



和平利用外层空间委员会

空间科学和技术教育区域中心 (附属于联合国)

卫星气象学和全球气候课程

目录

	段	次	页次
一. 导言	1-5	2	
二. 卫星气象学和全球气候工作组审议情况	6-35	2	
A. 气象卫星和全球气候培训班的目的	8-12	3	
B. 现有课程和取得的经验的审查	13-26	3	
C. 卫星气象学和全球气候培训班的订正课程	27-35	6	
附件:			
一. 头三期培训班课程		13	
A. 单元		13	
B. 实习		17	
C. 试验项目		19	
二. 建议的教材		23	
三. 课程注释		24	



一. 导言

1. 人类毫无疑问始终对研究天气着迷并且有着实际的兴趣。气象现象是古代经典哲学著作中思索的主要问题，但对天气的科学研究通常追索到十七世纪发明温度计和气压计时。在 18 世纪已不时努力绘制从地面观察得到的天气图。十九世纪发明电报后打开了利用从辽阔的地理区域收集的数据提供和传播实时预报的前景。十九世纪中期和后期在若干国家开始了政府资助的观测网络。十九世纪在基本流体动力学和热动力学方面有着重要的发展，这使对大气的研究作为应用物理中的一个问题有了坚实的基础。近几十年在大气的观测和理论研究方面取得巨大进展。利用卫星平台作为大气观测系统和非线性基本方程数字计算机的发展又大大促进了这类进展。

2. 历史上，大气研究分为气象学和气候学两个学科。气候学可以定义为研究确定大气时间均值状态的那些过程，而均值状态定义为某个相当长时期（一年或或许若干年）的平均值。气象学从事的是大气可变性中较高频率部分的物理学研究。越来越明显，这种区别是相当任意性的而且没有实际用处。大气环流显示了所有时标的可变性，在各种频率组成部分之间有重要的相互作用。

3. 由于认识到人类对大大改变（就算是非故意的）全球气候的潜力，促进了最近关于大气监测和模拟的工作。人们对于由工业和农业活动引起的二氧化碳一类的所谓温室气体在大气中含量增加特别担心。可靠地预测气候对这类人为影响的敏感性对制订战略缓解全球环境改变造成的社会和经济影响非常宝贵。

4. 详细了解大气环流及其变化主要依靠对每日为天气预报工作进行的常规测量的分析。这套观测数据的一个组成部分包括在全世界几千个地面观测站和商用船只上每隔 3 个小时测量一次风速和风向、大气压力、降水、空气温度和湿度。这套数据的另一个重要组成部分是从无人驾驶气球高空携带的无线电探空仪收集的测量数据。这种无线电探空仪是一组仪器，能够在气球上升期间每隔一定的时间间隔传递压力、温度和湿度值。通过目视或用雷达追踪气球，也可确定水平风速和风向随高度的函数变化。典型地，世界几百个观测站每日让无线电探空仪升空一至二次。天气气球测量通常限于约三十公里以下的高度。

5. 气球测量对探测大气环流三维结构非常重要，但显然从地理覆盖面（特别是海洋上空）看这种测量很有限。观测站覆盖面的空白可以在某种程度上通过气象卫星填补。对地静止卫星提供了对热带地区和中纬度地区云层的相当连续的观测。较低轨道的极轨卫星携带着测量大气顶部射出辐射的辐射计。通过几个波长段进行这种测量，可推导出关于温度和湿度纵向结构的信息。由于地球在太阳同步卫星下方旋转，这些卫星提供了沿太阳同步卫星轨道的信息。这样，达到全球覆盖面每天约两次。

二. 卫星气象学和全球气候工作组审议情况

6. 外空事务厅在欧洲航天局的合作下于 2001 年 9 月 3 日至 7 日在意大利的弗拉斯卡蒂组织了联合国空间科学和技术教育区域中心专家会议：现状和今后的发展。会议的一个主要目的是审查和更新区域中心四个领域的教育课程：遥感；卫星气象学；卫星通信和空间科学。

7. 本报告载有卫星气象学和全球气象工作组的审议情况。工作组讨论了举办该领域培训班的目的、审查了现有课程和通过已举办的区域级培训班（附件一）取得的经验并规定了新培训班的目标、要求、结构和订正的课程。

