

# 沈阳区域气象中心中尺度数值预报 业务系统的改进与拓展

周小珊 杨 森 陈力强

(中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

**摘要** 介绍了改进后的沈阳区域气象中心中尺度数值预报业务系统的产品和运行情况。沈阳区域气象中心中尺度数值预报业务系统于 1997 年投入业务运行, 目前已从最初的仅提供降水预报产品, 发展到能提供降水预报、热带气旋路径预报、空气污染气象条件预报、人工增雨服务指导产品和城市环境气象业务预报所需的基本气象要素预报等多种业务所需的预报产品。业务系统每日两次自动运行, 预报产品直接进入 MICAPS、Vis5d、Grads 绘图系统, 进行图形显示, 并直接进入区域气象中心局域网上的中尺度数值预报网页。目前, 本系统的预报产品已经成为预报员每日必看的参考工具, 经沈阳中心气象台评定, 2002 年汛期对辽宁省降水预报准确率已超过日本东亚模式。

**关键词** 中尺度数值预报模式 业务系统 预报产品

## 引言

最近的 20~30 年以来, 数值天气预报取得了迅速的发展, 利用数值预报模式预报台风、暴雨已完全成为可能<sup>[1]</sup>。欧洲共同体诸国、美、加拿大、日本、中国、澳大利亚、印度等世界上许多国家先后建立了数值天气预报中心, 以为公众提供优质的服务, 提高预报准确率, 为各级台站提供丰富的预报指导产品, 尽可能地减少由气象灾害带来的经济损失为目标<sup>[2]</sup>。目前, 数值天气预报已成为制作每天气象预报不可缺少的重要基础和手段。

根据沈阳区域气象中心实时业务系统建设的需要, 沈阳区域气象中心 1996 年引进美国宾夕法尼亚州大学和美国大气研究中心研究开发的中尺度数值预报模式(MM5 V1), 研制了模式的前后处理方案, 并于 1997 年将模式升级到 MM5 V2。在进行了模式试运行后, 建立了中尺度数值预报业务系统<sup>[3]</sup>, 开始向气象台站发送降水预报产品。其后, 随着 MM5 V2 版本的更新, 系统中使用的模式也在不断的升级, 业务系统也不断改进。目前使用的模式版本是 MM5 V3-6; 随着计算条件的改善, 模式的水平分辨率由最初的 50km 提高到 15km, 单层网格被套

网格计算方案所替换; 同时, 预报产品也在不断拓展。目前, 沈阳区域气象中心数值预报业务系统的预报产品有: ①降水预报, ②人工增雨作业指导产品, ③热带气旋路径预报<sup>[4]</sup>, ④空气污染气象条件预报<sup>[5]</sup>, ⑤城市环境气象预报基本气象要素。2002 年, 沈阳区域气象中心已将中国气象局数值预报创新基地研制的三维变分系统(GRAPES 3D-VAR1.0)与 MM5 和 WRF 模式相连接, 并进行试验运行。业务系统在多台双 CPU 机器的 Linux 操作系统下运行。

## 1 业务流程

改进后的沈阳区域气象中心中尺度数值预报系统, 在 Linux 操作系统下, 按照作业启动时间表, 每日两次自动进行资料的收集与处理, 在不同的机器上分别完成降水预报、空气污染气象条件预报、热带气旋路径预报、GRAPES 3D-VAR1.0 作为模式初值的模式运行。另外对模式输出产品再加工生成人工增雨作业指导产品、城市环境气象预报基本气象要素预报产品。在模式计算完毕后, 进行后处理, 将各种预报产品绘制成图表, 放置在沈阳区域气象中心局域网的中尺度数值预报产品显示网页的

不同栏目下,以备有关人员随时调看。同时,将有关预报产品放置在 9210 网络上,方便东北各级气象台站调用。沈阳区域气象中心中尺度数值预报系统流程如图 1 所示。各部分具体流程见图 2。

