

编号: 7310

最近国外水文文献 选译

第三集

华东水利学院
水文系文献編譯組

1973年8月

目 录

关于水庫群的洪水預报系統 (一) (1)

关于水庫群的洪水預报系統 (二) (30)

降雨預报及其对策 (45)

河川短期出流預报 (65)

发电水道不稳定分析 (72)

关于水库群的洪水预报系统(一)

岩田元恒*

田村滋美**

1. 前言

最近很强调充实加强水库群的综合管理,这不仅对于拦水坝的洪水调节是如此,对于水力发电的专用水库也是如此。即当同一水系中有两个以上的水库时,把它们作为水库群在有机地结合的基础上进行管理,对河川法四十四条所规定的“维持以前的机能”得更确切地实施,同时在发电运行上也被认为是有效的。

本文作者对于现有的发电专用水库群,认识到考虑下列目的的综合管理系统的必要性,这些目的是:

(1) 水库群有效的运行;

(2) 情报传递及情报处理的迅速正确化;

(3) 水库操作业务的合理化。

在2~3年前,以 *Software* 为中心进行了一系列的开发。为了把水系中一系列的水库群,在时间系列相关的基础上,以实用的精度,能够预报出洪水量,这样的系统是必要的,而且根据流量预报,决定各水库的操作方案,这样的水库最优运用系统也是必要的。

本文作者以信浓川上游的厚川上的水库群(图1)为特例,就其洪水预报系统进行探讨。而对对象流域有关的降雨径流特性进行详细分析研究,最近完成一定降水洪水预报方法的分析,获得了成果。这一降雨预报方案是由高空气象资料回归来预报,在水库操作上必须的短期降雨定量预报只是勉强作出的,所以,可以断言,将来仍有精度提高的问题。关于降雨的统计预报方法,铃木氏曾在土木学会志上发

* 东京电力公司工务部水路科长。

** 东京电力公司工务部水路主任。

表过，那是从气象统计学的观点来考虑降雨预报方法与统计分析理论为主来叙述的，而本文则是把作为水库运用的洪水预报系统的一环的降雨预报，即向降雨预报实用化方面前进了一步，将由实际的例子作具体说明，供应用方面参考。

另外，现在结合降雨预报系统与出流预报系统的洪水预报系统中特有的若干自身修正机能，用模拟来进行验证，关于这方面如有机会也将要报导。

2. 水库群洪水预报系统

洪水预报系统，根据作为对象的水库的用途，河川法上分类等所规定的预报时间、预报的重点随洪水的波形、洪水的总流量

而不同，需要按逐个情况进行分析。我们探讨的对象是犀川水系的五个水库，全属河川法上第三类水库，其操作方式是，洪水发生时闸门全部打开，使其自由洩流，所以预报的重点在于闸门全部打开以前洪水业已发生。现在，在这一水库群最上游的生阪水库，从降雨开始三小时后即出现流域上游的降雨影响。因此，由实测降雨资料预报流量只有不到三小时的预见期。而另一方面，根据河川法生阪水库闸门的操作起码需要六小时，因而，仅由降雨规则来预报，显然和实际要求是不协调的。有必要开创新的预报方法，于是考虑到下面的预报方法。图