A. 气象卫星和全球气候培训班的目的

8. 气象卫星应用培训班是空间科学技术教育的一个特定组成部分。它很重要是因为，虽然气象卫星已经在太空运转三十多年，但世界上大多数科学、专业和教育界尚不知道这些卫星的观测值可免费查询，以及可直接应用这些观测值或者将其与其他信息相结合造福于一个国家的广大公众或帮助解决影响这些公众的具体问题，特别是在可能涉及拯救生命、保护财产或负责管理自然资源的地方。

9. 许多国家气象机构由于其业务工作需要已经认识到举办卫星气象学培训班的重要性。它们的经常性培训班包括一小部分卫星气象学，主要涵盖含影像的天气系统的天气研究。

10. 与全球变暖、臭氧耗尽、厄尔尼诺南方涛动和海洋大气相互作用、全球气候改变等有关的问题，只要有科学价值现在都变得极其有意义。该培训班除了传授卫星气象学基本原则和高深技术问题的知识以外主要迎合这个领域的教育需要。处理卫星数字数据、使用动态模型、解决问题和执行与本国有关的项目一直是培训班的主要重点。

11. 自空间时代开始以来几乎一直在不断地运行气象卫星。由于整个社会对天气现象观测和预报的重视，几乎能保证这些卫星在今后几十年继续存在于太空。许多国家发射这些航天器专门为了满足（这些国家）负责为民用和军用目的提供天气预报的专业政府气象学家的需要。然而，大多数发射气象卫星的国家是这样设计其卫星运行的：即任何人只要在这些卫星发射的无线电波接受频率范围内便可免费获得数据和为任何目的利用这些数据。把从这些卫星得到的实时、直接读出观测值用作学校的教育资源是可行的。这些观测值也可用作天气管理和预报，森林火灾探测，支持空中、海上和陆地运输，支持农业和渔业和广泛用于其他非气象目的的工具。除了业务卫星外，现在还有少数研究和发展卫星提供关于大气和海洋的更多信息。将卫星数据列入数值天气预报中是可能的。从地理信息系统得到的信息必须纳入气象和气候研究中。培训班课程应当包括所有这些方面。

12. 世界气象组织（气象组织）请全球利用气象卫星数据，以有助于保证由于免费利用气象卫星观测的结果而发展的航空航天科学技术知识能够或被个人、组织和国家利用，特别是发展中国家利用。气象组织实现这个目的做法是，赋予不同国家核心专家人员分析技能和技术知识，这些技能和知识将使它们能够研究和保持本国各种各样的广泛方案，而在这些方案中的技术能支持将提高广泛公众生活质量的科学、经济、教育和人道主义方案。

B. 现有课程和取得的经验的审查

13. 联合国已经为区域中心编制了卫星气象学应用方面的示范课程。编制这门课程的初步工作于1995年在西班牙格林纳达举行的为空间科学和技术教育区域中心编制教育课程的联合国/西班牙专家会议上进行。为了得到国际承认和批准，编写了示范课程以便向区域中心提供保持培训班以及区域中心国际标准和特点所必要的科学水平准绳。

14. 培训班包括在区域中心进行九个月的学习，然后在进修者本国实施和完成一个一年的试验项目。

15. 1995年举行的专家会议设想进修者将聆听旨在提高其气象卫星所得数据应用方面科学知识的课程讲授，提高并扩大其计算机和分析能力以便他们能够在自己的国家开始利用这种科学和技术并获得这方面的成果。

16. 专家们还建议培训班包括以下课题：

大气组成、辐射法则、大气循环和海洋

基本辐射测量术、电磁辐射和物质的相互作用

热力学、动力学、热带和温带运动系统、中等尺度和天气尺度系统

结合利用卫星、雷达和常规数据进行天气预报，数值天气预测

卫星类型、轨道和遥感器基础知识，卫星垂直探测系统以及就地数据收集平台、气象产品的检索

极轨卫星和对地静止卫星采集的卫星数据的专门化处理和在人类活动几个方面的应用，例如在农业、测定住房温度、估计土壤表层温度；估计降水量和分布、收获的作物储存问题、家畜管理、渔业等方面的应用

17. 已举办两期培训班，正在举办第三期，专家组对培训班课程的审查情况讨论如下。

1. 第一期培训班

18. 卫星气象学和全球气候第一期研究生培训班于 1998 年 3 月 1 日至 11 月 30 日在印度艾哈迈达巴德亚洲和太平洋空间科学与技术教育中心举办。第一期培训班的教学大纲以 1995 年会议制定的广泛准则(A/AC.105/649)为基础。培训班所包括的单元如附件一表 1 所列。培训班课程又细分为课堂讲授、实验室工作、辅导、图书馆、科学访问等如图 1 所示，这种安排有助于编排培训班的课程表。

