

“十二五”国家重大科技基础设施 地球系统数值模拟装置 工程季报

2020 年第 3 期（总第 8 期）

地球系统数值模拟装置工程办公室

2020 年 9 月

一、工程总体建设进展

2020 年第三季度项目的主要进展包括：招投标及合同签订工作、项目建设、预算执行等，具体如下：

（一）招标和合同签订工作进展

装置系统四“支撑数据库和可视化分系统”、系统五“面向地球科学的高性能计算系统—离线存储子系统和网络及安全防护子系统”已完成招标工作并完成合同签订；系统五“面向地球科学的高性能计算系统—城域高速网络”招标文件分别通过清华大学、装置工程经理部审核，于 2020 年 9 月 24 日发布招标公告。

（二）基建建设进展

基建部分目前正在进行园林绿化工程及庭院铺装、开闭站施工，室内装修、通风空调、电气工程、采暖进入收尾阶段。基建工程已完成总工程量的 93%，计划 11 月份完成全部的基建建

设任务，达到竣工验收条件。



大厅石材铺装



开闭站基坑挖槽放线

(三) 装置建设进展

1、硬件建设进展

(1) 硬件平台建设进展：系统 5 的面向地球科学的高性能计算系统的硬件建设任务基本完成，预计 10 月份开展计算机系统整体安装，年底前进入计算机系统整体调试。

(2) 计算网络变更方案情况：系统 5 计算机高速交换网络子系统原先采用的是定制的层次化 6D-Torus 结构，主要设备为基于 Intel Omni-Path 芯片研发的硅元交换机。受进出口管制影响，高速网络相关的交换机、线缆等无法按照预期交付使用，需要对原有高速网络方案进行更换。系统承建方按照变更方案的性能不低于原方案的原则进行了市场调研及设备选型，从产品成熟度、性能等各方综合考虑，选用 Mellanox 公司的 HDR Infiniband 标准产品组成的网络方案替换原高速网络方案。该

公司产品市场占有率更高，产品更成熟，技术发展路线明确。

对于方案的变更，承建方曙光公司提出了变更申请，工程例会讨论确定进行专家评审。2020年7月14日经过专家论证同意采用新的计算网络方案。

2、软件研发部分进展

(1) 工程建设方面：

系统二“区域高精度长期气候变化风险模拟分系统及中国和全球主要农产区粮食作物旱灾模拟分系统”完成了详细设计方案的专家评审，评审专家组认为系统详细设计方案的总体结构合理、技术规范明确、模块功能科学完整、技术路线合理可行，符合批复要求；项目组织管理机制健全，实施团队人员配置齐全，验收方案和时间进度安排合理，符合整体工程项目的要求。

系统一“地球系统模式数值模拟系统”、系统四“资料同化（区域、陆面和大气化学）、观测系统模拟实验、卫星关键参数反演及数据融合分系统”分别在京完成中期检查，各项任务均已按合同要求和计划开展，问题和风险总体可控，同意通过中期检查评审。

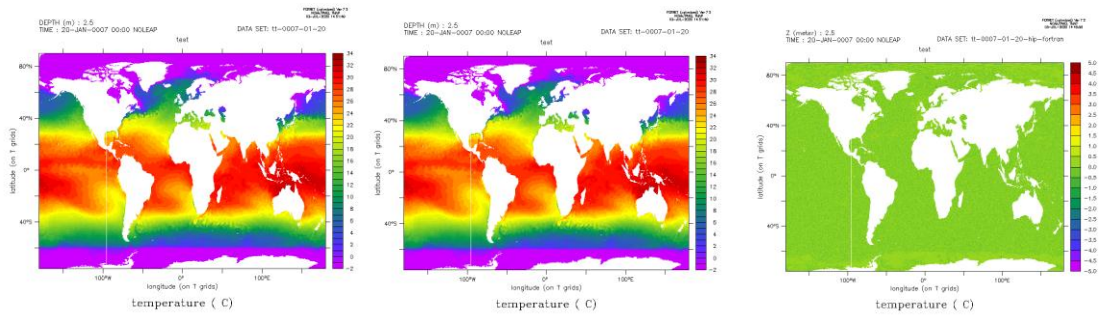
系统三“超级模拟支撑与管理系统”各子系统已经基本完成编码开发，正在进行单元测试与子系统内部调优。同时，部分子系统已开始进行初步的集成工作。



系统一中期检查评审会

(2) 关键技术攻关方面:

1) 系统一“地球系统模式数值模拟系统”针对海光处理器，完成了 10 公里分辨率三极坐标海洋环流模式性能优化和测试，20400 CPU 核计算速度达到 4.9 模式年/天，相对于 768 核并行效率达到 48%。完成了针对海光加速卡的 10 公里分辨率海洋环流模式 LICOM3-HIP 开发和测试，320DCU 卡的计算速度达到 4.5 模式年/天。

