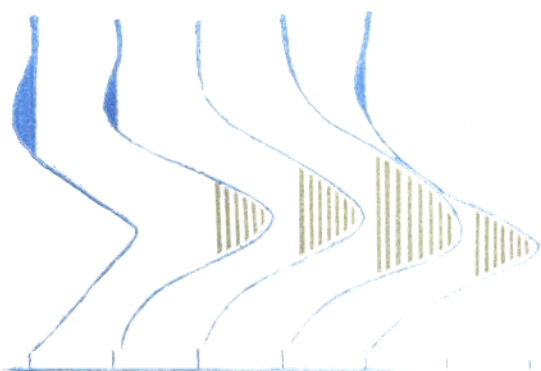




长期和中期天气预报中 的问题和展望

安徽省气象科学研究所



气象出版社

长期和中期天气预报中的 问题和展望

D. M. Burridge E. Källén 编

安徽省气象科学研究所 译校

气象出版社

D. M. Burridge E. Källén
Problems and Prospects in Long and Medium
Range Weather Forecasting
Springer-Verlag 1984

长期和中期天气预报中的问题和展望

D. M. Burridge E. Källén

安徽省气象科学研究所 译校

责任编辑 成秀虎

* * *

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京燕华营印刷厂印刷

气象出版社发行 各新华书店经售

* * *

开本: 787×1092 1/32 印张 8.625 字数 189 千字

1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷

印数: 1—1000 定价 3.10 元

ISBN 7-5029-0232-5/P·0142

内 容 提 要

本文评述大气可预报性问题的某些方面,同时提供作为理论基础的一些基本原理,给出业务预报系统的一些计算例子和大气环流模式的一些可能性实验。在引言一章中论述了基础理论概念和思想,其它理论专题包括孤立子(Solitons)、偶极子(modons)和分叉机制,这些概念在大气可预报性领域中是比较新的概念。在有关数值预报的一些章节中,讨论了做十天预报的科学性和实际性问题,同时讨论应用确定性的(deterministic)大气环流模式,去预报那些超出可预报性理论界限的最大尺度和长期平均的可能性问题。

本书适合于从事中长期天气预报研究的科研人员以及广大台站预报工作者阅读,也可供气象院校有关专业的师生参考。

前 言

预报中期和长期天气是一个困难的、复杂的科学问题。自从1954年在瑞典首都斯德哥尔摩的BESK计算机上,实现用数值方法进行第一次业务天气预报以来,计算机技术已得到迅速发展。与此相应,用于天气预报的大气模式的复杂性也随之大大增加。由于模式的改进以及更准确更丰富的大气观测资料用于模式积分的初始场,因此,这些模式对预报大气未来状态的能力也提高很快。但是,在理论上对这一问题还应加以讨论,也就是说,即使我们具有几乎是完整的初始资料,而且计算模式也很完善,我们也永远不能做出预报时效超过数星期的准确天气预报。这是由于大气固有的不稳定性造成的。这一领域的研究先驱者是E. Lorenz,这种问题一般叫做大气可预报性问题。本书的第一章就是Lorenz教授写的有关大气可预报性问题的评述。

本书的著作来源于1981年ECMWF(欧洲中期天气预报中心)专家讨论会,这个会议于1981年9月在英格兰的里丁(Reading)举行。当ECMWF在1975年建立时,它的任务是利用最新最有效的计算机技术和科学方法去发展一个预报中期天气(3—10天)的数值模式。1975年第一次ECMWF专家讨论会奠定了中期天气预报的科学基础,1981年的专家讨论会可以看成是第一次会议的继续。现任中心主任L. Bengtsson写了一篇评论,历史地回顾了中期天气预报发展过程,这篇评论对成功地设计ECMWF预报体系起了很大作用,目前ECMWF每天做出业务中期天气预报并对世界范围发布。当然在预报体系方面还存在着很多尚待解决的问题,本书在A.

