耦合动力学模式,还是有待于研究的难题。

## 5 大气过程的可预报性与报不准关系

1957年,汤普逊(Thompson)首次提出了数值天气预报的可预报性问题<sup>[15]</sup>。以后,洛伦兹(Lorenz)<sup>[16]</sup>、利兹(Leith)<sup>[17]</sup>以及帕尔墨(Palmer)<sup>[18]</sup>等完成了一系列大气可预报性的理论研究工作。他们的研究结果一致表明,由于初始观测资料和数值模式的误差,大气过程的确性预报时效是有限的,大尺度天气形势数值预报最长不超过两周。

半个多世纪以来,世界气象事业发展投入了巨大的人力、财力和物力,不断改进大气探测系统,发展观测资料处理分析技术,完善大气数值模式,以减少误差及数值天气预报的不确定性。这些努力无疑推动了中短期天气数值预报的进步,但突变性大气过程和长期大气过程的预报仍面临巨大困难,进展缓慢。近几年来,提出了“系综预报”(Ensemble

Forecasting)的新概念,即采用具有误差概率分布的初始场,以及一组多个甚至几十个数值模式来进行综合数值预报,最后求得预报结果的统计规律。但是,这种预报方法本质上只是给出了误差带来的预报不确定性,并未涉及到大气中固有的随机力及其对大气过程的非线性作用。而且,几十个数值模式都具有物理上相似的系统偏离,它们既无严格的统计意义,也不符合系综的统计物理条件。如果各种误差是决定大气可预报性的主要因子,那么,随着观测资料精度的不断提高,数值模式的不断完善,确定性数值预报时效能否无限地延伸呢?根据本文的分析,对于一个固有随机力的非线性大气过程来说,结论是否定的。

非线性动力系统理论表明,当大气变化近似为线性过程时,随机力只是对大气平均运动状态的一个扰动小量,可以忽略不计,描述大气状态的概率分布近似于脉冲函数,大气过程基本上是确定的,可以做出确定性预报。如果大气变化是非线性过程,当发展到不稳定状态,或多重平衡态的交叉点时,随机力对大气变化的趋势及新的大气状态的形成就具有决定性作用,对这类大气过程的预报本质上就是不确定的,只能预报其发生发展的概率。因此,对特定的大气过程或特定的预报对象,其确定性预报时效  $Te$  是有限值,这个值是大气运动固有随机性所决定的,与误差无关。显然,该值决定于预报对象本身的不确定性,可用信息熵  $S$  来表征。它还决定于预报对象的空间尺度  $\Delta L$  和时间尺度  $\Delta T$ ,以及预报时效尺度内大气过程的不确定性,可用扩散系数  $D$  来表征,则普适的因次律可给出下式

$$Te = k\Delta L \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{1/2} f(S) \quad (11)$$

其中,  $k$  是待定的比例系数,  $f(S)$  是待定的熵  $S$  的函数,式(11)实际上表达了大气过程的报不准关系。当预报时间超过  $Te$  值,则只能预报该大气过程的概率分布,要求做出确定性预报是不符合大气运动规律的,也是徒劳的。科学的报不准关系的探索将具有非常重大的科学与应用意义,它将帮助人们正确判断对一个大气过程的确性预报的范围,在预报工作发展上做出符合事实的科学决策。

## 6 结束语

随机力对大气过程影响的研究起步于20世纪70年代,1976年,赫塞尔曼(Hasselmann)首次提出

了随机气候模式<sup>[19]</sup>,把快速变化的短期天气过程看成是作用于缓慢气候变化过程的随机力,建立了描述气候随机变化的朗之万方程及相应的福克-普朗克方程。1982年,萨尔兹曼(Saltzman)把气候系统视作为随机动力系统<sup>[20]</sup>,建立了简化的海-气耦合的随机气候模式,揭示了随机力对气候系统变化的影响。1984年,李麦村等<sup>[21]</sup>也建立了一个简化的海-气耦合的随机气候模式,给出了类似的结果。但是,这些有意义的研究都只限于简化的低维气候模式,对大气过程中随机力的作用还缺乏充分全面的分析与讨论。

为了加强大气随机动力学研究,首先要研究大气中不同时空尺度随机力的统计结构及其变化规律的机制,除了布朗运动随机力和太阳辐射随机驱动力可近似为白噪音外,对大气中的随机力和随机强迫驱动力的统计结构,人们还知之甚少。地-气耦合随机强迫动力学基本上还处于空白,这些科学问题都是大气随机动力学的重要基础。只有在此基础上,才能扎实地建立比较符合实际大气过程的随机动力学体系,这个体系的核心是随机强迫作用下的大气非线性随机动力学偏微分方程组。由于大气随机力变化一般不是马尔柯夫过程,其概率密度分布函数不满足福克-普朗克方程。采用直接数值模拟计算是目前解决这类随机偏微分方程组唯一比较现实可行的方法,其中最常用的就是蒙特-卡诺方法。而遇到的一个难点是在于设计出能符合大气随机力和随机强迫力统计结构的伪随机数发生器。此外,当前最先进的计算机能力也只能适应经过一定简化的大气随机动力学模型。