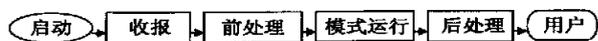


图 1 沈阳区域气象中心数值预报系统流程

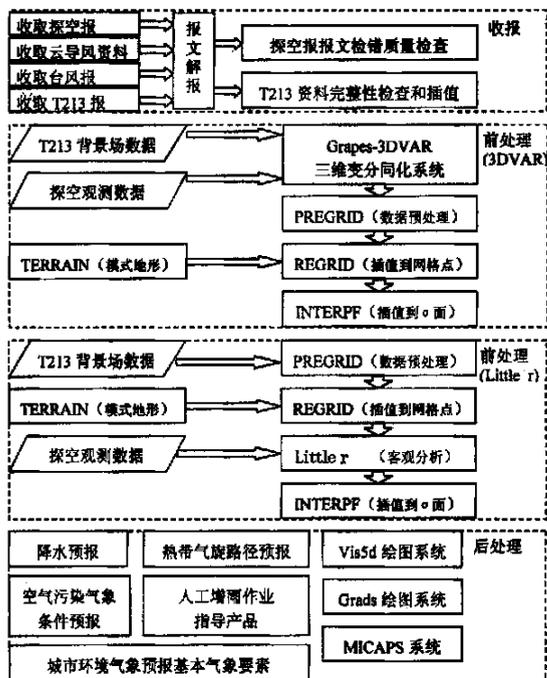


图 2 沈阳区域气象中心中尺度数值预报系统各部分流程

## 2 资料处理

### 2.1 模式使用资料的获取

每日自动收取 08:00 和 20:00 (北京时,下同) 的 TTAA、TTBB、PPAA 探空报,对探空观测资料需进行报文分解,得到各标准等压面上的位势高度、温度、露点、风向和风速,特性层的温度、露点、风向和风速,以及等高层的风向和风速。由于在探空观测中存在一定的误差,而严重的误差会使数值预报质量下降,因此,对探空资料进行质量检验,采用极值检验、垂直内插一致性检验和水平内插一致性检验方法,剔除严重影响预报质量的错报。

每日自动收取 08:00 和 20:00 国家气象中心全球中期模式 T213 不同预报时次的从地面到 100hPa

各标准等压面的风场 ( $u, v$ )、湿度 ( $f$ )、温度 ( $T$ )、位势高度 ( $h$ ) 和海平面气压 ( $p_{SL}$ ) 场。

每日自动收取静止气象卫星云导风资料,与其他探空资料结合使用。

在有台风活动的时期,每日自动收取国家气象中心的台风观测报,用于台风模式中。

每周一次从 Internet 网上收取  $1^\circ \times 1^\circ$  分辨率的全球海温资料。

### 2.2 模式初猜场和初值的形成

从最初使用 T63、T106L19,到目前使用 T213,选择与起报时刻时间一致的 T213 预报场作为初值猜测场。

在业务系统建成最初,使用 Cressman 方法自行研制了模式的前处理方案,在资料同化方面,对降水预报采用了在 12h 预积分后对  $\sigma$  面进行 OI 增量分析,在热带气旋路径预报方面采用 Nudging 同化方案。目前,业务系统中使用 MM5 模式中的 little r 初值方案。并将 GRAPES 3D-VAR 1.0 结果作为模式初值,进行试运行。

在日常业务中,分两种情况考虑:①能够正常收到 T213 资料时直接启动模式;②在不能正常收取 T213 时,直接使用探空报进行客观分析。将所形成的初值场写成模式所需的文件格式。

### 2.3 侧边界形成

直接判别 T213 资料的收取情况,以 6h 为时间间隔,如果缺若干时次的 T213 资料,则使用所缺时间的前、后时间的资料进行线性插值得到该时刻的侧边界,如果没有后一时次的 T213 资料,则使用前一时次的资料替代。将不同时段的侧边界写成模式所需的文件格式。

## 3 模式运行方案

### 3.1 模式运行区域

取  $120^\circ E, 42^\circ N$  为模式运行区域中心点;粗网格分辨率时 45km,格点数  $79 \times 69$ ,细网格分辨率时 15km,格点数  $97 \times 85$ ;模式垂直分层为 23 层。

### 3.2 主要物理过程

选择 GRELL 积云对流参数化方案:采用依赖于不稳定化速率的闭合假设,提出了一个简化的单云概念模型,云内有上升和下沉引起的两个稳态环流,在云内空气与环境空气之间除了环流的顶和低部外,并没有直接的混合。该方案根据动力控制和

有效浮力能来计算云上升质量通量和云下沉质量通量,云内的潜热释放并不直接加热环境,而是维持云的垂直质量通量,对流反馈完全由补偿性质量通量和云顶及云底的卷出效应所决定。