Simmons和G. Cats的二篇著作中讨论了这些问题。第一篇(A. Simmons所写)讨论了模式方面的问题,第二篇(G. Cats所写)讨论了模式对于初始场的敏感性的一些问题,并给出了一些例子。

正如我们已经讲过的那样,对大气流型的可预报性存在着理论界限,超出这个界限人们仅能希望得到最大尺度和长时间平均的预报。利用复杂的,确定性的大气环流模式对这个问题所作的一些尝试将在J. Shukla的两篇论文中给出。在第一篇文章中他讨论了应用这种方法的可能性,特别讨论了这种方法中模式可以期望获得较大成功的地理范围,在第二篇文章中J. Shukla博士讨论了一个模式对空间边界条件变化的敏感性。当论证这类模式的模拟结果时,必须进行详尽的有统计意义的检验,由C. Leith所写的关于统计方法的一章中给出了有关这个问题的一种理论处理。

尽管大气可预报性平均而言限制在一星期或二星期,然而我们知道存在着某种持续的大尺度流型,因此大气可能潜在着更大的可预报性。这种流型之一是大气阻塞流型,E. Källén和C. Leith分别用二种可能的非线性机制解释这种流型的稳定性和持续性。

本书不想去讨论长期和中期天气预报的所有各个方面,仅讨论1981年ECMWF专家讨论会上我们认为有普遍意义的一些著作。因此,我们精选了已经证明是成功的和实际上有用的数值天气预报方法。本书也力图涉及对将来长期预报方法可能是有用的某些理论思想和可预报性问题的一般基础知识。

我们对Iris Rhodes打印手稿, Rosemarie Shambrook绘制本书图表表示感谢。我们也对1981年ECMWF专家讨论

会对本书贡献手稿和有用思想的那些报告者们和参加者们表示感谢。

编者

1983年于里丁和斯德哥尔摩

内 容 提 要

本文评述大气可预报性问题的某些方面,同时提供作为理论基础的一些基本原理,给出业务预报系统的一些计算例子和大气环流模式的一些可能性实验。在引言一章中论述了基础理论概念和思想,其它理论专题包括孤立子(Solitons)、偶极子(modons)和分叉机制,这些概念在大气可预报性领域中是比较新的概念。在有关数值预报的一些章节中,讨论了做十天预报的科学性和实际性问题,同时讨论应用确定性的(deterministic)大气环流模式,去预报那些超出可预报性理论界限的最大尺度和长期平均的可能性问题。

本书适合于从事中长期天气预报研究的科研人员以及广大台站预报工作者阅读,也可供气象院校有关专业的师生参考。

目 录

大气可预报性的一些看法.....	E. Lorenz (1)
ECMWF的中期天气预报: 关于最近进展的 评论和意见.....	L. Bengtsson (25)
当前ECMWF中期预报的模式 问题.....	A. J. Simmons (44)
ECMWF中期预报数据同化方案中 存在的问题	G. J. Cats (67)
时间平均值的可预报性 (I) —— 月平均的动力学可预报性.....	J. Shukla (103)
时间平均值的可预报性 (II) —— 边界层强迫作用的影响.....	J. Shukla (154)
长期预报和短期预报检验的统计 方法.....	C. E. Leith (201)
分叉机制与大气阻塞.....	E. Källén (225)
动力稳定非线性结构.....	C. E. Leith (255)

大气可预报性的一些看法

E. Lorenz

§ 1 可预报性、确定性、稳定性及周期性

1.1 引言

本报告的中心问题是大气可预报性。我们目前接受的有关大气可预报性的许多概念,是从其它系统的研究得到的。这些研究包括大气的复杂数学模式和简单的数学方程组在内。我们还将研究这些系统的可预报性。

所谓一个系统的可预报性,指的是有可能做出近期或是遥远未来的系统状态预报的精确度。我们研究的可预报性是有条件限制而不是固有的,因此,我们一开始就假定预报是以不完全了解系统的现在和过去状态为基础的。要是我们仅对数学模式感兴趣,则不需这种限制。可是对于真实的物理系统,任何其他的假设都是不真实的。例如,我们目前的仪器可测出精确到米每秒的风,但是,不可能设想,在不久的将来,风的常规测量精度能达到厘米每秒。同样,目前的全球观测网能分辨出主要的气旋和反气旋的结构,但是,也不可能设想在不久的将来,全球观测网能够观测每一块积云的位置,尺寸和内部结构。

