

王健康

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

提 要

该文较全面地介绍了目前国际上应用气象卫星资料估计降水的方法,并引证了部分资料对已有的降水估计方法进行了分析和比较。提出了目前降水估计方法的攻关难点。这对于目前我国刚刚起步的卫星估计降水研究将有一定的参考价值。

关键词: 卫星资料 估计降水 检验

引 言

静止气象卫星的发展,使得监视天气系统的发展演变更加有效。静止气象卫星资料具有非常高的时间和空间分辨率,这对于分析灾害性天气系统尤其是中小尺度系统的发展演变,提供了广阔的前景。应用卫星资料估计降水的分布和强度,做为卫星资料应用的一个重要方面也同时发展起来。

应用卫星资料做降水估计的研究始于60年代后期。最初的研究以手工技术为主,逐步发展到以后的人机交互技术。到80年代后期,以 Scofield 方法为代表的人机交互技术得到重大发展,降水估计的精度大大提高。与此同时,应用数字图象资料做降水估计的自动技术也相应发展起来。

卫星可以提供高分辨率云观测的连续图象,但这些信息并不同于降水。降水估计就是要从这些错综复杂的云图上找出可降水的云,从而得到降水的空间及强度分布。研究已经表明^[1],通过分析卫星图象上云的形状、类型、变化或通过提取图象上的有关辐射及纹理特征做降水估计是完全可能的。

我们可以从不同的渠道得到有关降水的信息,分布于广大台站的雨量计资料长期以来是我们有关降水信息的主要资料来源。但

是,雨量计空间分辨率不足,尤其是广大的高原及海洋地区。即使是在雨量计分布稠密的地区,对于中小尺度系统的观测能力也很有限。另外,雨量计测到的是一点的降水,对于面降水的代表性比较差。雷达可以提供高分辨率的降水时间和空间分布,但是雷达的覆盖面非常有限。卫星资料得到的降水分布时间、空间分辨率高,而且覆盖面广,静止气象卫星可以一小时或半小时进行一次扫描,红外空间分辨率可以达到5km左右,可见光可以达到1km左右。由此得到的降水估计就大大地弥补了常规雨量计的不足及雷达覆盖的局限性。这些信息对于水情监测、洪水分析、气候和天气分析都是非常有用的资料。

1 卫星资料的降水估计方法简介

在降水估计方面,已经有很多人做了很多研究,其中大部分都是针对特殊区域及特殊的降水系统。

下面我们对这些方法分别做一介绍。为了叙述的方便,以下均以作者的名字命名其降水估计方法。

1.1 Scofield 方法^[1]

Scofield 方法最早是基于红外及可见光图片的手工方法,根据云顶温度、穿透性云顶及合并等做降水估计。之后,此方法经过多次

改进,发展成一个人机交互方法,大部分已实现自动化,并经过了近10年的业务运行。

目前,Scofield 方法应用半小时间隔的可见光及红外资料,结合地面及12小时间隔的常规高空探测资料,对云图及常规天气资料的特征进行提取,由这些特征得到降水分布。从卫星云图上提取的特征包括:云类型、云变化率、云生命史、低层辐合、环境饱和因子、云顶温度及云团合并等,另外对于“暖云顶”降水还进行了修正。

Scofield 方法首先要确定活跃对流云区位置。活跃对流云区位置可以由云图、常规资料、雷达资料等确定,具体有:

- (1)在红外云图上,卷云砧上风部分等温线密集区;
- (2)风垂直切变小时,在红外云图上积雨云系统内灰度均匀的中心处;
- (3)在可见光和红外云图上,穿透性云顶处;
- (4)可见光图上,色调最白和纹理不均匀的地方;
- (5)云砧移动最小的1/2卷云砧内;
- (6)卷云砧上风方向(500—200hPa);
- (7)低空流入区;
- (8)雷达回波区。