19. 从进修人员和教员获得以下评论：

- (a) 过于强调热带气象学。应包括有关中纬度系统的更多专题；
- (b) 希望有更多的实例研究（例如关于卫星数据在数值天气预报模型中的应用方面）和简单的数值问题；
- (c) 希望增加基础物理学、数学和计算机编程方面的入门课；
- (d) 应给气候变迁、辐射转移等专题分配更多时间；
- (e) 应增加辅导次数；

2. 第二期培训班

20. 2000 年 7 月 1 日至 2001 年 3 月 31 日在亚洲和太平洋空间科学技术教育中心举办了第二期研究生培训班。根据从第一期培训进修人员和教员得到的反馈意见对随后在第二期培训班中所采用的全部课程作了以下改进：

- (a) 增加了情况介绍单元，包括数学、统计方法学和计算机基本原理；
- (b) 大大减少包括季风/热带严酷气候系统在内的热带气象学的份量；
- (c) 增加了新的授课专题，包括中纬度和温带系统。

21. 附件一的表 2 列出了第二期培训班期间所包括的各种单元，而图 2 给出了相应的详细时间安排。列入了一个情况介绍单元，其中包括数学、统计学和计算机基本原理，

这一做法得到进修人员欢迎并有助于他们丰富知识。

22. 在办这期培训班之前，决定在第 2 期培训班介绍三份专门化领域的选修论文（包括 20 节课），即：(a) 利用卫星数据进行参数检索；(b) 数据同化和数值模型；(c) 气候变迁；根据与进修人员的讨论及他们的基础知识和可利用的时间，停止了选修方案。每份报告的重要方面列入各单元中。此外，在课程中作了许多改变（例如在情况介绍单元中包括讲授动态气象学、物理海洋学）。

3. 第三期培训班

23. 正在亚洲和太平洋空间科学和技术教育中心举办的第三期培训班已于 2002 年 8 月 1 日开始，将于 2003 年 4 月 30 日结束。在对第二期培训班结束后对该培训班采用的课程进行深入审查后，提出对第三期培训班作以下改变：

- (a) 入门小单元中介绍了物理海洋学专题；
- (b) 减少了对辐射转移和参数检索这类高深专题的份量；
- (c) 更着重于卫星数据应用；
- (d) 增加了全球气候的课时。讲授了短期气候可变性和长期气候变迁课程。

第三期培训班包括的单元列于附件一的表 3。

4. 练习

24. 除了理论课以外，下午有练习课，涉及卫星图像应用、数字数据应用、气象学参数检索和数值模型产出的判读等方面的特别练习。附件一 B 节列出三期培训班每期的练习清单。

5. 试验项目

25. 附件一 C 节列出了第一期和第二期培训班期间进修人员实施的试验项目详细情况。

6. 课程的演变

26. 课程的编制过程是一个连续的过程。该过程除考虑其他方面外还应考虑对各种技术发展、新出现的应用方案及从进修人员和教员收到的反馈意见。这样不断地提出改进意见并将改进意见纳入课程。附件一 B 节表 4 显示出课程的演变情况。对每一单元结束时参加者提出的反馈意见和建议均进行了讨论并尽可能作出改进。每期培训班结束时，每个学员都要填写广泛征求反馈意见的表格。也请教员们对每期培训班提出反馈意见。课程研究委员会（为研究课程而设立的专家组）考虑并讨论了所有的反馈意见，在举办随后的培训班时考虑提出的建议。

C. 卫星气象学和全球气候培训班的订正课程

1. 目标

27. 卫星气象学培训班的目标如下：

(a) 使发展中国家的专家接受卫星气象学应用方面的培训以便支助其国家发展和社会经济福利；

(b) 促进利用气象卫星数据和技术监测和评估环境以及严重的气象现象。

28. 预计培训结束时进修人员将能够：

(a) 作为联系人提高本国其他专业人员的技能和知识；

(b) 对其国家实用气象卫星数据及其应用的决策、规划、发展和管理作出贡献；

(c) 增强和提高其国家自力更生的能力以便减少对外部专家的依赖。

2. 方案要求

29. 要求参加培训班进修的人员有数学、物理学或气象学的理学学士学位，并至少在气象或有关领域五年的专业经验。

3. 课程结构

30. 建议的培训班将包括九个月的工作方案及其后在进修人员本国执行一个一年的试验性项目。九个月的培训由四部分组成。基本概念（两个月）；由气象卫星得到数据的应用（两个月）；数值模型和气候变化（两个月）；项目开发和提出建议（三个月）。头三个组成部分分别组织为三个单元（MODULE）。建议为水平比较高的学生组织额外的第四个教学单元，这一单元将由未来卫星的潜在利用、仪器仪表等课题组成。在设计课程结构时工作组得益于亚洲及太平洋空间科学和技术教育中心的经验。