我们希望使我们的有限可预报性的分析更具有普遍性,在本报告中,我们将介绍多维时间序列和过程以及确定性和随机性等概念,然后我们将阐明只考虑确定性时间序列的可预报性,实际上避开了没有普遍性这个问题,确定性时间序

列是由数学方程定义的过程的实际反映。

1.2 预报和预报的准确性

若从做预报的可能性来研究准确性，那么我们必须首先确定预报指的具体意思，如考虑某特定城市（比如说伦敦）明天温度的各种假定预报：

- 1) 明天热（即比平常热）
- 2) 明天非常热。
- 3) 明天的最高温度是 27°C 。
- 4) 明天热的可能性有80%。

如果我们不考虑明天可能在该城市的一些地区热而在另一些地区冷，或是上午热下午冷的偶然情况，显然，第一种预报不是对就是错。很明显，要是某人不懂天气预报，如果他简单地预报第二天天气热或冷，他也有一半机会能报对。人们不能简单地根据做出几次准确的预报来说明某人的预报技术好，真正预报技术好必须是在长时期预报中报对的次数比报错的多得多。

如果给“非常热”一词以明确定义，那么第二种预报也要么是对要么是错。然而当天气仅达到热的标准时预报员可能预报成“非常热”，反之，当天气达到“非常热”时预报员可能预报成热，因此如果这一预报是由一个刚刚能胜任工作，但是预报技术不全面的预报员做出，这第二种预报报对的次数经常比第一种少。由此可见，技术水平的任何确切评价都必须考虑预报用词的方式。

如果我们确定了“最高温度”指的是已四舍五入为整数的正式记录的最高温度，第三种预报也要么是对要么是错，且技术不高的预报员多半会报错。显然，当温度实际出现是 26°C 时，报 27°C 的预报员所做的预报比报 21°C 或是报 31°C

的预报员所做的预报要好。很明显，这类预报的一个准确性评定是误差的大小，或是误差的某一函数值。因为每个人总是可以猜对一二次天气的。所以，用作预报技术评定的量值必须是多次预报结果的平均值。均方差（或是均方根误差）已经相当广泛地用来测量用一个连续数表达的预报的准确性。我们将采用这种测量方法，并规定同样的预报表达方式。如果我们希望将按某种形式发布的预报与按另一种形式发布的预报进行比较，就必须确定在一种形式中多大的均方差与另一种形式中已给出的均方差等价。

第一种预报也可以制作成数值方式的预报，可设“1”表示“正常偏热”，“0”表示“正常偏冷”。做“0”，“1”预报的预报员，当他报错时平方差为1个单元，当他报对时平方差为0，他的均方误差是他报错的次数的那一部分。

这个预报员很快就会意识到，尽管这预报结果必须是1或0，要是经常预报0与1之间的某一个小数，他能够得到较小的均方差。比如说，这个预报员一点也不懂得预报，他每次都预报0.5，那么，他就可以把均方差从0.5降低到0.25。又如，他认识到在某种形式下有80%的可能是热天，不论何时出现这种形势，他都报0.8的可能。那么，预报次数中有4/5的误差平方是0.04，1/5的误差平方是0.64，则对于所有这些预报，其均方差为0.16。如果他每次都报1，那么他的均方差应是0.2。这种降低方差的预报方法，并没有使他得到鼓舞，进行小数预报是不允许的，因为他实际上做的是第四种假设预报，也就是说明暖天气的可能性，虽然这种预报在某种程度是他可能做的最有用的说明。

