

异常环流与阻塞

Roberto Benzi 主编



气象出版社

异常环流与阻塞

Roberto Benzi 主编

吴国雄 陆同文 纪立人 等译

吴国雄 校

气象出版社

内 容 简 介

本译文集是“异常环流与阻塞”一书的摘译本,它包括观测研究、理论研究和数值实验三部分。本译文集从大气内在动力学原因和大地形及热带海温距平等外部强迫作用两个方面对全球尺度的异常环流和阻塞形势进行了充分的研究和论述。文集对国内同行在这方面的研究具有很好的启发作用,对台站从事观测、预报的业务人员也有较大的帮助。全书翻译准确,语言较为流畅。

本书适用于气象系统各部门的科研和业务人员、大专院校的师生阅读,也可供水文等其它部门的有关人员参考。

Advances in Geophysics (Volume 29)

Anomalous Atmospheric Flows and Blocking

Edited by Roberto Benzi

Academic Press 1986

异常环流与阻塞

Roberto Benzi 主编

吴国雄 陆同文 纪立人 等译

吴国雄 校

责任编辑 陆 勇

科学出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 368千字

1991年5月第2版 1991年5月第一次印刷

印数: 1—1000 定价: 10.70元

ISBN 7-5029-0578-2/P·0327

译 者 的 话

大气环流持续性异常现象，如阻塞形势，一直是各国气象学界关注的研究课题。自七十年代末以来，更兴起了研究的热潮，这是因为大范围的灾害性天气往往同环流异常的持续稳定相联系，而其形成、维持的物理原因和机理还不很清楚。直到最近，对于这类过程的中、长期数值预报也还不十分成功。为了总结前期进展结果，并推动这一重要课题的研究，1984年夏季在罗马举行了“大气中全球尺度异常环流和阻塞形势”的专题研讨会，广泛邀请各国活跃在此问题研究前沿的专家参加。这个文集就是在会议的各邀请报告的基础上汇集而成的。

文集汇有16篇文章，包括历史回顾、观测研究、理论研究和数值实验四个方面的研究成果。这些研究基本上是沿着两条主干线展开的。一条是试图从大气内在的动力学原因来解释持续性异常环流的形成和维持；另一条则着重分析大地形和热带海温距平等外部强迫的作用。部分文章也讨论了这两者的联系。全书内容是比较丰富的，大体反映了七十年代末以来这一领域中欧美气象学界有代表性的观点和进展。

由于本文集很大程度上是作者们各自研究心得的集锦，而不是对此问题的系统和全面的总结，各文章间联系不多，也没有充分涉及对阻塞形势局域特征的非线性理论研究等近年来颇为活跃的分支。不过，由于不同作者从不同角度，以不同甚至是相反的观点对同一问题的论述，可能为读者开拓更为广阔的视野和留下更多的思考余地。

此译文集是由气象出版社组织翻译，从原文集中摘译了有代表性的12篇文章组成的。全书并分为观测、理论研究和数值实验三个部分。第1—3篇由陆同文译，第4篇由胡圣昌译，第5—8篇由吴国雄译，第9—11篇由纪立人译，第12篇由孙淑清译。全文由吴国雄统校。因翻译时间较紧迫，译文中有错误或疏漏之处，敬请读者指正。

译 者

一九九〇年于北京

序 言

地球物理的进展 (Advance in Geophysics) 通常习惯选择适时的选题。这一卷的选题是急速发展的低频天气变化性,并用与所谓阻塞天气型有关的特定大气环流大尺度“异常”特点来阐明这种变化性。众所周知,扩展可靠天气预报的范围,需要以对这些持续的异常环流型变化情况的理解为基础。本文集所收文章的突出特点是,它包括这一领域主要研究人员在该课题的观测、理论和数值试验各个方面的工作。这些文章最初都在IBM赞助的1984年夏季罗马讨论会上进行过介绍。

所选文章全面综述了这一选题,清晰地阐明并力图理解低频天气现象中所遇到的问题的各个方面。在这里首先指出的大气环流存在两类大尺度波结构这一观测结论,可能是最新成果。这两类波的相互作用,可能使得伴随下边界的非均匀地形和/或热力特性的重要的长波不稳定必然存在。在某种意义上说,这些发现表示以E.N.Lorenz开创的从低阶动力系统分析观点考查大气有限振幅非线性特点的新动力气象学,成功、迅速地获得了例证。尽管从这一思路出发所提出的第一个(正压)理论似乎没有能够应用到由这些资料发现的特殊形式的两类波,但是本书提出的某些理论思想,使得更加可能在不久的将来完善这种发人深思的、成功的低阶理论,虽然书中有些内容对此持保留态度,但已取得的重要新发现将有希望使更大范围的大气可预报性明显改进。

Barry Saltzman

前 言

近年来,人们十分重视研究异常大气环流的物理原因和机制,并对此做了大量的工作,如同在气象学中经常出现的那样,大量的工作是提出所需回答的问题。在1984年8月底在罗马组织的专题讨论会上,聚集了该领域大部分的主要专家,其目的是阐明和总结至今所取得的科研成果。讨论会的中心议题是:是否从物理学的角度存在有异常环流或阻塞的合理定义?如有这种定义,那么哪些过程与这样定义的异常环流的发展和衰减有关?

回顾有关的科技文献,可以认为对该课题兴趣最早始于1976年冬,当时北美天气极冷。从那一年的起,出现了许多描述或模拟大气中阻塞过程的文章,其所提出的关键问题是由改进的阻塞过程的数值预报能使一般的中期天气预报在定性和定量上能改进的程度。

罗马会议的成果之一是,依据一些正在研究中的、被明确定义的问题来重新描述上述问题。从这一观点出发,本书反映了讨论会上各位发言人的努力:理解其未来科学定义的共同目的。下面简要地总结其主要结果:

Charney(1947)和Eady(1949)的工作,使人们认识到大气运动的驱动源是作用在尺度大约为4000公里上的斜压不稳定性。这一过程的发现,已经使得预报气旋生成过程的业务数值天气预报的研制成为可能。目前数值预报的有效预报特征范围约为4—5天。这一特征时间与时间尺度 L/U 有着很好的对应(L 为尺度; U 为纬向风速,量级为 $10\text{米}\cdot\text{秒}^{-1}$)。Simmons的文章系统地评价了欧洲中期预报中心(ECMWF)最近两年使用的业务模式。说明了时间尺度上可预报性的减少主要是由于不能预报约10000公里超长波的缘故。如果我们假定一种不同的物理过程正影响尺度非常大的大气环流,那么我们能够推测:对于系统的缓变分量而言,数值天气预报的范围将延长到量级为10000公里/ U 的时间范围(约10—15天)。这个成为大部份会议讨论基础的推测直接与很多作者(Dole, Schilling, Sutera, Hansen)的观测研究相联系。尤其是Dole和Schilling两人分析了太平洋和大西洋的阻塞过程后发现,这些异常环流的特征时间尺度的量级是10天,而且,Egger等人 and Sutera介绍的结果指出,异常持续时间的概率分布十分精确地与平均时间10天左右的泊松分布一致。会上阐明了泊松分布并非是缺乏特征时间尺度的结论,而是表达了一种不稳定机制正在作用于系统。Frøderiksen的结论与此一致,他讨论了作用于气候状态的正交波型不稳定。静止波控制5天以后的发展的不稳定场,其流型类似于北太平洋和大西洋距平场。假如一种与通常斜压不稳定不同的不稳定作用于中纬环流的超常斜压波上,那么我们面临的问题是:这一过程是由边界条件还是强迫项(诸如热带强迫或海面温度异常)的变化所触发或是主要由于大气系统内部变化所引起的呢?Kalnay和Mo的文章,用GLAS(戈达德大气科学实验室)的大气环流模式(GCM)对1979年1月的南半球异常就这一问题作了直接的讨论。在此个例中,对于解释距平的持续时间和地理位置,热带强迫似乎特别重要。Shukla用GCM模拟明确地讨论了北半球对一个厄尔尼诺(El Niño)年的响应。海面温度(SST)异常和阻塞过程之间的相关,表明了北半球环流对热带强迫的一种不能忽略的响应。使用GCM区分大气环

流的内部和外部变化率一般来说比较困难,在 Mechoso 等的文章中讨论了空间(垂直和水平)分辨率高低对使用 UCLA(加利福尼亚大学洛杉矶分校)GCM 模拟北半球异常的影响,其特别重视对于预报平流层爆发性增暖的能力。Tibaldi 完成的数值实验指出,系统修改纬向气流可能对于改进超长行星波的预报有最重要的作用。根据 GCM 模拟的简单讨论,我们认为异常情况在数值模式中的描述还不完美,因此需要做大量的工作。尽管如此,正如气象学中 GCM 模拟类似于物理学中的实验室实验一样,我们期待在未来系统地使用 GCM,以检验为解释异常事件而提出的各种理论。

本书中有几篇文章从理论上讨论了外部强迫和内部变化率对大气环流的相对重要性问题,讨论研究了三个主要不同方面,即多态平衡、与阻塞过程区域特征有关的天气强迫作用和二维超长移动性的 Rossby 波的可能作用。Wiin-Nielsen 在文章中广泛地论述了其理论和观测研究的两方面在目前的状况和技术水平。多态平衡理论是1979年分别由 Charney 和 DeVore 及 Wiin-Nielsen 独立提出的。该理论的基本思想是研究大气“慢”变化,即超长行星波的相空间粗纹结构(coarse-grained structure)。在其第一次有系统的阐述过程中,由于同观测的大气环流有明显的不一致而产生很多疑问。然而,非线性动力作用与重新整理的拖曳方程能够明显地改进该理论。这一点在 Speranza 的著作中做了讨论。Sutera 介绍了多态平衡理论的系统检验,他估算了北半球冬季环流超长行星波(波数为 2, 3, 4)振幅的概率分布。分析20年的纪录证明,它们呈多态平衡理论所预报的双峰分布。每一平衡态的持续时间呈泊松分布,与上述的观测一致。Hansen 的文章介绍了两种波型的能量学。文章中讨论了与两种波型中静止波和维持高振幅波型的斜压能源。

多态平衡理论所假定的不稳定为全球性的,通常在大气中为波数 3。具有局地特征的异常环流有可能叠加在这一背景之上。这意味着在这种情况下天气尺度强迫起主要作用。Egger 等人的文章使用正压涡度方程讨论了这样一种从观测资料计算的天气尺度强迫对行星波的作用。发现计算的阻塞过程和观测的结果很相似。Shutts 描述了促使某些大西洋阻塞发生并维持的涡旋涡度强迫的作用。Pierrehumbert 最后讨论了正压和斜压气流中绝对不稳定产生的局地多态平衡的概念。值得指出的是,即使从来没有采用统一的方法,但阻塞局地理论和全球的理论既不矛盾也不抵触。

同异常过程是全球或局地动力学不稳定的结果这一解释不同,Lindzen 依据二维移动中性 Rossby 波的行为提出一种理论,它为用 Hough 波型对整个半球的 FGGE 资料的观测分析所证实。这类超长波的特征周期约为20天,其调整过程被认为是这些波的启动机制。不同尺度波之间的相互作用,能够产生大致类似的异常流型。

在这一阶段,我们不能明确地区分会议上所讨论的各种不同解释。今后的工作需要解决一些更加困难的问题。但是,我们深信我们明确的方向:努力改进对于大气大尺度异常状态的理解,以期能够延长天气预报的时效。

Roberto Benzi
Aksel C. Wiin-Nielsen

目 录

译者的话

序言

前言

第一部分 观测研究	(1)
I. 北太平洋上空的持续异常和阻塞系统的生命周期.....Randall M.Dole	(1)
II. 关于大气阻塞类型和阻塞数.....Heinz-Dieter Schilling	(31)
III. 具有双峰振幅分布的大气行星波的观测特征.....Anthong R.Hansen	(50)
IV. 大西洋阻塞期间涡动强迫的个例研究.....G.J.Shutts	(72)
第二部分 理论研究	(95)
V. 局地斜压不稳定性对涡度和温度的纬向非均一性的影响.....	R.T.Pierrehumbert (95)
VI. 天气尺度涡动对行星尺度阻塞反气旋的强迫作用.....	J.Egger, W.Metz, and G.Müller (106)
VII. 北半球中纬度环流的确定性和统计性特征:最简理论模型.....	A.Speranza (117)
VIII. 定常行星波、阻塞及其年际变率.....R.S.Lindzen	(135)
第三部分 数值实验	(152)
IX. 阻塞形势及成熟异常型的非线性演变和不稳定理论.....	J.S.Frederiksen (152)
X. 数值预报:欧洲中期天气预报中心业务预报的若干结果.....	A.J.Simmons (174)
XI. 欧洲中期天气预报中心全球模式中的包络地形和准定常环流的维持.....	Stefano Tibaldi (198)
XII. 海温异常和阻塞形势.....	J.Shukla (225)