4. 授课与实际练习

31. 工作组建议每周 15 小时授课加上 20 小时实际工作。

5. 设备

32. 作为培训班的一部分（A/AC.105/649）所需要的设备和产品如下，其中包括文件 A/AC.105/534 中已具体列出的那些：

高分辨率图像传送地面站

微型计算机（带调制解调器、光盘放送机等）*

打印机

* 所需设备数量将取决于选定参加培训班的人数。

英特网能力
 传真机
 高分辨率对地静止卫星地面站
 数据文件
 图解和显示系统
 图像处理和气象软件
 查询雷达和国家天气预报产品的能力*
 工作站*
 气象图像自动传真站
 地理信息系统
 气候图集*
 地形资料
 课本

6. 邀请信/调查表

33. 需请未来的进修人员填写一份调查表以帮助区域中心进行选择过程。每一个区域中心可编制自己的调查表。

7. 订正的课程

34. 卫星气象学和全球气候培训班的订正课程如下。

单元 1：基本概念（两个月）

1. 气象学
 - 大气动力学
 - 大气环流
 - 热带和温带天气系统
2. 气候学
 - 地球气候带的划分
 - 一年一度 and 半年一度循环
 - 气候的可变迁性
 - 世界气候概况
3. 海洋学
 - 海洋在天气和气候中的作用

海洋参数

海洋循环

海—气相互作用

4. 大气物理学

大气圈的组成

热动力学

辐射法则

电磁波谱

5. 数学

矩阵

偏微分 and 全微分方程

积分和导数

6. 统计学

数据分析

监督和非监督分类法

7. 计算机技术

不同的计算机环境

计算机语言

气象软件

制图工具

多媒体

8. 气象卫星/轨道概述

轨道动力学

极轨和对地静止卫星

实用气象卫星

下午课

按需要进行语言强化培训

实验室练习，熟悉计算机，利用万维网址

单元 2：应用（两个月）

图像处理和地理信息系统

1. 仪器仪表和气象遥感器

无源遥感器和有源遥感器

遥感器技术：光学/红外/水汽

传感器技术：微波

分辨率概念：空间的、时间的

光谱仪

图像显示器与声码器

2. 图像判读和应用

天气尺度系统和中尺度系统

热带和温带天气系统

大气污染（灰尘、薄雾、烟、森木火灾等）

海洋监测

3. 图像处理技术

投影软件

图像配准/导航、辐射和几何校正

大气校正

图象分类，集群等

4. 基础地理信息系统

基本概念

数据管理

数据操作

地理信息系统的实施

多层图的制作

应用于气象学和气候学

卫星数据检索和应用

5. 地球物理学参数检索

统计法和反演法

加权函数

6. 大气参数

风

大气圈剖面图

降水

向外长波辐射

气溶胶浓度

关于云的资料

辐射收支

7. 陆地和海洋参数

海面温度

海面风

植被指数

地表参数

8. 导出参数的应用

季节内可变性

热带/温带系统

干旱监测

降雨量可变性

海—气相互作用

区域/本地天气系统

在本单元中可根据上述专题和区域中心资源可得性设计实验室课。

单元 3：数值模型和全球气候（两个月）

数值模型和卫星数据同化

1. 区域和全球模型

简单模型，0-、1-、2-和 3-维（0-D，1-D，2-D，3-D）模型

基本模型结构

卫星数据对参数化的作用

2. 数据同化概念

数据同化基本原理

观测系统

主观、客观分析

同化循环

模式输出

3. 卫星数据同化

湿度、风、温度

降雨量

影响

全球气候

4. 气候变迁

气候监测基本原理

温室效应和全球变暖

短期和长期可变性

辐射收支和反馈机制

人为效应

5. 气候变迁的影响

厄尔尼诺型影响

上升流

冰冠

海面 and 海岸泛滥

今后气候预测

6. 以卫星数据为依据的气候学

云气候学（国际卫星云气候学项目）

陆地表面气候学（国际卫星陆地表面气候学项目）

全球降水（全球降水气候学项目）

环境问题

7. 大气化学

臭氧

其他痕量气体

污染物的作用

卫星观测方案

8. 环境议定书

全球气候变化和所涉政策影响

21 世纪议程：一体化可持续发展

《联合国气候变化框架公约》的东京协议

9. 灾害管理

监测技术

传播信息

基于卫星的报警系统

可根据上述课题和区域中心资源可得情况设计这个单元实验课。

额外的课程单元 4 (供成绩优秀的学生选择)