就可预报性而言，讨论的问题是，不论预报员是预报类别还是预报数值，是大概的结果或是可能性，预报应该用数值

表示,那么,预报数值和结果之间差值的平方可做为给定预报的一种准确性测量。所以本文中假设预报和结果都用数值表示是具有普遍性的。预报员或是预报系统对某一特定量进行多次预报的水平可以用均方差或均方根差来量度。由于正规的天气预报包括预报许多天气要素,预报不同要素均方差时在平均之前必须进行某种形式的加权处理,例如,我们必须确定多少米每秒的风与温度一度相当。可制做多么小的合适的加权均方差,是我们在可预报性的研究中需要探讨的一个问题。

1.3 时间序列和过程

我们对某些天气要素的预报性感兴趣,而这些天气要素的演变顺序就是时间序列的例子,所谓一维时间序列,指的仅仅是时间的函数。这种序列可以是连续变化时间的函数,如伦敦的温度。也可以是离散时间数值确定的函数,如伦敦的日最高温度。时间序列可用物理术语定义,亦可以定义为数学函数。

多维时间序列是一维时间序列场,这个概念很有用。离散的时间序列应该由物理规律加以联系,例如它们可能是邻近城市的温度,或是同一城市的温度和风,或者它们是若干常微分方程组的特殊解。

过程(简单的或是复杂的过程)是时间序列的总体,总体中的各个成员就是过程的各种实现状态(realizations)。这是个很有意义的概念。离散的实现状态必须是由相同的方式产生,比如,它们可以是微分方程组(有许多解的微分方程组)单一系统的与时间有关的离散解。

全球天气可视为复杂过程的一种单一的实现状态。我们可用想象中的—个行星总体来构造这个过程,其中每颗星体

都和地球相同，每颗星体都有由相同规律支配的大气，而在某些关键时刻全球天气分布不相同。依照上面的讨论，我们把重点放到时间序列的可预报性上。我们可以假定这些时间序列是容易确定的过程的各种可实现状态。

1.4 确定性和随机性

倘若未来任一指定时刻的状态，完全由一个实现的目前状态决定，那么这种过程就是确定性的。也就是说，在某一时刻恒等的两种实现状态，在未来任一时刻也必定恒等。如果一个实现的目前状态仅仅决定未来某一指定时刻的状态的可能分布，这类过程是随机的，或称偶然过程。即在目前恒等的两种实现状态，在未来是不相等的。若目前所有可能出现的状态都确定着未来任一时刻的状态有相同的可能分布，那么，这种过程称为完全随机过程。在这种情况下，实现的目前状态的知识是无法告诉我们它的未来将是什么样子。所谓的随机数值表，就是完全随机过程各种实现的估计。由于天气在一定程度上依赖于人类活动，所以它大概是随机过程的一个实现，我们也可含糊地称之为确定性过程，大气的大多数数学模式定义确定性过程。

有时也把可由一个实现的目前和过去状态确定其未来状态的过程考虑为确定性过程，虽然单独由它的目前状态无法完全确定未来状态。一个过程如果不是这一意义上的确定性过程，那么这种过程就是随机过程。有一种过程据后一种定义是确定性的，而据前一种定义则是随机的。由单一的二次差分方程确定的过程就是这种过程的一个例子。为方便起见，我们选用了前一种定义。

显然，确定性过程的各种实现是完全可预报的，而随机过程的各种实现则缺乏完全可预报性。在任一未来时刻它们

的可预报性取决于由实现的目前状态确定的概率分布的方差。我们认为实际情况并不是这样，因为我们已强加给预报以一定限制，换句话说，就是我们对实现的目前状态的认识毕竟是不全面的。

为了看看这种限制是怎样影响可预报性的，我们首先注意到有两种途径可使确定性过程转换成随机性过程。第一种途径是，我们也许会有舍入误差数值，由此得到的结果是，使几乎恒等的二个状态之间不再是没有差别了。大概这种舍入误差先转化为一种单一状态集合，随后又转变成2个或更多的不同状态集合。所以，由舍入误差数值组成的新过程是随机的。第二种途径是，我们也许会用从形成每个实现状态的序列场中弃掉某些序列的方法来减少过程的复杂性。例如，我们也许会用相隔几千米的各种实际观测值所揭示的天气来代替几乎是排除了人类活动及其他随机影响的天气。这些观测值可以分辨气旋和反气旋，但是，却遗漏了大部分的积云，而这些积云对气旋和反气旋都会产生显著的影响，由此可见，即使在总的天气变化趋势已确定的情况下，已简化的复杂过程应该是随机性的。必须指出的是，按此方式产生的随机过程，根据确定性的第二种定义，有时候是确定性的。