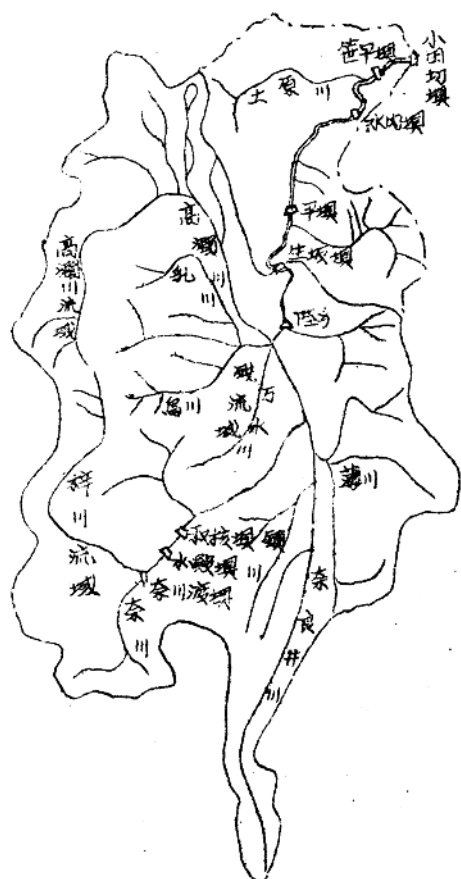


图1 流域略图

2是現在我們所考慮的洪水預報最優方案。如圖所示，這一洪水預報系統是由降雨預報和徑流預報的兩個次級系統構成的。這些新方法先是各自獨立的，從過去資料推求回歸，然後，把兩個系統聯結起來解決聯合處理時的各種問題，最後研究洪水預報系統的精度、特性，這就是預定進行的所謂方法順序。

表一1 水庫及水電站諸要素

項 目	生阪電站生阪壩	平電站平壩	水內電站水內壩	平電站平壩	小田切電站小田切壩
壩 型	混凝土重力式	混凝土重力式	混凝土重力式	混凝土重力式	混凝土重力式
壩 高	19.50 m	20.00 m	25.30 m	19.30 m	21.30 m
壩 頂 長	106.40 m	87.80 m	182.10 m	112.70 m	147.86 m
洩 水 孔	寬11.00m×高11.30m×4孔 寬11.00m×高13.30m×2孔	寬11.00m×高13.80m 5孔	寬9.00m×高8.30m 14孔	寬9.00m×高10.00m 8孔	寬9.00m×高9.00m 9孔
設計洪峰	3,330 m ³ /s	3,620 m ³ /s	4,200 m ³ /s	4,050 m ³ /s	4,080 m ³ /s
洪 水 量	800 m ³ /s	800 m ³ /s	500 m ³ /s	800 m ³ /s	800 m ³ /s
流域面積	2,263 km ²	2,467 km ²	2,620 km ²	2,760 km ²	2,787 km ²
高 水 位	高程497.00m	高程472.00m	高程425.00m	高程393.80m	高程379.80m
低 水 位	高程494.70m	高程469.50m	高程423.74m	高程392.80m	高程377.10m
最大落差	2.30 m	250 m	1.26 m	1.00 m	2.70 m
總 庫 容	2,492,000 m ³	2,525,000 m ³	2,744,000 m ³	2,632,000 m ³	2,457,000 m ³
有效庫容	1,104,000 m ³	1,173,000 m ³	860,000 m ³	493,000 m ³	1,228,000 m ³
水電站出力	21,000 kw	15,600 kw	31,000 kw	14,700 kw	16,900 kw
最大用水量	115.0 m ³ /s	130.0 m ³ /s	138.0 m ³ /s	140.0 m ³ /s	140.0 m ³ /s

3. 降雨預報系統

3.1 降雨預報方法

現在所提出的預報系統的目的是為了使洪水時小庫容的水庫能作最優的運用。在洪水發生時波形就成了預報對象，對於系統的要求來說，是極短時段中的降雨，但對氣象現象而言，即要求定性地（判斷下不下雨）並且定量地（下多少毫米）預報局部地區的降水。

上述要求是理所当然的事，然而現行的公共預報服務的情報是不能滿足這樣的要求的。

人們對水庫運用有關的最終判斷總是盡量做的，但各個預報系統中最好盡量不要摻入人的主觀成分，即使必要，人們作判斷時也希望預報系統不要求過高的專門知識。

基于以上观点，对这个問題在編制方案时要考虑到以下两种方法。

(1) 物理方法

这个方法是把大气运动方程，降雨的发生机制转换成简单的模式或公式，用气象力学及气象热力学原理进行数值计算，来预报。

現在，对于台风时的每小时降雨，已提出用位置、能量、半径、气压等要素进行预报的方法。然而，对于其它的降雨，特别是锋面暴雨，降雨发生机制尚有不明之处，观测站网也不密时，预报方法尚未