这个供选择的单元是否与其他单元一起进行取决于进修人员的科学基础知识、需求和方便。进修人员可从以下专题中选择任何一个专题：

今后卫星仪器的潜在利用

卫星数据的高级应用

数值天气预报中先进卫星数据同化

先进的地理信息系统

试验项目 (三个月)

8. 教材和简称表

35. 建议的教材清单附于附件二，课程的注释在附件三。

Annex I

Curriculum for the first three courses

A. Modules

Table 1

First course at a glance

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
	Basic concepts of meteorology	25
	Basic concepts of climatology	20
1.2	Concepts in satellite meteorology	
	Introduction to satellite meteorology	23
	Meteorological satellite orbits, instrumentation and data products	26
1.3	Applications of satellite imagery and digital image processing	
	Use of satellite imagery in meteorology and weather forecasting	15
	Statistics, digital image processing techniques and GIS	17
2	Advanced concepts in satellite meteorology, parameter retrieval and applications	
2.1	Radiative transfer and parameter retrieval	
	Concepts of radiative transfer	25
	Meteorological and oceanographic parameter retrieval	38
2.2	Applications using digital satellite data	
	Applications of digital satellite data in meteorology and weather forecasting	29
	Applications in oceanography	23
	Applications in climate studies	15
2.3	Environmental problems and numerical models	
	Environment issues and societal impacts	17
	Satellite data assimilation and modelling	28
3	Pilot projects (three months)	

Figure I

Percentage of time spent on each activity during the first course

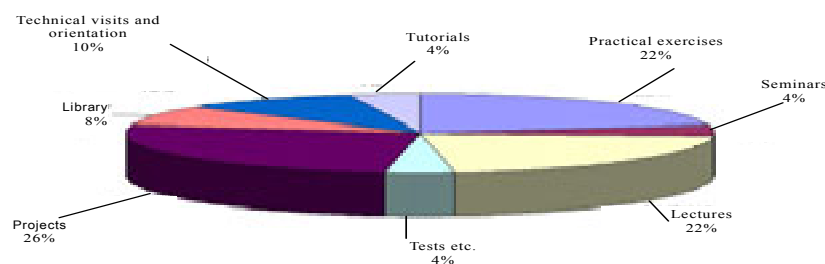


Table 2

Second course at a glance

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing (three months)	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
	Basic concepts of meteorology	20
	Basic concepts of climatology	10
1.2	Concepts in satellite meteorology	
	Mathematical and computational techniques for satellite meteorology	20
	Introduction to satellite meteorology	25
	Meteorological satellite orbits and instrumentation	20
1.3	Applications of satellite imagery and digital image processing	
	Use of satellite imagery in meteorology and weather forecasting	20
	Statistics, digital image processing techniques and GIS	15
2	Advanced concepts in satellite meteorology, parameter retrieval and applications (three months)	
2.1	Radiative transfer and parameter retrieval	
	Concepts of radiative transfer	30
	Meteorological and oceanographic parameter retrieval	30
2.2	Applications using digital satellite data	
	Applications of digital satellite data in meteorology and weather forecasting	25
	Applications in oceanography	15
	Satellite data assimilation and numerical models	10
2.3	Applications in climate and environmental studies	
	Climate studies	15
	Environment issues and societal impacts	15
2.4	Advanced applications (electives)	
	Advanced meteorological and oceanographic parameter retrieval	20
	Advanced applications in climate studies	20
	Advanced satellite data assimilation and modelling	20
3	Pilot projects (three months)	

Figure II

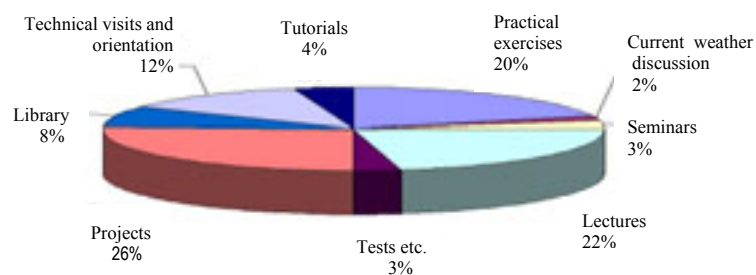
Percentage of time spent on each activity during the second course