然后对活跃对流云区,通过计算如下一些因子得到降水估计值,即,云顶温度、云增长(或上层辐散因子);雷暴及对流云线合并;穿透性云顶;环境饱和以及湿度订正因子。

最后的降水估计值是第1—4因子所确定的降水之和乘以湿度订正因子。

Scofield 方法,业务实用性强,所得结果较稳定可靠,而且具有较高的精度,在最近的检验报告中,其精度是70%,并且30%的误差有明显的趋向性,对于小的降水估计偏高,大的降水估计偏低。通过这种误差分析,Scofield 对原方法又作了相应的修改。

1.2 Barrett 方法^[2]

英国 Bristol 大学的 Barrett 等也发展了

一种降水估计方法。它是基于云面积和云类型来做的,根据云面积和云类型得出相应的云指数,通过统计得到一个对照查算曲线,云指数又被转换成降水估计。在这一技术中,对照曲线因地理位置、季节、气候等而异,也就是说在不同的地区、不同的季节、不同的气候条件下,即使是相同的云指数,也会产生不同的降水。另外,这一方法还应用常规观测资料对结果进行修正。应用这一方法,可以求得6小时、12小时或24小时间隔内的降水量。这一方法在美国、欧洲、亚洲及非洲等地都作过一些个例检验。

1.3 Martin-Howland 方法^[3]

这一方法设计用来做热带和中纬夏季日降水估计,它应用红外及可见光资料,提取一些特征量:亮度、温度、结构、云的大小、纹理及温度的变化,以及由系列云图得到的云的生命史信息等,然后对这些特征量进行多元线性回归,最后求得降水。

1.4 Lovejoy-Austin 方法^[4]

这一方法应用红外、可见光资料及雷达资料来做降水区预报。它是应用二维分型匹配的方法来做的。它可以很好地区分出降水云与非降水云。在加拿大的 RAINSAT 系统及英国的 FRONTIERS 系统上都使用这一方法来做临近预报(Nowcasting),在晚上由于只有红外通道资料可用,效果没有白天好。另外,由于用到雷达资料,在远离雷达中心的地方,效果也变差。这一方法可以较好地地区分降水区,但不做降水强度预报。

1.5 Arkin 方法^[5]

这一方法应用红外资料来做1天或5天以上的降水估计,主要以气候研究为目的。第一步是计算 2.5×2.5 经纬度内的冷云日覆盖,凡是小于235K的亮温区都被认为是冷云,也假定此冷云可以产生降水;第二步是用冷云日覆盖与降水回归得到回归方程。这一方法局限在热带及夏季中纬地区。

1.6 Weiss-Smith 方法^[6]

这一方法应用云顶温度参数与强对流降水之间的关系,通过计算不同的云阈值得到降水。除了云的阈值外,还用到如下几个参数:最冷云顶温度、 $20 \times 20 \text{ km}^2$ 网格内的平均云顶温度以及平均云顶温度随时间的变化。结果表明,这一方法在对流活动最旺盛时效果最好。同时,这一方法可以很好地识别强降水(如大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)与弱降水或无降水。它也是只需输入红外可见光资料。由于此方法检验个例较少,在不同的地区、不同的季节及不同的天气背景下,此方法需要做更多的验证才能应用。

1.7 Wu(吴蓉璋)方法^[7]

这一方法应用红外及可见光资料,通过模式识别来做降水估计。它需计算云图上的 $20 \times 20 \text{ km}^2$ 内的辐射及纹理特征。辐射特征包括:最大、最小及平均辐射。纹理特征包括:第二角动量、熵、对比度、单位面积边缘强度、最大平均等。所有以上这些特征,经训练样本训练形成一判断树形式。这一算法把降水率分成 3 个等级: $0.0-0.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, $0.5-5.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, $>5.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 最后的降水估计是 $20 \times 20 \text{ km}^2$ 网格范围内的 3 个降水等级中的一种。结果表明,辐射特征可以区分出降水等级,加入纹理特征后,可以得到更好的结果。对于雨的识别的技术评分可以达到 83%, 对于降水等级识别评分达 66%。这一方法主要用于墨西哥湾及佛罗里达地区,而且是在夏季,若应用到其它地区及其它季节,还需要在降水率分类上做更多的工作。