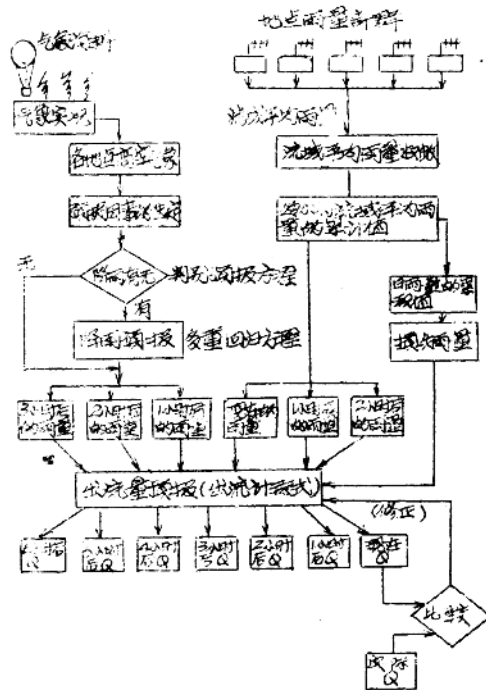


图2 洪水预报系统

作成。

(2) 統計方法

降雨发生机制是复杂的，而且成因也很多，对于这些现象怎样影响降雨，其原因要逐个查明，并由气象专家努力将其公式化。然而，目前要达到这一步还令人感到甚为遥远。另外，如上所述，从大尺度掌握这一现象加以模式化也还未成功。

在这种情况下，能妥善使用的方法是统计方法，把在经济预报等方面使用较多的方法就降雨预报来作一具体说明，对可能成为降雨原因的某些物理因子尽可能作详细调查，并把它们一一变换成数值，由这些因子，根据相关分析，因子分析，主要因子选择和其他统计方法，选择影响大的主要因子，最后建立适当的预报方程。

3. 2 由高空气象预报降雨的方法

用统计方法建立预报方案时，如何求得预报因子是一问题。在现在的气象学中，降雨发生机制由地面至高空的大气中种种变化所造成的事实已经清楚，而地面至高空的气象观测资料1天两次，即9时和21时观测记录现在由气象厅发表（气象时报），采用这个作为预报因子也很方便。

降雨预报方案扼要说明如下：由全国若干个高空气象站1天两次发布的观测记录，计算预报因子，把预先求得这一预报因子，代入判别方程判断有无降雨，其结果如预报有雨，把预先求得的与判别时用的相同预报因子代入回归方程求降雨量。这样将作为对象的每一个时段求预报用的判别方程，回归方程，以3小时作单位时段，可以求得10个式子。

4. 降雨预报系统的分析

4. 1 分析程序

本预报系统的分析程序大致如图3所示。

4.2 预报因子

降雨是空中水汽凝结成水，不能再浮游而落下的现象，所以把对其移行过程中有影响的各高空因子，作为预报因子就行了。图4所示是降雨发生过程的模式，按此图所考虑的过程在实际情况下仍然是很复杂的，如大胆地述其要点，可提出下面五点。

- (1) 大气低层区域的辐合，引起含有水分的气流；
- (2) 因四面无去路气流上升，
- (3) 一上升，由于周围空气冷，上升气流温度下降，^{*)} 上升气流内的水分冷却，其中一部分易于凝结落下；