Table 3
Third course

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing (three months)	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
1.1 MATH	Mathematical and computational techniques for satellite meteorology	20
	Matrices	
	Partial and total differential equations	
	Integral and derivatives	
	Basic concepts of statistics	
1.1 MET	Basic concepts of meteorology, climatology and oceanography	30
	Dynamic and physical meteorology	
	Extra-tropical weather systems	
	Tropical weather systems	
	Climate of the region	
	Ocean and climate	
1.2	Concepts in satellite meteorology	
1.2 SM	Radiative transfer in satellite meteorology	25
	Characteristics of electromagnetic radiation	
	Passive remote sensing	
	Active remote sensing	
	Parameter retrieval and validation	
1.2 MSI	Meteorological satellite orbits and instrumentation	15
	Orbits and navigation	
	Operational polar-orbiting satellites	
	Operational geostationary satellites	
	Other satellites	
	Satellite data archive	
1.3	Image processing and interpretation	
1.3 WF	Image interpretation in meteorology and weather forecasting	30
	Satellite imagery	
	Spectral properties	
	Identification of meso-scale systems	
	Tropical synoptic systems	
	Extra-tropical synoptic systems	
	Radar imagery	
1.3 DIP	Image processing techniques and GIS	15
	Map projection	
	Satellite positioning systems	
	Image registration, radiometric and geometric correction	
	Image classification	
	GIS	
2.1	Geophysical parameter retrieval	
2.1 AP	Atmospheric parameters	15
	Winds	
	Temperature profile	
	Humidity profile	

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
2.2 LOP	Precipitation	10
	Outgoing longwave radiation	
	Clouds and aerosols	
	Land and oceanic parameters	
	Sea-surface temperature	
	Sea-surface winds	
	Vegetation index	
2.2	Land-surface parameters	30
2.2 AWF	Applications of satellite-derived parameters	
	Applications in meteorology and weather forecasting	
	Onset of monsoon	
	Intra-seasonal and inter-annual variability	
	Tropical cyclones	
	Extra-tropical cyclones	
2.2 NM	Drought monitoring	15
	Air-sea interaction	
	Satellite data assimilation in numerical models	
	General circulation models	
	Concepts of data assimilation	
2.3	Satellite data assimilation	25
	Impact of satellite data assimilation	
	Global climate and environment	
	Short-term climate variability	
	El Niño and tele-connection	
2.3 SC	Cloud climatology	25
	Land-surface changes	
	Ozone and other trace gases	
	Long-term climate change	
	Climate change	
2.3 LC	Greenhouse effect and global warming	10
	Changes in cryosphere	
	Future climate scenario and satellite missions	
	Environment issues and societal impacts	
	Oceanic biological productivity	
2.3 ESI	Coastal zone environment	10
	Pollution	
	Disaster management	
	Mass communications	
3	Pilot projects (three months)	30

B. Practical exercises

1. List of practical exercises for the first course

Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications

1. Computer facilities and familiarization
2. Geostationary satellite (Indian National Satellite System (INSAT) and geostationary meteorological satellites (GMS)) data applications
3. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data applications
4. Cloud motion vectors from INSAT and their applications
5. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation
6. Applications of satellite data in tropical cyclone track prediction
7. Multimedia demonstration of Meteosat/Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)/cyclone data
8. Visualization packages

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of outgoing longwave radiation (OLR) using INSAT very high resolution radiometer (VHRR) and GMS data
2. Estimation of daily and weekly rainfall using INSAT-VHRR data
3. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
4. Study of average layer humidity and temperatures over different regions using NOAA television and infrared observation satellite (TIROS) operational vertical sounder (TOVS) finished products
5. Processing of the International TOVS Processing Package (ITPP) 5 software for estimation of the temperature profile using NOAA/TOVS data
6. Interpretation of general circulation model results
7. Study of model simulation results from CO₂-doubling using general circulation models
8. Snow-cover estimation from NOAA-AVHRR data
9. Normalized vegetation index from NOAA-AVHRR data
10. Use of satellite meteorological data in GIS
11. Surface winds from scatterometer data
12. Sea level from altimeter data
13. Familiarization with the low resolution transmittance (LOWTRAN) calculation package