BLACKADAR 高分辨率 PBL 方案:以模式底部多层刻划边界层的方案,将边界层分为包括自由对流混合方式在内的四种稳定度方式。

DUDHIA 云辐射方案:考虑长波、短波和显式云、晴空的作用,以及大气温度趋势并计算地表辐射通量。

在湿过程显式方案中选择混合方案。

5 层土壤模式地表方案:使用垂直扩散方程预报自 1 cm 至 16 cm 的 5 层土壤温度,其下为一固定土层。

### 3.3 侧边界处理

粗网格:与背景场单向嵌套,采用时间流入流出方案;细网格:与粗网格双向嵌套(粗细网格同时积分)。粗网格每个时间步的预报先提供给细网格作边界值,细网格区域在相应时间步的预报值再返回替

代粗网格对应格点的值)。

## 4 降水业务预报

沈阳区域气象中心中尺度数值预报业务系统自 1997 年 8 月投入业务运行,每日两次向辽宁省各级气象台提供预报产品。在沈阳区域中尺度数值预报局域网页上可以调看到 MM5、WRF、台风路径等多种预报产品,预报产品已由 3h 一次输出替代了原系统中 12h 一次输出。随着模式性能的不断改进,越来越受到预报员的重视,早已成为预报中重要的指导产品。该产品改变了以往沈阳中心气象台依赖单一降水数值产品(日本)的局面,对提高降水业务预报水平起到了积极的作用。

例如:2002 年 8 月 3~5 日在辽宁省有低层切变线造成了一次区域性暴雨过程,图 3 是 8 月 4~5 日的降水实况,图 4 是 8 月 3 日的 24~48h 降水预报。从图中看出,这次预报无论是降水强度还是落区均很成功,其中雨和大雨预报的 TS 评分分别是 0.520 和 0.389。

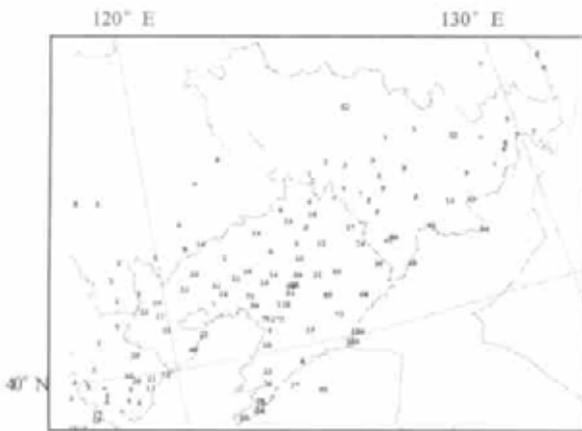


图 3 2002 年 8 月 5 日降水实况(mm)

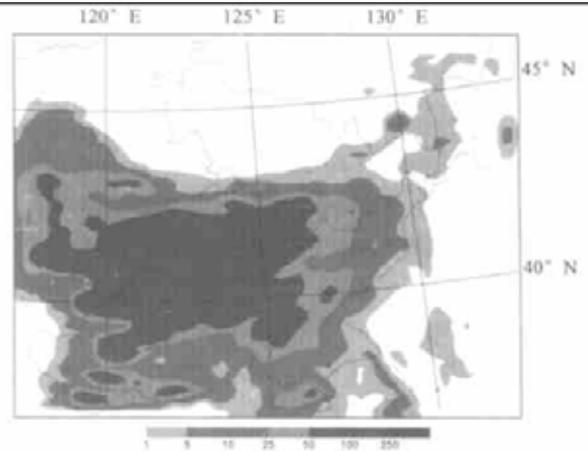


图 4 2002 年 8 月 3 日的 24~48 小时的降水预报(mm)

## 5 空气污染气象条件预报

辽宁是重工业省份,工业污染较重。同时,由于地处东北,冬季取暖也是较严重的污染源。利用中尺度数值模式能够以较高分辨率计算出近地面不同层次的温度和风的垂直分布特点,从大气运动的角度来预测未来大气对污染物的扩散能力,制作辽宁省 14 个主要城市的空气污染气象条件预报。