(4) 而且从外部进入的湿空气中的水分也与上升气流在一起，使其水分逐渐增加，从低压性的气压场显现出水分易于集中的状态；

(5) 结果，不能在空气中保

• 气流上升，因空气膨胀做功，而绝热冷却，温度下降，不是上升后周围空气冷而使上升空气温度下降。——译者注

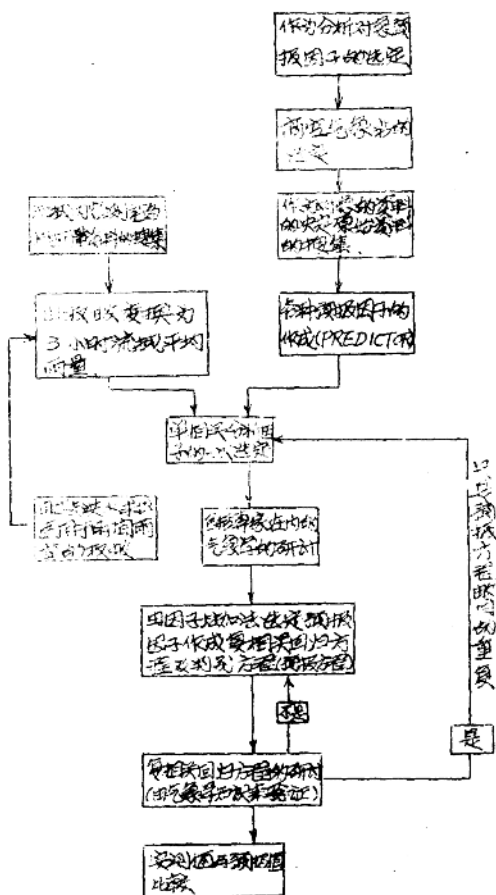


图3 降雨预报的分析步骤

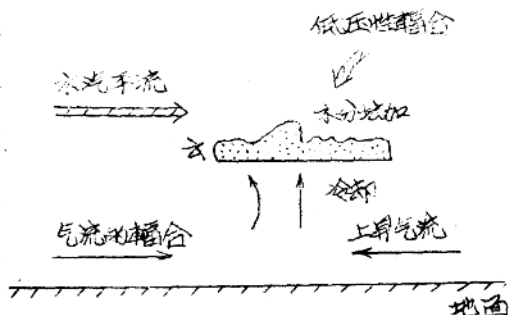


图4 降雨现象的过程

持浮遊状态的水分变成雨而落下，浮遊状态的水分成云而存在。（降雨时天必阴沉昏暗，即为此故。

与此五个过程有关的主要因子，是由高空观测所得的气压、气温、风、湿度等以及由此四要素计算求得的等压面高度、混合比、露点温度、涡度、上升气流、辐合、辐散等。

4. 3 预报因子的说明

预报因子在气象学中是相当专门的东西，而洪水预报本身最近流行的是跨学科的方法，距离完全了解还差得远，这里仅试作说明。

(a)等压面高度

是用以代替高空气压的气象要素，它含有局部的规模，为了了解较广的气压配置，同时也为了知道某高空观测点是高压还是低压，一般是用1000、900、850、700、500 毫巴等压面的高度，以 ϕ 表示，单位是位势米。

(b)混合比

以与单位重量的空气相混合的水汽的比例（克/千克）表示。1千克空气中含3克水汽时，即为3克/千克。

(c)风速

从什么方向来，吹向什么方向去，风是强是弱，这些表示空气流动的强弱，该要素起着运输湿空气的作用。

(d)露点温度

是表示作为对象的空气温度降到几度以下时，水汽饱和成水。

(e)涡度

所谓台风和低压，其气流呈现出沿反时针方向向其中心一边旋转一边辐合的状态，这一旋转辐合的流体运动用“涡度”表示。

(f)上升气流

大家知道，地表附近如有气流辐合，因四面无出路，形成上升气

流；如有气流辐散，为了补充它，将有下降气流。含水汽的气流一上升，气流内的温度由于周围冷而下降，饱和成水，这是降雨的原因。高空的上层气流如(a)以等压面高度来说明的，可由1000、900、850、700、500毫巴等五个

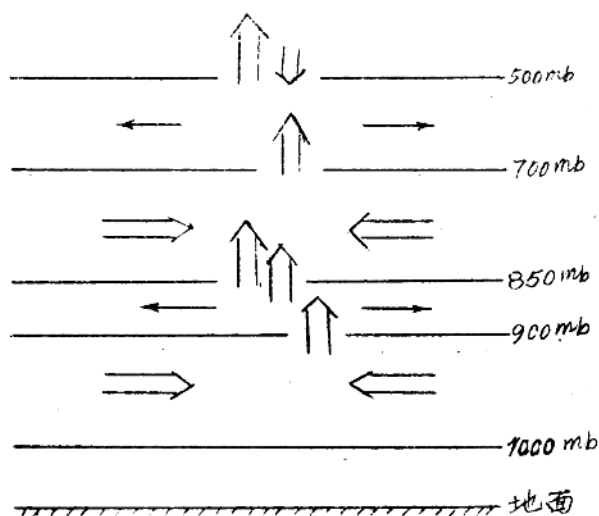


图5 上升气流

面的辐散辐合，即显示出对等压面高度变化的上升速度的变化。例如图5中，1000与900毫巴间的一层中如有气流辐合，在900毫巴面上上升气流(ω)900假定是由这一层间的平均辐合所引起的，即