## 参考文献

- [1] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci*, 1963,20:130—141
- [2] Einstein A. *Eine neue Bestimmung der Molekuldimensionen*. Wyss Bern, 1905
- [3] Nicolis G, Prigogine I. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems, From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. A Wiley-Interscience Publication, 1977. 512pp
- [4] Haken H. *Synergetics*. Springer-Verlay, Berlin Heidelberg 1977
- [5] 胡岗. 随机力与非线性系统. 上海:上海科技教育出版社, 1994. 263pp
- [6] 朱位秋. 非线性随机动力学与控制——Hamilton 理论体系框架. 北京:科学出版社, 2003. 494pp
- [7] 周秀骥. 暖云降水微物理机制的研究. 北京:科学出版社, 1964. 105pp
- [8] Smoluchowski M. *Ann. der. Physik*, 1908,25:205
- [9] Reynolds O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shell be direct or sinuous, and the law of resistance in parallel channels. *Philos Trans Roy Soc London*, 1883,174:935—982
- [10] Barnes H T, Caker E G. Experiments on Streamline motion and the measurements of critical velocity. *Proc Roy Soc London*, 1905,74:105—110
- [11] Ekman V W. On the change from steady to turbulent motion of liquids. *Ark Mat Astron Fys*, 1911,6(12).
- [12] Willson R C. Solar irradiance. In: Gurney R J, Foster, Parkinson C L. eds. *Atlas of Satellite Observations related to Global Change*. Cambridge University Press, 1993. 5—18
- [13] Milankovitch M. History of Radiation on the Earth and Its Use for the Problem of the Ice Ages. *K Serb Aka Beogr Spec Publ*, 1941. 132, 633pp
- [14] Benzi R, et al. Stochastic resonance in climate change. *Tellus*, 1982,34:10—16
- [15] Thompson P D. Uncertainty of initial state as a factor in the predictability of large scale atmospheric flow pattern. *Tellus*, 1957, 9:275—295
- [16] Lorenz E N. The predictability of a flow which possesses many scales of motion. *Tellus*, 1969,21:289—307
- [17] Leith C E, Kraichnan R H. Predictability of turbulence flows. *J Atmos Sci*, 1972, 29:1041—1058
- [18] Palmer T N. Predicting uncertainty in forecasts of weather and climate. *Rep Prog Phys*, 2000,63:71—116
- [19] Hasselmann K. Stochastic climate models. *Tellus*, 1976,28: 473—485
- [20] Saltzman B. Stochastic driven climate fluctuation in the sea—ice, ocean temperature, CO<sub>2</sub> feedback system. *Tellus*, 1982,34:97—112
- [21] 李麦村,黄嘉佑. 关于海温准三年及准半年周期振荡的随机气候模式. *气象学报*, 1984,42(2):168—176
- Li Maicun, Huang Jiayou. A Stochastic Climate Model on the Quasi Three-yearly and Half-yearly Oscillation of the Sea. *Acta Meteor Sinica(in Chinese)*, 1984,42 (2):168—176

## ATMOSPHERIC STOCHASTIC DYNAMICS AND PREDICTABILITY

Zhou Xiuji

*(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)*

### Abstract

Stochastic and determined processes and their inter-transformation are the sources for the complexity of the variations in the world. According to the statistical theory of Brownian motions, it is issued that turbulences in the unstable fluid motions are caused by the molecule thermodynamic motions and produce the stochastic motions in various macroscales, which are the nature of the atmospheric motions. Observations have shown that the solar radiation, the main factor determining the atmospheric motions and changes, varies in random, so it is a stochastic external forcing on the atmosphere and has dominant impact on the climate change. Air-land interaction, a time-varying coupling process with nonlinear feedback, forms the complex random external forcing on the atmosphere in the lower boundary, but the stochastic coupling dynamic model of the exchange in the interface is not set up yet. Owing to the chaotic nature of the atmospheric motions and all the stochastic external forcing factors, the determining prediction of the atmospheric motions is only valid in limited time range, which is determined by the uncertainty in the predicted subject and its temporal and spatial scale, and the uncertainty in the atmospheric motions. Therefore, unpredictability is objective in the atmospheric motions.

**Key words:** Stochastic motions, Atmospheric dynamics, Predictability.