采用美国空气污染潜势预报<sup>[6]</sup>方法,定义混合高度和混合层平均风速的乘积为通风系数(通风

量),它代表了混合层内空气的疏散速率,从这个意义上考虑制作空气污染气象条件预报。在该方法中,污染物标准化浓度为:

$$\frac{\bar{c}}{Q} = \frac{L}{2Hu} \quad (1)$$

其中  $\bar{c}$  为平均浓度,  $Q$  为源强,  $L$  为城市的平均线性尺度,  $H$  和  $u$  分别为混合高度和混合层平均风速。由式(1)可见,公式左边为污染浓度情况,定为预报对象,则污染浓度仅是  $H$  和  $u$  的函数,利用这个公式能够使空气污染潜势预报定量化。

使用 MM5 模式,在近地面层特殊加密,经反复试验,在运行区域内,将地面与 1000 m 之间的垂直分层定在 60 ~ 80 m 左右,能够得到较为理想的预报结果。

在模式后处理中,近似求取不同预报时段各城市的混合层高度和平均风速,得到各个城市表示空气污染气象条件的代表值。平均 12h 和 15h 的预报结果并分级,作为当日晚间的预报;平均 21h 和 24h 的预报结果,作为次日早晨的大气污染潜势预报;平均 27h 和 30h 的预报,作为次日中午的预报;平均 33h 和 36h 的预报,作为次日傍晚的预报。

空气污染气象条件预报每日运行一次,图 5 给出了每日网页上发布空气污染气象条件预报。

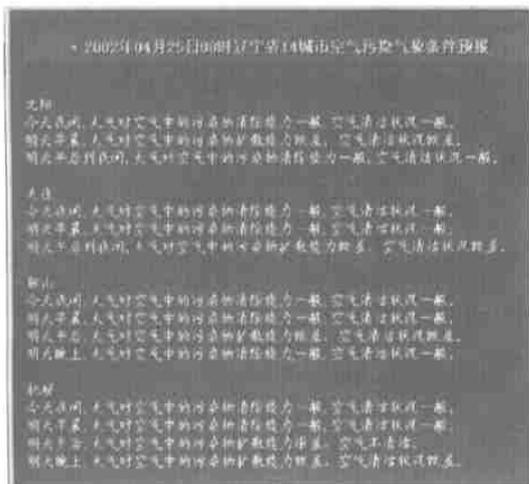


图 5 空气污染气象条件预报网页

### 6 人工增雨指导产品

多年来,辽宁省一直是春、夏季旱情严重,抗旱每年都成为省政府重视和关心的问题,并对人工增雨工作进行了相当的投资。因此,合理地开发利用空中云水资源,客观地、科学地设计人工增雨作业方案是我们工作的重点。在沈阳区域气象中心中尺度数值预报模式投入业务运行后,有条件对中尺度数值预报产品进行加工、处理,根据增雨作业的需要,特殊制作能够适用于飞机播撒催化剂的增雨作业方案设计和指挥高炮增雨作业的指导产品。

在沈阳区域气象中心中尺度数值预报业务系统中,每日两次运行模式,生成每隔 3h 一次的人工增雨作业指导产品,并将预报产品放置在局域网网页上,这些产品包括:

(1) 等温层高度场:对模式输出的  $\sigma$  面的温度和高度场进行垂直线性插值,计算适合于碘化银播撒的等温层 0℃、-4℃、-20℃层的高度场。

(2) 云顶高度:通过计算光的吸收率近似求取,主要考虑云水、云冰对光的吸收影响,由模式层顶向下积分,当吸收率为 1 时,即认为此时的高度是云顶。

(3) 云底高度:使用类似于计算能见度的方法确定云底高度,考虑到云水、云冰及雨滴、雪花的影响,从地面向上积分,当总透射率为 2% 时,认为此高度是云底。

(4) 散度场和涡度场:由模式输出的各  $\sigma$  面的  $u$ 、 $v$  风场插值到等压面上,在各等压面上按照散度和涡度公式计算不同等压面的涡度和散度。

(5) 云中含水量:将每一个网格点中云冰  $q_{ic}$  和云水  $q_w$  垂直积分并相加,得到云中含水量。

(6) 气柱总水量:将每一个网格点整个气柱中的水汽  $q_v$  垂直积分,得到气柱的总含水量。除提供以上对人工增雨有重要意义的物理量预报场,在指导产品中,还配备了不同高度层的湿度与流线叠加图、等温层和流场配合图等。