$$(\omega)_{900} = \frac{1}{2} (1000 \text{ 毫巴的辐合} + 900 \text{ 毫巴的辐合}) \times 100 \text{ 毫巴厚度}$$

(g) 辐合与辐散

从高空风的方向和速度来计算，分析三个地点的观测结果，这三个地点分别联以直线得一三角形区域，如有吹入这三角形区域的风速成分为辐合，反之，如有吹向三角形区域之外的风速成分为辐散，即负的辐合。

(h) 其它因子

除上述以外，与降雨有关的主要因子有水汽的输送量。它可用(风速 × 水汽压)或(风速 × 混合比)表示，其物理意义是表示风运送水分的程度。

4.4 高空气象站的选择

俗語所謂“天气从西而变”，降雨基本上常常是暖、湿的亦道气团和小笠原气团，另外有台风、低压等偏西风自西而来所形成的。1次预报对象时期由6月至10月。这一期间西伯利亚、鄂霍次克两气团不大有影响（参看图6）。图7所示我国全部高空气象常定测站有15个，其中在以预报对象流域为中心位置的有7个站（馆野、八丈岛则在其东侧）这些站的资料选出来供预报使用。

4.5 流域平均时雨量

这里所求的降雨预报系统是把预报结果加入流量预报系统，最终预报出流量，所以生阪水坝上游全域（约2200公里²）的流域平均时雨量成为预报对象了。

流域平均时雨量 (Rave)

最好由流域内尽量多的测站资料来推求，因为考虑到预报系统分析中使用的时雨量

达到巨大的数目，所以把以（根据宇津木政雄“天气预报手册”）前的就日雨量选定的代表雨

量站作部分修正，由7个站求Rave，如图8，各站权数的计算是由昭和32年至昭和41年的18次洪水总计607小时的降雨，按泰森多边形分割求面积雨量，以后由最小二乘方法进行计算。

表-2列出各站权数。为了为资料缺测作准备，所以也求出了某一个测站缺测情况下的权数。

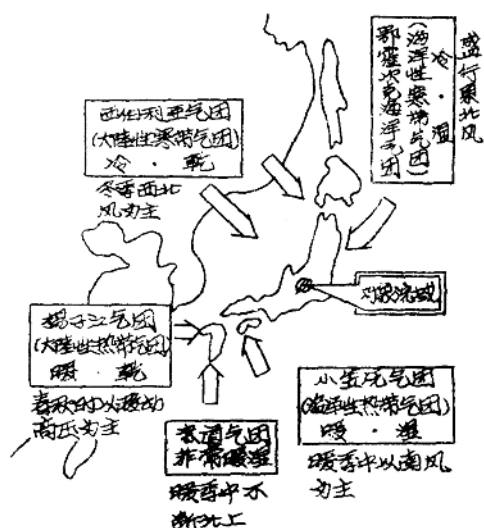


图6 日本附近的气团

4.6 預報系統分析中使用的資料

判別方程和回歸方程最好是按降雨成因分別作出。在這裡，鋒面梅雨占優勢的6、7月，加上暴雨顯著集中的8月共3個月與以台風雨為代表的9、10月兩個月，對這兩種情況進行分析。

資料搜集的時間，6、7、8月的一組放慮到昭和36年，37年的大雨，所以取昭和36年～39年的四年，9、10月的一組與三個月的一組相同的年份，因資料數目關係，另外也加上昭和40年的，即把昭和36年至40年的五年作為對象。