第一部分 观测研究

1. 北太平洋上空的持续异常和阻塞系统的生命周期

Randall M. Dole

(美国麻省理工学院 气象和物理海洋中心)

一、引言

最近, Dole 和 Gordon (1983) 研究了北半球冬季高度距平持续性特征的地理变化, 他们特别把注意力集中于对固定地点而言其持续期超过天气尺度变率 (“持续异常”) 的那种异常现象, 而不考虑同期的大尺度流型特征。他们发现三个出现持续异常 (持续10天或以上) 较高频次的关键区: 北太平洋到阿留申南部 (PAC); 北大西洋到格陵兰东南部 (ATL) 和由苏联北部向东北到北冰洋上空 (NSU)。

随后, Dole (1986) 研究了与这些区域持续异常同时发生的流型的典型时间平均结构, 他发现, 对于每一个区域, 大多数持续异常个例与某一单一的基本距平型的增强有关, 其中一种距平型常与阻塞形势相联系。对于PAC和ATL区域, 基本流型与Wallace和Gutzler (1981) 所描述的某些突出的遥相关型 [分别为太平洋-北美型 (PNA) 和东大西洋型 (EA)] 相似。方差分析和滞后自相关分析表明, 多数基本流型的时间变率是由低频的季节内振动 (占优势的周期为10—90天) 造成的。

尽管上述研究描述了持续异常型时间变率的某些统计特征, 但是他们并没有考察这些型的发展和减弱的具体时间关系。在本研究中, 我们试图通过发现持续异常时间演变的系统性特征, 来扩展上述研究, 并将注意力集中在异常型的发展期和减弱期附近。为简便起见, 我们在此主要集中讨论与北太平洋中部上空持续性高度距平有关的流型和距平的演变, 同时也简要地讨论其它区域的持续异常演变的系统性特征。

二、资料

500百帕高度分析的资料是Dole和Gordon (1983) 和Dole (1986) 以前用过的。它包括美国国家气象中心 (NMC) 由1963—1964冬季至1976—1977年冬季共14个冬季 (每个冬季120天, 始于11月15日) 一天两次 (00和12GMT) 的北半球500百帕高度的最终分析。用于垂直结构分析的资料包括(NMC)由1965—1966冬季至1975—1976冬季共11个冬季 (每个冬季120天, 始于11月15日) 一天两次5层 (1000, 700, 500, 300和100百帕) 的位势高度最终分析。NMC分析的详细情况由Dole和Gordon (1983) 作了说明, 缺的资料进行时间线性内

插, 所有分析都在 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度网格上进行。按 Dole 和 Gordon (1983) 所研制的程序, 将资料由 NMC 网格空间内插到经纬度网格上。

原始距平定义为分析值对相应的长期季节趋势值的距平。对于 500 百帕高度距平分析, 在一个格点上, 季节趋势时间序列是由该点上 14 个冬季对平均时间序列相应的最小平方二次拟合决定的 (14 个冬季平均时间序列的第 1 个值是 11 月 15 日 00 GMT 14 个值的平均, 第 2 个值是 11 月 15 日 12 GMT 的 14 个值的平均, 以此类推)。垂直结构分析中的距平也类似地定义为对于长期 (11 个冬季) 相应的季节趋势值的距平。

此外, 对于 500 百帕分析, 原始高度距平 h' 已由一个尺度因子进一步归一化 (见 Dole 和 Gordon), 其变化与纬度的正弦成反比:

$$z'_0 = \{(\sin 45^{\circ}) / \sin \theta\} h'$$

这一尺度分析受到最近一次大气能量频散研究 (Hoskins 等, 1977) 的启发。由于柯氏参数有纬向变化, 所以高度场分析只能为能量传播的经向分量提供很少的信息。Hoskins 等提出流函数或涡度等量能为水平能量传播提供更好的信息。而此处的归一化方法是与由高度资料获取地转流函数所用的方法相类似的。

三、步骤

下面, 我们要论述的多数结果, 是由合成时间演变分析得出的, 此处所谓的合成, 是相对于客观定义的个例的开始 (或终止) 时间而言的。在本文中, 我们将集中讨论发生在 PAC 关键区的持续距平例子的演变情况, 其它两区的演变特征在别处讨论 (Dole, 1982)。文中关于确定持续距平个例的判别方法取自 Dole 和 Gordon (1983), 因此在此仅作简要概述。就象 Dole 和 Gordon 的文章一样, 如果某点上至少 T 天内的一个距平值保持等于或大于 (小于) 一个具体的数量界限 M, 我们就定义该点上出现持续正 (负) 距平。此例的总天数 D, 由距平首次通过 M 点 (开始) 的时间到下一次通过 M 点 (终止) 的时间来定义。在本文中, 我们将集中研究由一组临界值 $[(+100, 10 \text{ 天}) \text{ 和 } (-100, 10 \text{ 天})]$ 所得出的结果, 它表现出对大范围数值的广泛代表性。

对于所有分析, 个别的开始和终止日期, 是由在一定的“关键”点上对 500 百帕高度距平时间序列采用上述标准决定的。这些关键点是以前 (Dole 和 Gordon) 所得出的 (正和负) 持续距平个例总数取得区域最大的那些地方。为了消去与过境的天气尺度扰动有关的短暂瞬变波动对开始 (和终止) 时间的可能的影响, 在使用所选标准之前, 时间序列首先要进行低通滤波。所用的具体滤波器消去少于 10 天左右时期的波动。Blackmon (1976) 详细论述了它们的特征。PAC 区“关键点” (45°N 、 170°W) 有 15 个正距平和 13 个负距平个例, 约为未经过滤资料得出的一倍 (Dole 和 Gordon, 1983)。Dole (1986) 提供了一个个例和周期表和对个例合成的时间平均三维结构的描述。

某一给定区域和符号个例 (例如, PAC 正距平的例子) 的合成时间演变场由该类所有个例的平均时间得出。这里的时间是指在关键点上低通滤波距平越过临界值的时间 (距平发展分析中定义为开始时间, 距平崩溃分析中定义为终止时间)。将正好通过临界值的时间定为 0 天。对于发展分析, 共制定 30 天的逐日合成场, 由开始期前 10 天 (记为 -10 天) 到开始期后 19 天 (记为 +19 天)。对于崩溃分析, 合成时间演变场由 21 天构成, 由终止期前 10 天 (记为 -10 天) 到终止后 10 天 (记为 +10 天)。