### 7 热带气旋路径预报

热带气旋是影响辽宁省降水的重要天气系统,几乎造成全省性的灾害性暴雨均是由热带气旋的直接和间接影响造成,因此,北上热带气旋路径预报历来是汛期业务工作的重点。

辽宁省气象局在 20 世纪 80 年代初就研制了台风路径预报的一层正压模式 LN-1 移动套网格模式 LN-2,并投入业务运行。在沈阳区域气象中心的中尺度数值预报业务系统建成后,开始使用 MM5 模式预报进入辽宁省台风警戒区的台风路径,具体情况如下:1996 ~ 1997 年,使用 MM5 V1;1998 ~ 2000 年,使用 MM5 V2;2000 ~ 2001 年,使用 MM5 V3;目前使用 MM5 V3-5。模式的水平分辨率取 45 km。初值场中使用 Bogus TC 方案。

模式的初值是这样考虑的:如果热带气旋中心在洋面,在模式初值中嵌入人造热带气旋,使用 T106L19 的分析场和 6h 预报场、12h 经同时刻 TTA 订正后的预报场为环境场,同时形成  $t_0$ 、 $t_{-6}$ 、 $t_{-12}$  三个时刻的 Bogus TC,将  $t_{-12}$  时刻的 Bogus TC 嵌入同时刻的 T106L19 分析场中,并将  $t_0$

时刻的 TTAA 报与  $t_0$ 、 $t_{-6}$  时刻的 Bogus TC 同时作为同化资料,采用模式中的 Nudging 预积分方案,在预积分的前 360 min,使  $t_{-12}$  的 Bogus TC 逼近  $t_{-6}$  时的 Bogus TC,其后,再逼近  $t_0$  时刻的 Bogus TC, Nudging 时间 1080 min。图 6 是 2000 年业务预报对 2000 年 4 号台风 7 月 9 日 20:00、7 月 10 日 08:00、7 月 10 日 20:00 的预报。

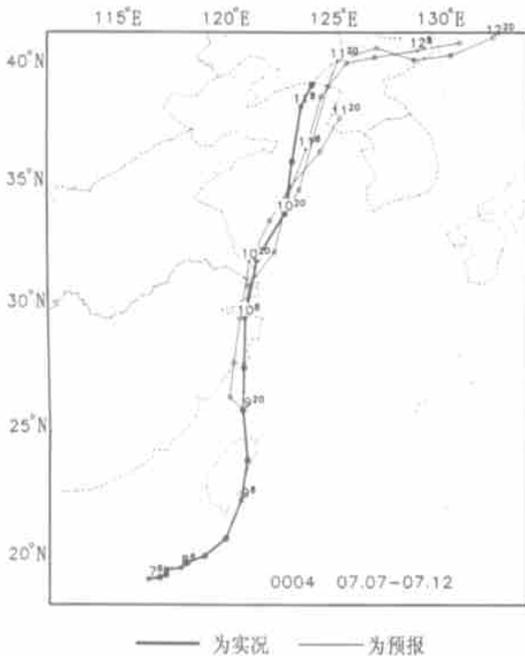


图 6 2000 年 4 号台风的 3 次预报

## 8 城市环境气象预报基本气象要素预报产品

为多个城市环境气象预报方法提供基本气象要素预报产品也是业务系统工作的一部分。

除了输出一些基本气象要素如地面气压、温度、风向、风速、湿度和降水量等的站点值以外,还输出了其他一些模式变量供城市环境气象预报使用,如边界层高度、地面短波向下辐射等。同时还利用模式变量生成了一些满足特殊需要的产品:

(1) 水平能见度:考虑到云水、云冰及雨滴、雪花对于能见度的不同影响效果,根据大气透射率的公式计算出水平能见度,最大值取 90 km。

(2) 天空云量:按照每一格点的积分云水的数值,并参考临近点,给出对应的天空云量数值。

(3) 可降水量:将每一个网格点整个气柱中的水汽  $q_v$  垂直积分,得到气柱的可降水量。

(4) 云柱云水:将每一个网格点中的云冰  $q_{ic}$  和

云水  $q_w$  垂直积分并相加,得到云柱云水。

(5) 云柱雨水:将每一个网格点中的雨水  $q_r$  和雪水  $q_s$  垂直积分并相加,得到云柱雨水。

## 9 预报产品显示

在模式计算完毕后,对模式预报结果进行后处理,并直接进入绘图系统。

(1) MICAPS 系统:将模式预报产品转换成经纬网格数据形式,在 MICAPS 中显示。

(2) Grads 绘图系统:在 Linux 环境下,使用 Grads 绘图方式,绘制、显示不同时段降水场、各标准等压面的高度场、温度场、湿度场、风场、垂直速度场等各种预报量场,同时将图形直接转换为 GIF 图形格式放置于局域网上,供有关人员随时调用。