1.8 Negri-Adler 方法^[8]

此方法只应用红外资料,它不仅可以计算出积云降水,同时还可以给出层状云降水,所以又称为层积云降水估计方法。它分三步进行:

(1)确定红外资料的所有最小值点做为对流核,通过搜索红外图象资料找到亮度温度的最小值,这一最小值被做为中心点,所有比周围温度低的点都被认为是对流核。

(2)应用斜率参数按下式消除卷云:

$$S = T_{1-6} - T_{\min}$$

$$T_{1-6} = (T_{i-2,j} + T_{i-1,j} + T_{i+1,j} + T_{i+2,j} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1}) / 6$$

其中 T_{1-6} 是 6 个最近象素的平均值。相对大的 S 值表示有一对流区存在,小的 S 值表示一个不活跃区存在。

(3)应用一维云模式确定红外图上对流核的降水率。层状云降水通过一个温度阈值而给出。在已经确定的非对流区域,凡是温度小于其温度期望值的区域,其降水率为 $2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (此值是根据层状云的降水率约为对流降水率 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 $1/10$ 而得到的)。

这一方法需要输入的资料包括 GOES 全时、空分辨率的红外资料,应用一维云模式而得到云高/降水率,云高/降水区的关系等。通过局地的气候修正,这一方法可被应用到很多地区。

此方法具有较高的精度,可以很好地代表云的演变过程,它可以区分出积云和层状云降水,它的另一优点是具有较少的输入和较高的自动化程度。因此, NESDIS 目前已把它并入业务化的降水估计方案中,它与前面提到的 Scofield 方法一起,形成了一个全自动的业务化降水估计方法。NESDIS 把 Adler-Negri 方法确定的降水估计做为初值,从而大大地简化了 Scofield 方法所必须的很多需要人机交互才能完成的工作,解决了 Scofield 方法自动化中的关键问题。

1.9 Griffith-Woodley 方法^[9]

这一方法最早应用了云顶面积的生命史与雨量计或雷达之间的经验关系。可以求出某个特定云团在其整个生命史的总降水。在每张云图上,单个云体的总降水,通过某种比例分配法被转换成降水率,在后来的方法中,省去了时间变化因子,从而其计算所需时间及复杂性大大降低,只需一张图就可以做降水估计。

假设红外亮温小于 253 K , 反照率大于

80%的云体可以产生降水,然后计算云图上降水云在生命史过程中的面积 A_c 和云块最大面积 A_m 。根据经验的卫星云面积与雷达云面积 A_r 的对照曲线,可以把 A_c/A_m 转换成 A_r/A_m ,从而把卫星观测到的云面积转换成雷达上云面积 A_r 。云块总体降水量 R_c 由下式决定:

$$R_c = I \cdot A_c \cdot \Delta t$$

这里, I 是降水强度, Δt 是持续时间。

改进的 Griffith 方法,省去了时间变化因子,其公式如下:

$$R_c = I \cdot B \cdot A_c \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i$$

引入定常系数 B ,从而消除了时间变化的影响。 a_i 为对应于温度 T_i 的面积, b_i 为经验确定的修正系数。

这一方法需输入 GOES 红外资料以及 12 小时的探空资料(气压、温度及湿度),常规资料主要是用来做环境修正因子。因为这一方法最初是在佛罗里达地区发展起来的,所以在其它地区应用时,常规资料的修正是很重要的。它主要用在中纬的对流季节。结果表明,点估计误差大概是 40%—50%,这比 Scofield 方法的 30% 误差要大一些。