四、500百帕高度异常型的发展

我们首先通过用低通滤波资料构造合成场去研究500百帕异常型的“慢”演变情况。它提供了发展的概貌并使我们能发现一些细微的特征，这些特征部分被高频振动所掩盖。其次，我们由此检验在异常型快速演变的某些关键时间由未过滤的资料构成的相应的合成场。随后，我们将进行附加的简单分析，以对其发展提供一个更完整的见解。在以后的讨论中，我们将主要集中研究0天前后的情况。

1. 低通滤波高度异常型

图1.1为PAC15个正距平例子的由开始前4天(-4天)至开始后6天(+6天)，间隔为2天的合成距平图和相应的合成距平置信度(用零平均值的解消假设(a null hypothesis of zero mean)的双边t-检验计算的)。直到开始期前几天这些分析的前兆并不显著，实际上，在-4天，仅在苏联北部到西藏高原西北部的有限区域有t-值超过99%的置信度。请注意，到-2天，在整个太平洋20°N以北，平均距平与零值无明显差别。开始期之前(及后面较短的范围)的异常型结构表明，有关的风距平主要是纬向分量的。

一个孤立的正距平中心在0天在关键区上空建立。此时之后，在主要中心以南，接着在其下风方向形成距平中心。这些中心增强时没有明显的位相传播。在+4天PAC正距平型建立，在主要中心下风方发展的这一总特征，使人强烈地联想到在简单的球面模式中所见到的能量由局地瞬变(如启动)涡源频散开去的情况(Hoskins等, 1977)。但是，在太平洋上空，上述中心几乎同时发展，几乎呈南-北走向，而且距平轴没有倾斜，於是难以确定能量传播(如果有的话)的经向分量。实际上，在此区域，此型有些相似于一个发展着的驻波。

类似的PAC负距平合成和相应的置信水平图见图1.2。可以看出，此型的演变与前面看到的正距平的结果表现出极大的相似性。在-4天，显著距平的最大区域再一次位于上风区亚洲大陆的上空，由西藏高原向东到日本的广大区域，伴有超过99%置信水平的值。但与正距平的情况相反，显著负距平的主要区域主要位于喜马拉雅山及其以南。到-2天，显著负距平区基本局限在这一区域；与正距平情况相同，此时风的距平也主要出现在纬向气流上。到此时，北太平洋中部上空的高度距平仍在零值左右。一个孤立的负距平中心于0天在关键区上空建立，随后，在下风方有依次加深的负距平中心。在北大西洋上空，正负距平型间的最大差异从第4天开始出现。在此负距平例子中该地区出现强的正距平中心，而在正距平例子中没有出现相应的现象。

通过绘制正距平和负距平演变例子的差值图，发展的对称性(符号相反)可以更简便地计算出来。图1.3表示由-4天到+6天2天间隔的合成距平差值(正距平-负距平)及相应的两类平均值[等值平均的解消假设(null hypothesis of equal means)]之差的置信水平。正如前面分析指出的，在主要距平中心发展之前，正距平和负距平的主要差值出现在上风方，主要在东亚上空。在-2天，高差值的南部向东扩展到北太平洋西部，但值得注意的是，在北太平洋20°N以北和170°E以东，正距平和负距平之间的差值在0天以前在统计上都是不显著的。这些分析表明，在500百帕资料中，北太平洋距平型发展之前的最重要特点是位于上风方，且基本上与东亚和北太平洋最西部的纬向气流相联系。相反，北太平洋中部上空距平即将发展之前的符号，对于辨别即将出现的是正距平还是负距平，似乎可能没有什么价值。