2. List of practical exercises for the second course**Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications**

1. Computer facilities and familiarization
2. Geostationary satellite (INSAT, GMS) data applications
3. NOAA-AVHRR data applications
4. Cloud motion vectors from INSAT and their applications
5. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation
6. Applications of satellite data in tropical cyclone track prediction
7. Multimedia demonstration of Meteosat/GOES/cyclone data and visualization packages
8. Estimation of OLR using INSAT-VHRR and GMS data, Meteosat applications

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of daily and weekly rainfall using INSAT-VHRR data
2. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
3. Processing of the ITPP 5.01 software for estimation of the temperature profile using NOAA/TOVS data
4. Interpretation of general circulation model results
5. Snow cover, normalized vegetation index, sea ice, forest fire from NOAA-AVHRR data
6. Use of satellite meteorological data in GIS
7. Surface winds from scatterometer data
8. Familiarization with LOWTRAN package (demonstration)
9. Multichannel scanning microwave radiometer (MSMR) retrieval
10. Aerosol applications

3. Suggested list of practical exercises for the third course**Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications**

1. Computer facilities and familiarization
2. INSAT-VHRR data applications
3. NOAA-AVHRR data applications
4. Visualization techniques
5. Cloud motion vectors from geostationary satellites and their applications
6. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation

7. Application of satellite data in tropical cyclone track prediction
8. Multimedia demonstration of Meteosat/GOES/cyclone data and visualization packages
9. Estimation of OLR using VHRR data and applications

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of daily and weekly rainfall using VHRR data
2. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
3. Estimation of the temperature and humidity profile using NOAA/TOVS data
4. Interpretation of general circulation model results
5. Snow cover, normalized vegetation index, sea ice, forest fire from NOAA-AVHRR data (demonstration)
6. Use of satellite meteorological data in GIS (demonstration)
7. Surface winds from scatterometer data (demonstration)
8. Familiarization with LOWTRAN package (demonstration)
9. Geophysical parameter retrievals from microwave radiometers
10. Objective analysis of wind
11. Objective analysis of temperature

C. Pilot projects

1. Pilot projects carried out by participants in the first course

1. Soil moisture estimation using the normalized difference vegetative index (NDVI) from NOAA/AVHRR data over Mongolia
2. Retrieval, validation and applications of the sea surface temperature (SST) around Sri Lanka using the European remote sensing satellite (ERS) along-track scanning radiometer (ATSR) data
3. Rainfall estimation using cloud indexing
4. Cloud analysis of western disturbances
5. Wildfire danger estimation and monitoring using NOAA-AVHRR, Indian Remote Sensing Satellite (IRS) and GIS techniques
6. NDVI and estimation of soil moisture over Bangladesh
7. Retrieval, validation and applications of atmospheric temperature and humidity profiles from NOAA/TOVS satellite sounding data over Mongolia
8. Tropical cyclone track prediction using cloud top temperature and chaos theory

9. Onset of monsoons over Nepal using satellite data
10. Rainfall estimation over Bangladesh and the Bay of Bengal by Arkin's method
11. Temperature and humidity profile over Uzbekistan using NOAA/TOVS data
12. Study of coastal upwelling in the Persian Gulf and Oman Sea
13. Rainfall estimation over the Indonesian region
14. Validation of NWP model output with satellite-derived products vis-à-vis conventional meteorological observations
15. Rainfall estimation over a cyclone using the cloud indexing technique
16. Break and active monsoon over Nepal
17. Ocean circulation modelling using satellite data

2. Pilot projects carried out by participants in the second course

1. Movement of tropical cyclones near the Philippines using GMS water-vapour imagery
2. Tropical cyclone intensity and track prediction using INSAT-VHRR data
3. Study of tropical cyclone track prediction over the Vietnamese region using GMS data
4. Identifying oceanic and atmospheric features from NOAA-AVHRR data
5. A study of sea-surface temperatures and sea-surface winds over the Indian Sea using the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) microwave imager and IRS-P4 MSMR data
6. Retrieval of humidity profiles from MSMR water vapour using the method of empirical orthogonal function analysis
7. Study of MSMR brightness temperature data over India and Kazakhstan and its potential for large-area soil moisture estimation
8. Humidity and temperature profile from NOAA/TOVS satellite data and its comparison with radiosonde and National Centers for Environmental Prediction (NCEP) data
9. Humidity and temperature profile from the NOAA/TOVS package and a comparison with NCEP and Meteosat data
10. Climatology of Mongolia using NCEP National Center for Atmospheric Research (NCAR) data
11. Rainfall estimation over the Indian region derived from the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) special sensor microwave imager (SSM/I) and IRS-P4-MSMR
12. Diurnal cycle of rainfall during the Asian summer monsoon using TRMM observations
13. Multispectral cloud classification using TRMM observations for improving rainfall estimation from visible/infrared techniques