高空資料與地面氣象關係程度有高低，其中就代表性的等壓面高度選取1000、900、850、700、500、300、200、100毫巴等八個高度。因此，從高空觀測能得到各等壓面高度、溫度、濕度、風向、風速等五個要素（但溫度取到500毫巴為止，僅五個等壓面上的），而且，一天有二次定時觀測，資料總數6、7、8月一組約20萬個，9、10月一組約16萬個。

關於降雨的原始資料約用了500個，另外，（4.3）中說明的作為預報因子一天一次，全部630個因子，資料總數超過80萬個。

5. 預報因子的選定

5.1 預報因子一次選定方法

由（4.3）中從高空氣象觀測值中採取作為預報因子有630個，從這630個因子中挑選影響最大的因子，得20～30個組合，其最終目的是組成判別預報方程和回歸預報方程。對630個因子全部的組合，用電子計算機計算也要相當時間。因此，這裡先把630個因子逐個地與降雨量找關係，即進行單相關分析。另外進行因子相互間的內部相關分析。因子數篩選到130～150個。在篩選時將選擇的標歸納為以下四點。

（1）雨量與因子單相關中，選相關係數絕對值大的；

- (2)选因子之中内部相关尽可能小的;
- (3)选性质不同的预报因子之中认为是重要的;
- (4)选择从物理上看认为对雨量预报有作用的因子。

5.2 判别方程制作的一次因子选定

下面分析的是对制作三小时雨量的预报系统而进行的, 判别方程的单相关以下列各情况推求。降雨之有无是以三小时流域平均雨量 > 0.06 毫米作有雨计。

计算单相关的情况

9 时观测资料 10 时 ~ 12 时, 13 时 ~ 15 时,
(五种情况) 16 时 ~ 18 时, 19 时 ~ 21 时,
 22 时 ~ 24 时。

21 时观测资料 22 时 ~ 24 时, 1 时 ~ 3 时, 4 时 ~ 6 时。
(五种情况) 7 时 ~ 9 时, 10 时 ~ 12 时。

5.3 制作回归方程的一次因子选定

判别方程的单相关分析中把实际有雨时之资料作为计算对象。计算情况与 5.2 相同, 有 10 种情况。分析结果之一例如表三所示, 这次选定是计算雨量的单相关系数, 按次序选出其中大的。预报与观测时间 (9 时、21 时) 较近的时雨量时, 远离流域的测站, 对雨量影响不大, 表三中, 如福岡各高度 1000 毫巴上——0.2165, 900. 毫巴——0.2041, 850 毫巴上——0.1918 等所要求的相关情况, 这些因子的内部相关被认为是非常高的。中等的 900 毫巴的因子相关大也应除去等。

5.4 预报因子的二次选定法

由 (5.2) (5.3) 的结果, 630 个因子中选择后达 120 ~ 150 个程度。下面由其中挑选复相关最高的预报误差最低的因子进行组合, 也选得 20 ~ 40 个。这个因子组合有无数个, 所以因子的决定, 需要
~ 12 ~

表一 3 单 相 关 表 (等 压 面 高 度)

24 小时雨量 10~12

地 点 要 素	輪 島	館 野	沙 岬	八 丈 島	米 子	福 岡	鹿 儿 島
Z 1000 mb	2013	1469	2262	1197	2031	2165	2449
Z 900 mb	2141	1445	2008	1043	2282	2041	1967
Z 850 mb	2132	1470	1776	0901	2313	1918	1772
Z 700 mb	1931	1382	1383	0639	1991	1429	1382
Z 500 mb	1231	1040	0662	0710	1062	0401	0578
Z 300 mb	0250	0096	0374	0208	0181	0327	0113
Z 200 mb	0662	0352	0994	0069	0404	0455	0304
Z 100 mb	0592	0017	1393	0455	0075	0355	0079
	.	.	.	.	.	.	.