2. 未过滤的距平分析

尽管上面分析所用的资料是低通滤波的，主要中心看来发展得相当快。为了进一步寻找

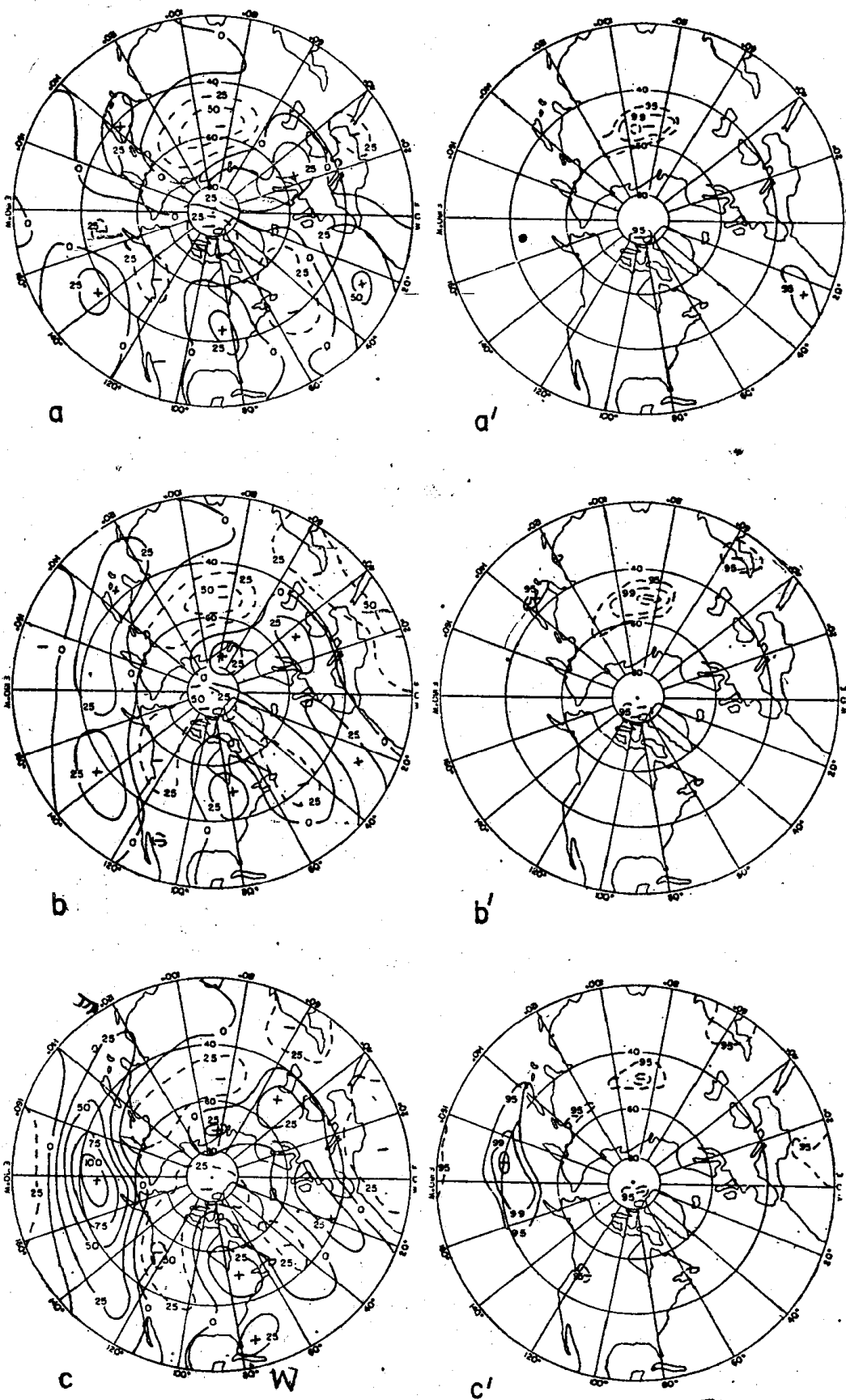
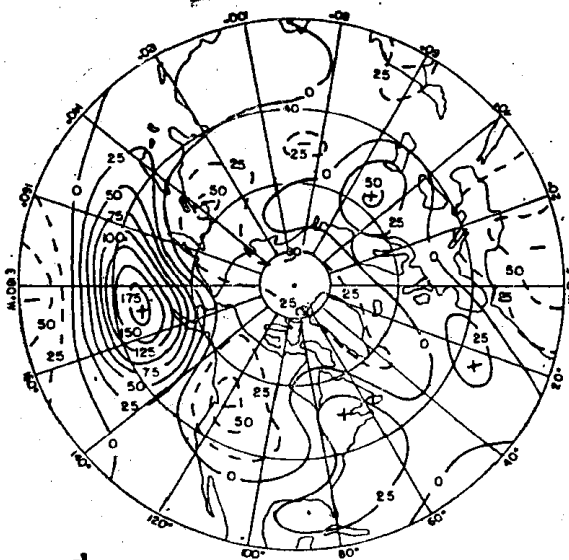
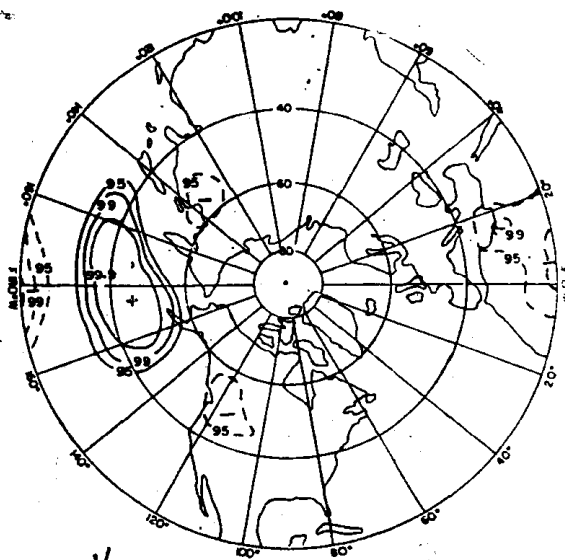


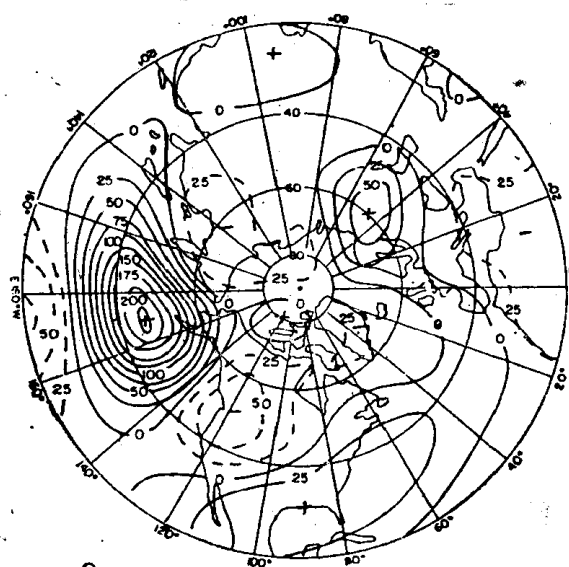
图1.1 由15个PAC距平例子得出的低通滤
 (a) - 4天; (b) - 2天; (c) 0天; (d) + 2天; (e) + 4天; (f) + 6天。同时间具



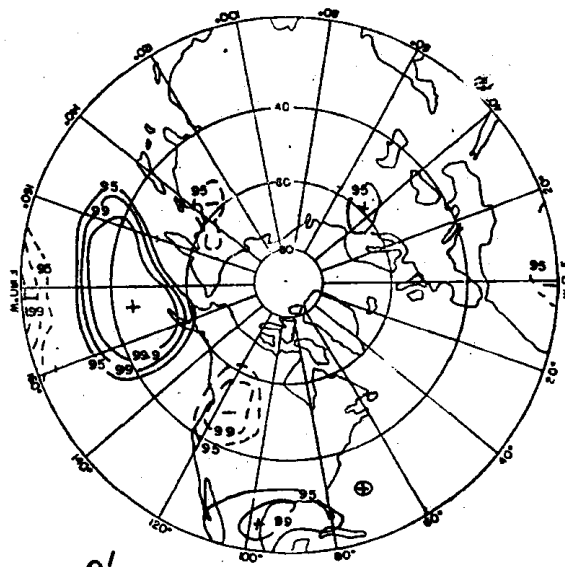
d



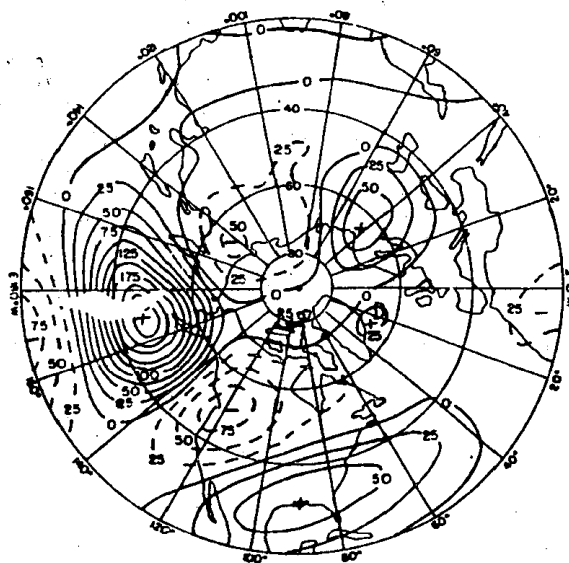
d'