(3) Vis5d 绘图系统:在 Linux 环境下,使用五维立体绘图系统 Vis5d 直接绘制不同预报时段、不同等压面、不同预报量的图形,绘图系统具有流线绘制、多变量叠加、动画显示等多种功能。

## 10 预报产品质量评定

### 10.1 降水产品质量评定

使用国家气象中心提出的格点检验方案进行降水预报质量评定,对预报区域内不同雨量的降水等级分别进行降水质量检验,其等级分别为小雨(0~9 mm)、中雨(10~24 mm)、大雨(25~49 mm)、暴雨(50~99 mm)和大暴雨(100~199 mm),评定项目包括 TS 评分、漏报率、空报率、预报偏差和预报效率,检验时段为 0~24h 和 24~48h。

### 10.2 预报形势场检验

采用 WMO 推荐的标准化检验方案,能够检验 12h、24h、36h 和 48h 的预报形势场与对应实况场的均方根误差、距平相关系数、算术平均误差、正误差和负误差,检验要素场包括不同等压面的高度场、温度场、湿度场和  $u$ 、 $v$  风场。

## 11 结语

改进后的沈阳区域中尺度数值预报业务系统,拓展了服务项目与服务内容,不仅为天气预报业务服务,也应其他业务部门的要求,为人工增雨作业和城市环境气象预报业务提供服务产品,受到了业务部门的欢迎。同时,改进后的业务系统增加了预报产品,预报输出也由以往的 12h 改为目前 3h 一次,

在业务中发挥了作用。2002 年沈阳中心气象台对业务应用的所有降水预报产品(MM5、日本、HLAFS 等)进行评定,结果是 MM5 预报产品对辽宁省汛期预报准确率最高,特别是对强降水的预报不论强度还是落区预报明显高于其它产品。

### 参考文献

- 1 李泽椿,陈德辉.国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用.应用气象学报,2002,13(1):1-15
- 2 朱喜林.美国国家环境预报中心简介.山西气象,2002,(3):42-44
- 3 周小珊,张立祥,李用左.东北区域中尺度数值预报业务系统简介.辽宁气象,2000,(2):1-4
- 4 张立祥,周小珊,李用左,等.非静力模式预报热带气旋路径个例试验.南京气象学院学报,2000,23(1):73-80
- 5 周小珊,张立祥,刘万军.利用中尺度模式作辽宁省空气污染气象条件预报.南京气象学院学报,2002,25(1):129-135
- 6 李宗恺,潘云仙,孙润桥.空气污染气象学原理及应用.北京:气象出版社,1985

## Improved Meso-Scale Numerical Forecasting Operational System of Shenyang Regional Meteorological Center

Zhou Xiaoshan Yang Sen Chen Liqiang

(Shenyang Institute of Atmosphere Environment Research, CMA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The operation and function of the improved meso-scale numerical forecasting operational system of the Shenyang Regional Meteorological Center are described. The system is put into operation in 1997. At first, the system provided only precipitation forecasts, and recently it is able to provide such operational products as precipitation forecast, tropic cyclone route forecast, meteorological condition forecast of air pollution, service guides of precipitation enhancement and basic meteorological element forecast needed by the operational urban environmental meteorological prediction. The system runs twice every day automatically. The products directly enter the graph system of MICAPS, Vis5d and Grads to display charts and directly enter meso-scale numerical forecasting web pages of the Shenyang Regional Meteorological Center Local Area Network. The forecasting products have become necessary reference data for forecasters. According to the assessment made by the Shenyang Central Observatory, its forecasting accuracy exceeded the Japanese East Asia Model in the flood season of 2002.

**Key words:** operational system of meso-scale numerical forecast, meso-scale numerical model, forecasting products