2 降水估计方法的检验

降水估计方法的检验是一个比较困难的

问题。这是因为,每一种降水估计方法都是针对不同地区和不同的天气系统而做的。下面列出了部分降水估计方法之间的比较。

2.1 Negri-Alder, Arkin, Griffith 降水估计方法的比较^[8]

表1和表2列出了3种降水估计方法在佛罗里达试验区所得到的结果。

表1列出了降水估计相对于经雨量计修正的雷达资料的误差百分比,降水估计相对于雨量计的误差百分比。误差百分比波动范围很大,从 Negri-Adler 的 1978 年 7 月 29 日的 29.2% 到 Arkin 1978 年 8 月 12 日的 200%,如果只用雨量计资料的话,我们发现,几种方法在 1978 年 8 月 12 日都很差,但用雨量计订正的雷达资料做为真值,效果就改善很多。用雨量计订正雷达和雨量计所得的 4 天误差平均最小的都是 Negri-Adler 方法。

表2列出的是用以上3种方法得到的日降水量以及雨量计、雷达、雨量计订正后雷达以及雨量计与雷达的比率信息。

2.2 世界气候研究中的降水估计方法比较试验研究

这一计划有如下3个目的:

(1)评估目前卫星降水估计方法,各种方法所得结果相互比较。

表1 几种降水估计方法的误差百分比(选自 Negri 等,1988)

方 法		1978年7月29日	1978年8月12日	1978年8月16日	1980年8月18日	总平均
雨 订 正 雷 达	Negri-Adler	29.2	33.1	58.8	44.7	<u>41.2</u>
	Griffith-Woodley	88.9	69.1	82.7	62.0	75.0
	Arkin	34.1	68.7	<u>51.9</u>	<u>44.0</u>	51.0
雨 量 计	Negri-Adler	30.2	109.4	101.9	47.6	<u>75.3</u>
	Griffith-Woodley	84.3	146.8	76.1	55.1	93.0
	Arkin	32.7	200.0	<u>38.1</u>	<u>45.1</u>	85.4
	雨量计订正雷达	16.8	44.3	54.3	25.8	36.4
	未订正雷达	18.2	42.2	45.6	45.8	38.9

注:划横线的数据为最小值

表2 日降水估计值及相应的观测值(Negri 等,1988)

方 法	1978年8月12日	1978年7月29日	1978年8月16日	1980年8月18日
Negri-Adler	14.58	13.82	9.72	11.34
Griffith-Woodley	8.69	19.45	7.01	12.12
Arkin	14.25	12.43	5.37	8.64
雨量计	12.72	17.30	9.18	13.27
雨量计订正雷达	11.75	15.30	9.36	14.02
未订正雷达	9.48	13.30	7.96	6.67
雨量计/雷达比	1.24	1.15	1.18	2.10

(2)解释在相同的卫星资料情况下,不同的方法产生不同结果的原因。

(3)改进目前已有的方法。

这一计划将分几个试验区进行。第一个试验区是日本区域,已于1990年完成;第二个试验区为英国区域,目前正在进行这一区域的工作;第三个试验区选在西太平洋赤道区附近。资料包括:静止气象卫星的可见/红外资料,极轨卫星的微波资料,雨量计资料,雷达-雨量计合成分析资料,大气环流分析资料以及降水预报资料。每一位参加者将使用上述同样的资料做出降水估计(月累积降水分布以及局部区域的降水时间序列)。然后把把这些结果送到方法比较中心进行分析比较。

日本区域的分析比较结果已经发表。表3、表4列出了其中部分比较结果,这些资料选自美国气候分析中心对所有参加者所做的初步统计结果。需要说明的是,这里用到的方法可能是我们上面所讲的方法的改进方法,因为这里比较的是气候结果。表3、表4提供了如下一些参数:

MEAN:平均降水估计值(mm/日)

BIAS:平均降水估计值/平均观测降水值

ME:平均误差(平均估计值-平均观测值)

MAE:平均绝对误差(日累积)

RMSE:均方根误差

CORR:日降水估计值与观测值相关系数

表3 1989年6月份各种方法统计结果*

(选自 Tim. Lee 等)

方 法	MEAN	BIAS	ME	MAE	RMSE	CORR
Barratt	2.56	0.57	-1.93	3.97	8.72	0.54
Lovejoy-Austin	3.45	0.77	-1.03	3.78	8.25	0.69
Wu(吴蓉璋)	5.22	1.16	0.74	5.33	9.47	0.43
Arkin	7.36	1.64	2.87	6.03	9.90	0.54
Negri-Adler	1.86	0.41	-2.63	3.91	8.56	0.56
改进的 Griffith	1.21	0.27	-3.27	3.89	8.75	0.58