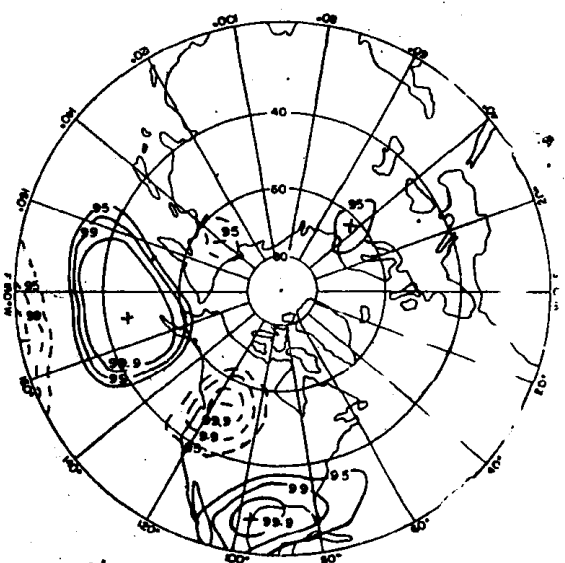
e



e'



f



f'

波500百帕高度距平(gpm)的合成平均时间演变
有各种不同置信度的大于或小于零的合成平均距平区域在a'—f'中给出。断线表示负距平值

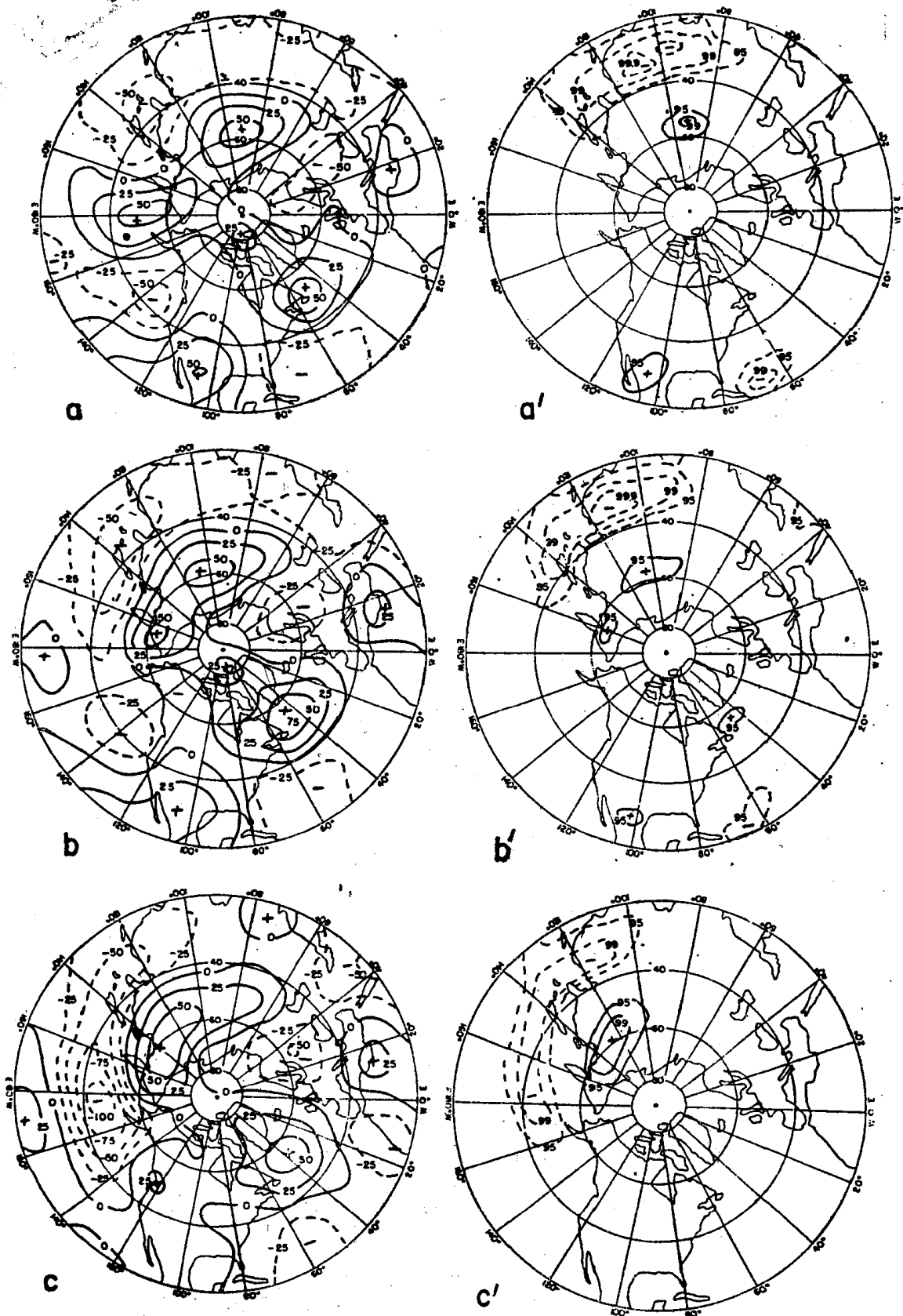