此时，人们会问，逆过程是否存在？也就是说任一给定的随机过程，是否也存在一种确定性过程，这种确定性过程通过舍去数值或用丢掉形成每个实现的系列场中的一些系列来降低该时间序列的方式可转化成这个随机过程。我们认为很难证明这个问题的答案是肯定的。但是，我们觉得在实际应用中，这个答案还是“肯定的”。也就是说我们认为我们可能碰到的任一随机过程的性质行为类似于由确定性过程派生而来。这样，我们的注意力就集中到确定性过程的可预报

性上，这种可预报性用确定性方程组的解来表示。当然我们知道在制作预报中，不能完全准确或全面地确定初始状态，这样可以认为，确定性过程有限制的可预报性取决于派生的随机过程目前状态所确定的未来概率分布的方差。

1.5 稳定性和不稳定性

我们需要增加一些定义来深入研究这一问题。在实际应用中，若过程是一维的，可简单地规定，在某一给定的时刻，同一过程的两种实现状态之间的差值为这两组数值之间差值的绝对值。若是多维过程，即定义为，差值的平方的相应加权平均值的平方根。若一种实现状态与另一种实现状态之间的差值不论现在与将来自始至终都保持小值，我们说这种确定性过程的一个实现状态是稳定的。反之，这种实现状态是不稳定的。在不稳定情形中，可以找到一些实现，它们同给定的实现的距离在现时是任意的小，但是，到最后都会超出预先规定范围。

据此看来，可预报性的决定因素不是确定性与随机性，而是稳定性与不稳定性。若一种实现状态是不稳定的，人们将会发现在目前同它相当接近（接近到难以分出彼此的程度）的另一些实现状态最终都会同它差别很大。所以，即使用完全的外推法做出的预报（外推应该跟踪这些实现状态中的任何一种实现）在多数情况下最后都会偏离作为输出结果的特定实现状态。另一方面，如果实现状态是稳定的，可用初始误差足够小的方法来作出未来某一指定时刻可靠（虽然不够完善）的预报。

值得强调的是，这些结论的通用性不只限于由积分控制方程组或是积分对它们进行近似后的方程组做出的预报。倘若存在许多可能的实现状态（其中任一实现状态最终都会与

其余的每个实现状态分离),那么没有一种预报(不论是动力的还是经验的,是主观的还是客观的)会较接近于这些实现状态中的某一个实现。要是有一次预报能跟踪正确的实现状态,它也只是一种巧合而已。

下文涉及到的是小的初始误差随时间增长速率问题,这种速率通常由复杂性程度不同的数学模式的数值研究来测定。当时,我们往往通过考查该实现的过去历史来决定是否会出现不稳定性。

首先假定我们研究的系统是一个紧凑的(compact),即对于任何实现状态,不同状态(状态间距离的值)的数目是有限制的。当系统是普通使用的大气数学模式中的任何一种时,情况就是如此。若系统是大气本身,情况就不一定是如此了。而在规定状态之间的差值时应合理地选取权重函数,这样,任一实现状态最后都可人为地使其靠近前面已获得的状态中的一个。如果实现状态是稳定的,那么历史的本身将近似地可重现,系统将呈周期性地变化。同样,若出现了非周期变化,即使有偶尔短暂的重复发生,这类实现状态一定是不稳定的(参看Lorenz 1963, Charney等1966)。

大气的观测表明大气是非周期变化系统。但大气有各种周期分量,可看出年和日循环和它们的谐波。要是把这些周期分量及任何近似周期分量从讯号中排除,仍然存在一个大的余数。仅就重复出现而言,周期分量在任意长期间都是可以预报的,通常预报员希望能预报的则是那种余数,然而余数本身不存在着周期性,经过相当一段时间以后,它是不可预报的。