14. Study of western disturbances using satellite data
15. Verification of different model forecasts over Kazakhstan with the analysis and satellite data
16. Comparison of extended range model forecast with Oceansat-1 data
17. A comparative study of sea state estimated by satellite data and conventional fleet forecast over the Arabian Sea
18. SST monitoring during El Niño from satellites and linkage with rainfall over Indonesia
19. Snow monitoring over the western Himalayas
20. Vegetation monitoring using multi-temporal coarse resolution satellite (and weather) data over the Korean peninsula
21. Monitoring of major crops in the Democratic People's Republic of Korea using NOAA-AVHRR channel 1 and 2 satellite data

Table 4
Evolution of the satellite meteorology curricula (theory)

Module	Submodule title	First course	Second course	Third course
		Number of hours		
1	Concepts in meteorology	45	30	30
	Mathematical techniques	-	20	10
	Concepts in satellite	49	45	40
	Applications of satellite	32	35	45
2	Radiative transfer and	63	60	25
	Applications of digital data	52	40	40
	Climate and environmental	32	30	60
	Data assimilation	28	20	15
Orientation		-	20	35
Total		301	300	300

Note: In laboratory exercises, more stress is put on the data products from operational satellites. The recent microwave remote sensing data are introduced in more detail. Emphasis on the validation of satellite data and their use in numerical models is being introduced in the third course.

Annex II

Recommended teaching material

Barrett, E. C., and D. W. Martine. The use of satellite data in rainfall monitoring. London, Academic Press, 1981.

Images in weather forecasting: A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. M. J. Bader *and others*, eds. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

Henderson-Sellers, A., and K. McGuffie. A climate modeling primer. 2. ed. New York, John Wiley and Sons, 1997.

Houze, Jr., R. A. Cloud dynamics. San Diego, Academic Press, 1993.

Kidder, S. Q., and T. H. Vonder Haar. Satellite meteorology: An introduction. San Diego, Academic Press, 1995.

Kondratyev, K. Ya., and A. P. Cracknell. Observing global climate change. London and Bristol, Taylor and Francis, 1998.

Centre for Space Science and Technology Education in Asia and the Pacific. Lecture notes on satellite meteorology. 1: Basics, 2: Retrievals, 3: Modeling Climate Change.

Printed by the Space Application Centre, Indian Space Research Organization, 2000.

Liou, K. N. An introduction to atmospheric radiation. New York, Academic Press, 1980.

Menzel, W. P. Notes on satellite meteorology. Geneva, World Meteorological Organization, 1997. (WMO/TD 824, SAT-17)

Robinson, I. S. Satellite oceanography. Chichester, Ellis Horwood, 1985.

Rao, P. K., *and others*. Weather satellites: Systems, data, and environmental applications. Boston, American Meteorological Society, 1990.

Trenberth, K. E., ed. Climate system modeling. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

Ulaby, F. T., R. K. Moore and A. K. Fung. Microwave remote sensing: Active and passive. II: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1981.

World Meteorological Organization, Preliminary statement of guidance regarding how well satellite capabilities meet WMO user requirements in several application areas. Geneva, WWW/SAT, 1998. (WMO/TD/913, SAT-21)

Annex III

Explanatory notes for the curriculum

0-D	zero-dimensional
1-D	one-dimensional
2-D	two-dimensional
3-D	three-dimensional
APT	automatic picture transmission
ATSR	along-track scanning radiometer
AVHRR	advanced very high resolution radiometer
CCD	charge-coupled device
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ERS	European remote sensing satellite
GIS	geographic information system
GMS	geostationary meteorological satellite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
HRPT	high-resolution picture transmission
INSAT	Indian National Satellite System
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
ISLSCP	International Satellite Land Surface Climatology Project
ITPP	International TOVS Processing Package
LOWTRAN	low resolution transmittance
MSMR	multichannel scanning microwave radiometer
NCAR	National Centre for Atmospheric Research
NCEP	National Centres for Environmental Prediction
NDVI	normalized difference vegetative index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWP	numerical weather prediction
OLR	outgoing longwave radiation
SSM/I	special sensor microwave imager

SST	sea surface temperature
TIROS	television and infrared observation satellite
TOVS	TIROS operational vertical sounder
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VHRR	very high resolution radiometer
WEFAX	weather facsimile
WMO	World Meteorological Organization