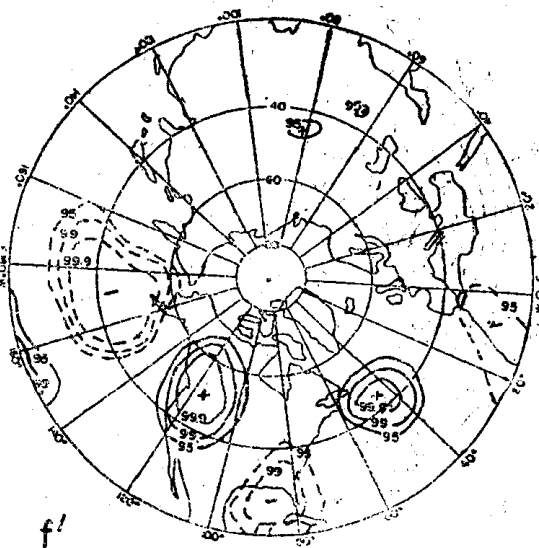
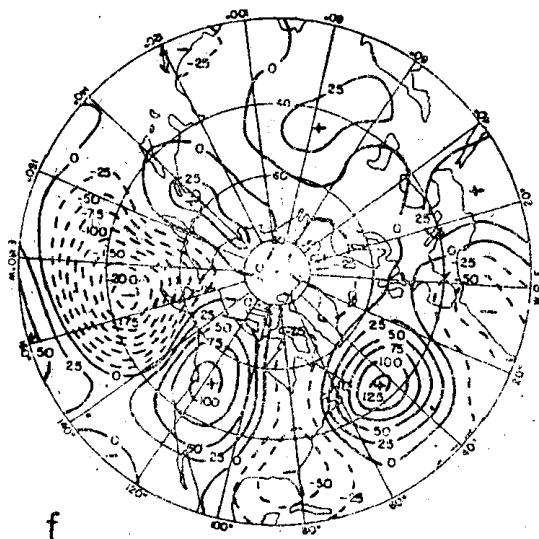
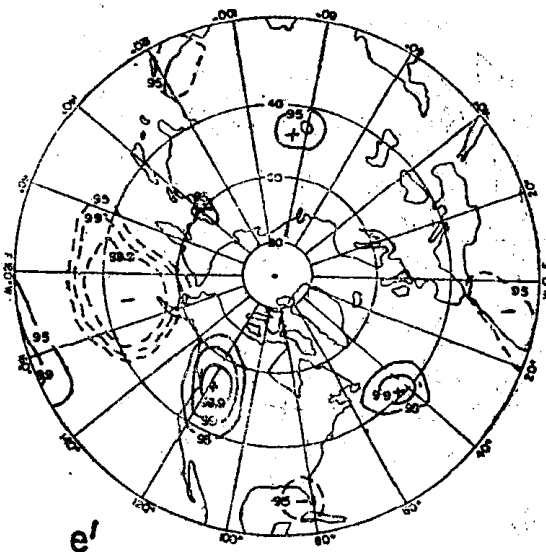
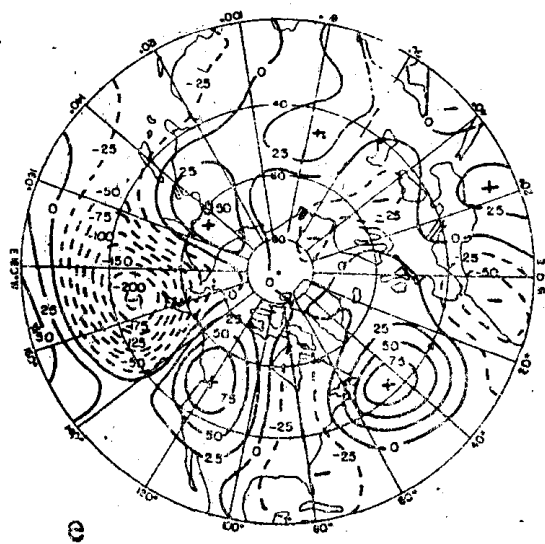
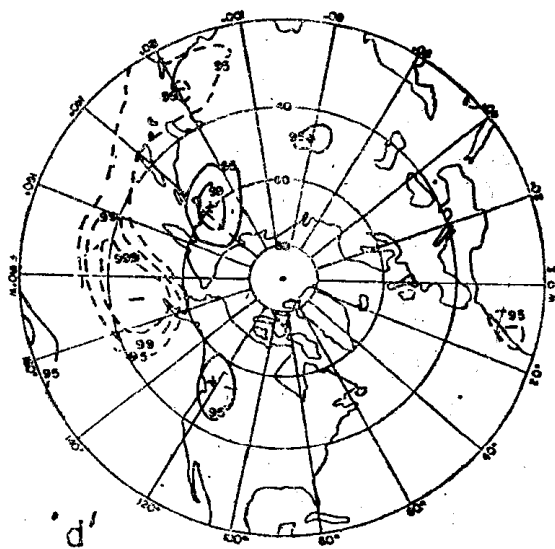