。根据因子一次选定所选出的

非常龐大的計算量。這次是採用了計算量比較少的因子增加方法來決定因子的，而因子增加方法是把與預報對象 Y ，單相關絕對值最大的預報因子從 $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ 之中取一個 $Y^{(1)}$ ，從余下的 $p-1$ 個之中，

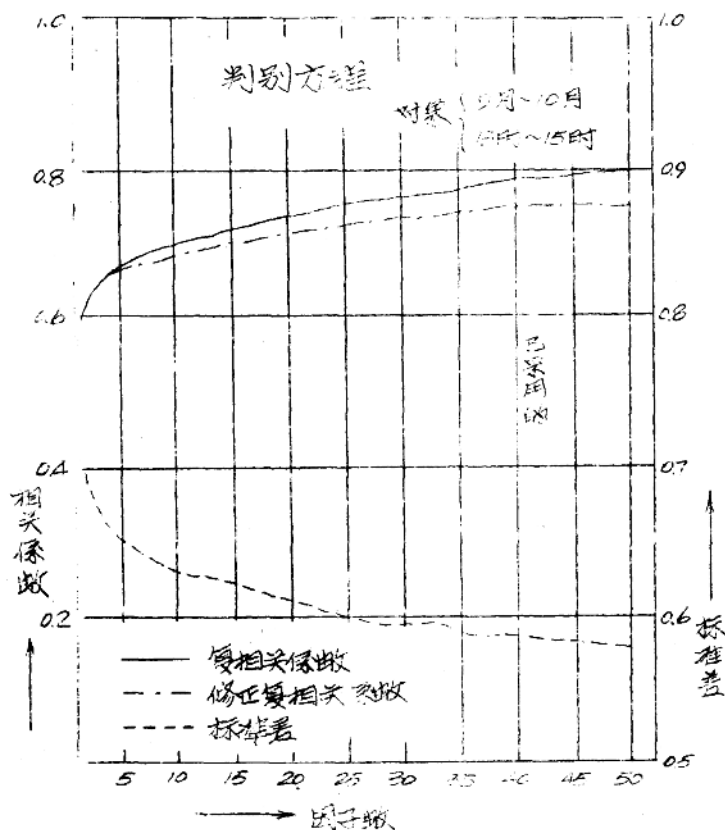


圖9 因子增加時復相關係數及標準差的變化

挑選出 Y_1 與 $Y^{(1)}$ 和 Y_2 的復相關係數最大的 $Y^{(2)}$ ，然後由 $p-2$ 個之中，如上述逐次反復，選定的因子逐步增加，這就是因子增加法所進行的方法。因子取到什麼程度才好的判斷，用根據自由度來訂正的復相關係數 R ，也是一種方法。要达到因子群最大或期望精度採用 R 。高的因子組合，然後，對這些因子群作成回歸係數，作為預報等之用。

5.5 判別預報方程

用上述的因子增加法，求預報判別方程來判斷是否下雨，其情況為下雨和不下雨兩種，有雨時用+1、無雨時用-1代表。圖9所示為9月10月的13時至15時的因子逐個增加時的復相關係數和標準差。在這種情況下，因子數目究竟取幾個為最好，可依復相關係數最大、標準差最小的條件來確定。對這些因子的1個到50個的組合分別求回歸係數，其中一例如表一4所示。這一回歸係數的判別預報方程在資料分析中降雨、不降雨數目相同的情況下，其判斷準則是方程式的結果接近於+1作為下雨、接近於-1作為不下雨。一般不下雨的情況較多，所以要由其它途徑來定出判別界限值作判斷。（後述）

5.6 回歸預報方程

求回歸預報方程與判別預報方程情況完全相同，對有降雨而言，才需要計算下多少雨，所以只要對有降雨的資料進行計算。圖10所示與判別預報方程一樣，為（對9月~10月的10時至13時全部3小時雨量）在因子逐個增加情況下的復相關係數和標準差的變化與判

表一4 作降雨預報用的判別係數一覽表

（6~8月3小時雨量）

	10~12時			
	因 子			回歸係數
	地 點	等壓面(毫巴)	名 稱	
1	3	700	濕 度	-0.052
2	2	500	水汽量	0.005
3	1	1000	水平梯度	-0.043
4	2-1	850	濕 度	0.018
5	1	500	水汽量	0.002
6	6	850	濕 度	0.049
7	3	1000	水汽量	-0.045
8	3	700	濕 度	-0.006
9	1-3-4	500	上升气流	0.004

~15~