* 平均观测降水:4.48mm/日

表4 1989年7月15日-8月15日各种方法的统计结果*

方 法	MEAN	BIAS	ME	MAE	RMSE	CORR
Barratt	1.20	0.31	-2.61	3.16	8.69	0.59
Lovejoy-Austin	3.45	0.77	-1.03	3.78	8.25	0.69
Wu(吴蓉璋)	1.91	0.50	-1.85	3.49	9.05	0.47
Arkin	2.52	0.65	-1.30	3.17	7.89	0.64
Negri-Adler	1.24	0.32	-2.58	3.19	7.82	0.66
Griffith	0.77	0.20	-3.04	3.22	8.22	0.69

* 平均观测降水:3.82mm/日

3 讨论

从以上方法的介绍及比较中,可以看出,现在还没有哪种方法特别行之有效,它们各有优缺点。做为业务化方法,Scofield 方法有很多优点和较高的精度,但此方法又有处理繁琐,有时还需人工干预等缺点。所有这些方法的精度都受卫星遥感仪器的局限,因为红外探测仪所探测到的并不是直接的降水信

息。新一代卫星探测仪器,特别是微波的应用无疑将提高降水估计方法的精度。目前,应用卫星红外及可见光资料做降水估计主要集中在如下几点:

(1)季节、区域、地形、天气系统对降水的影响。

(2)云顶温度、反照率及变化对降水的影响。

(3)云面积、云强度及其变化对降水的影响。

(4)云的生命史、云的移动及合并对降水的影响。

(5)有效云参数的计算及其与降水的关系。

(6)环境场水汽分布对降水的影响。

为了搞好降水估计,资料的验证也有很多细致工作要做,例如,如何解决不同资料之间的尺度匹配问题,如何使各种资料在分辨率上可以比较,以及雷达资料的定标等问题。另外卫星资料与雨量计之间也存在由于探测手段不同而引起的误差。所有以上这些问题都要进行认真的研究才能得出较好的降水估计方法。

致谢:吴群璋同志阅读本文,并提出宝贵意见,特此致谢!

参考文献

1 Scofield, R. A., The NESDIS operational convective pre-

cipitation estimation technique. Monthly Weather Review, 1987, 115, 1773-1792.

2 Barrett, E. C. Forecasting Daily Rainfall from Satellite data. Monthly Weather Review, 1973, 101, 215-222.

3 Martin, D. W. and Howland, M. R., Grid History: A geostationary satellite technique for estimating daily rainfall in the Tropics. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1986, 25, 184-195.

4 Lovejoy, S. and Austin, G. L., The sources of error in rain amount estimation schemes for GOES visible and IR satellite data. Monthly Weather Review, 1979, 107, 1048-1054.

5 Arkin, P. A., The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. Monthly Weather Review, 1979, 107, 1382-1387.

6 Weiss, M. and Smith E. A., Precipitation discrimination from satellite infrared temperatures over the CCOPE mesonet region. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1987, 26, 687-697.

7 Wu, Rongzhang, Weinman, J. and Chin, R., Determination of rainfall rates from GOES satellite images by a pattern recognition technique. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1985, 2, 314-330.

8 Negri, A. J. and Adler, R. F., A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1988, 27, 30-51.

9 Griffith, C. G., Woodley, W. L. and Augustine, J. A., Satellite rain estimation in the U. S. high plains. Journal of Applied Meteorology, 1981, 20, 53-66.

Review on the Techniques for Estimation of Precipitation with Satellite Data

Wang Jiankong

(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)

Abstract

The widely used techniques for estimation of precipitation with satellite data are comprehensively presented. Some data in the published papers are used to analyse and compare these techniques. The problems in solving precipitation estimation are discussion.

Key Words: satellite data precipitation estimation verification