图1.2 同图1.1, 但由13个PAC负距平个例中得到的低通滤波500百
(a) — (f) 分别为相对开始时的前4天 (-4), 前2天 (-2), 当天 (0), 后



7

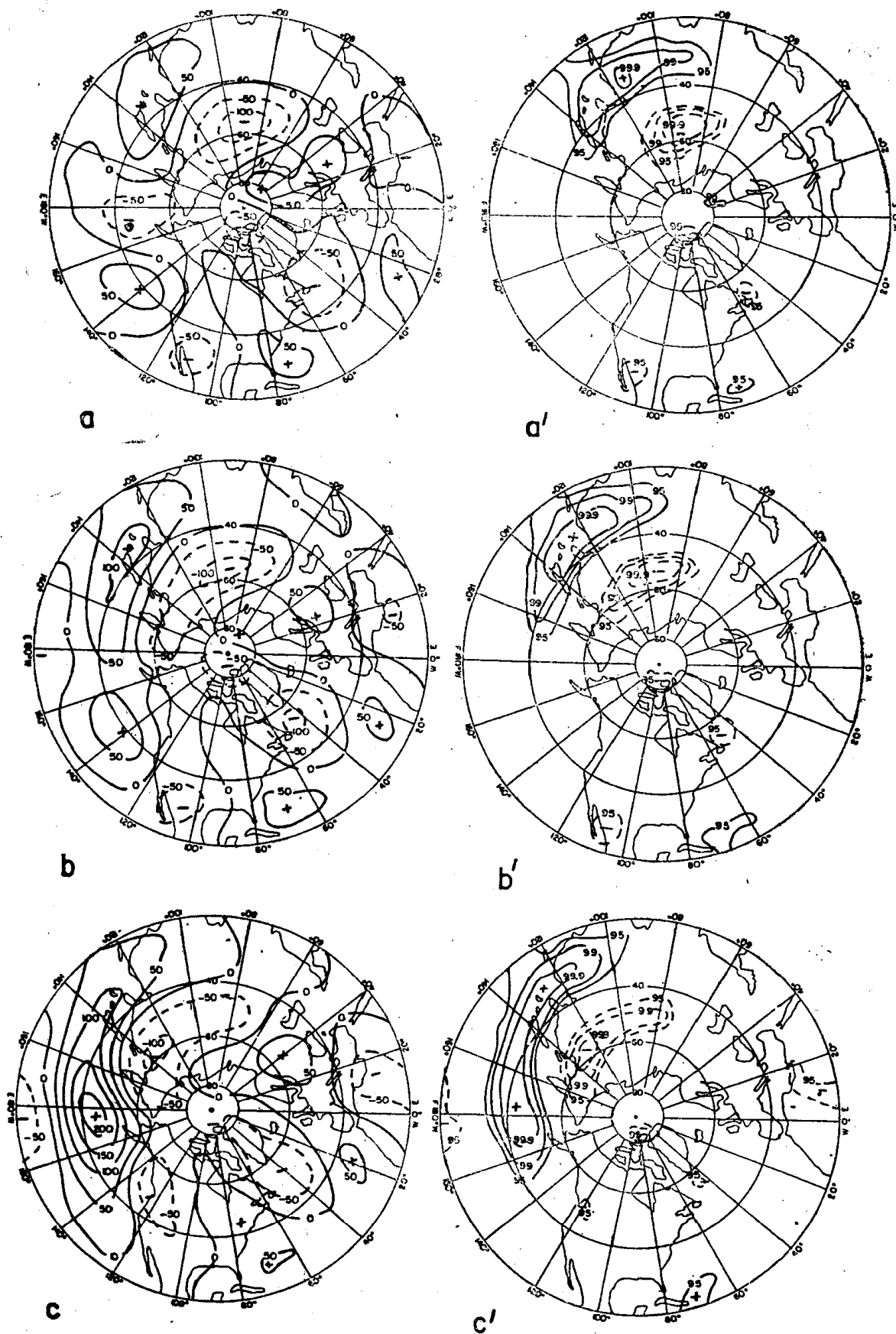
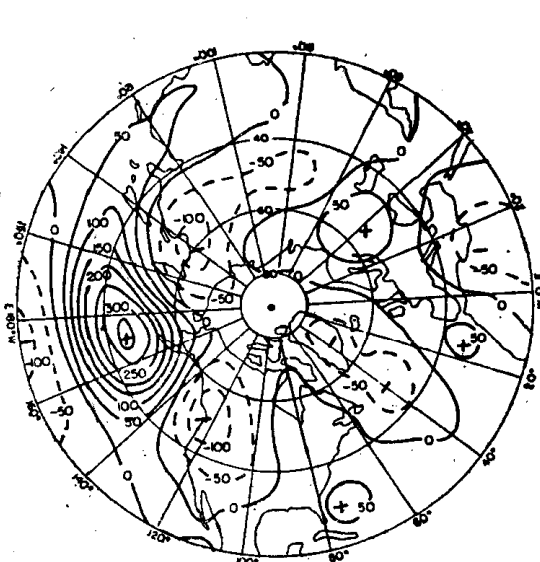
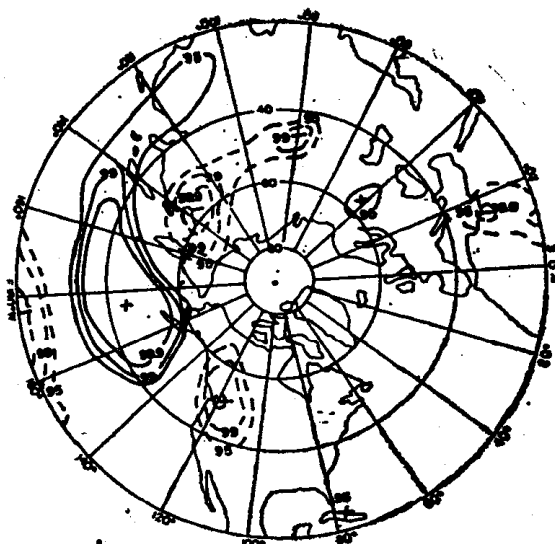


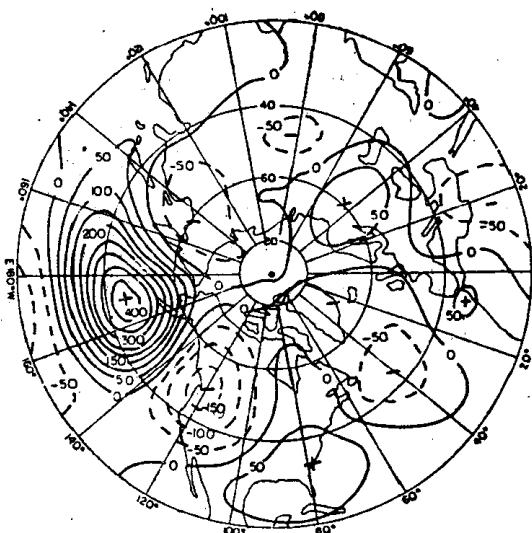
图1.3 同图1.1, 但为PAC15个正距平例子与13个负距平例子低通滤
(a) -4天; (b) -2天; (c) 0天; (d) +2天; (e) +4天; (f) +6天. (a') -



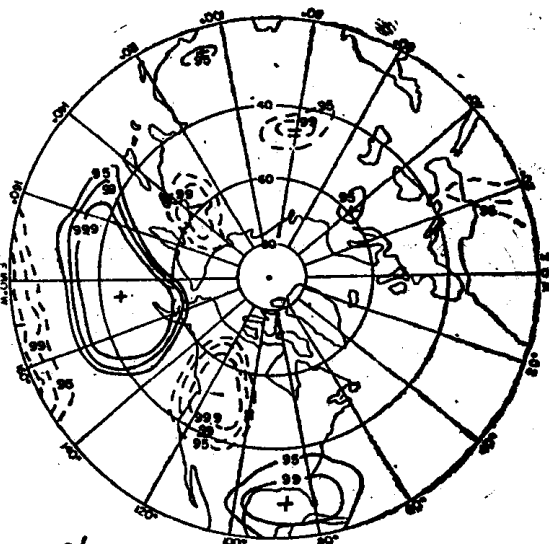
d



d'



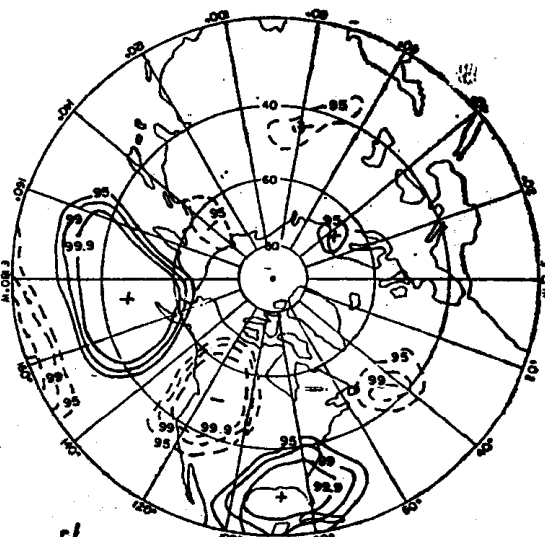
e



e'



f



f'

波的500百帕高度距平（米）组合之差的时间演变

(f') 给出显著大于零的两种距平差值的各种不同置信水平分布断线表示负的距平差值