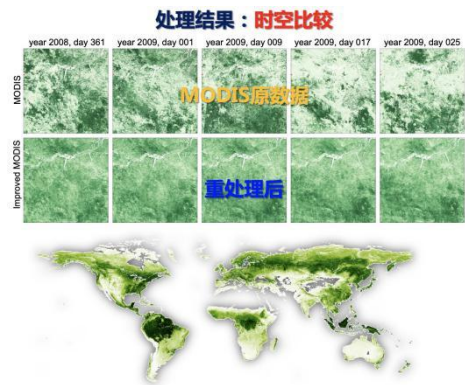


10 公里的分辨率海洋环流模式海平面温度模拟:

CPU 版本 (左), DCU 版本 (中), 两者差 (右)

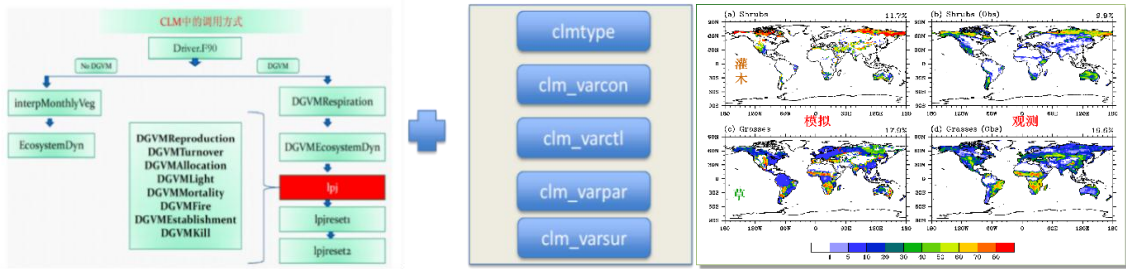
陆面过程模式分系统完成了地表资料数据集生成子系统开发, 建立了全球高分辨率基础数据集, 生成全球 500m 叶面积指数数据集和全球 1 km 土壤水热特征参数集, 融合了可获得的多源土壤数据, 形成了最为详尽的世界土壤数据集, 共 34 个土壤属性。

数据集	现使用	分辨率(米)	生成/引入
土壤属性	中山大学	1000	生成
土地覆盖类型	USGS MODIS	1000	引入
陆冰	GLIMS3.2	1000	引入
湖泊/湿地	FLAKE WWF	1000	引入
叶面积指数	中山大学	500	生成
地形	SRTM	90	引入
河川河道	SRTM	90	引入



生成的数据集情况 (左) 及叶面积指数数据集的可视化结果 (右)

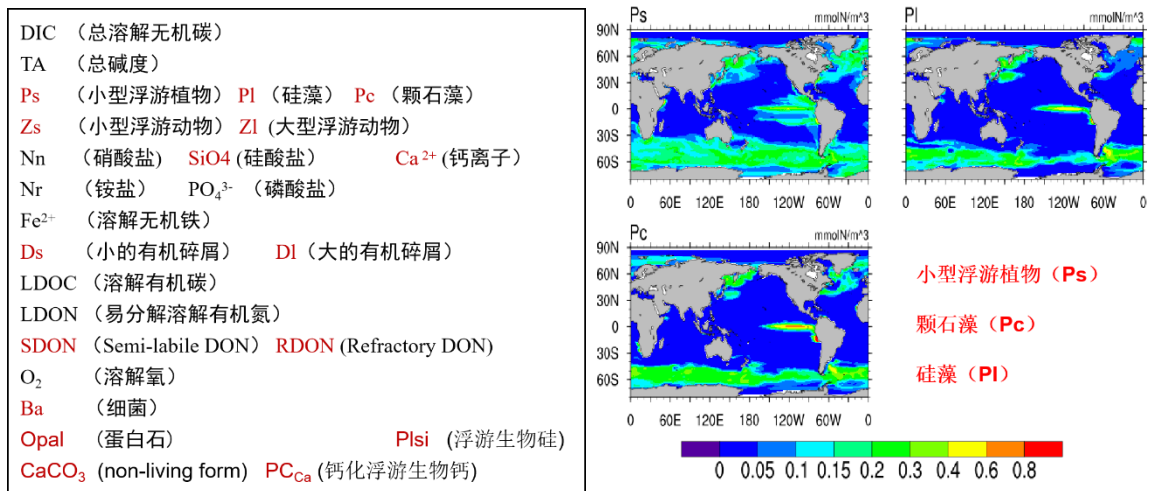
完成了植被动力学模式代码开发工作, 设计实现了模式的数据结构和代码架构, 增加或更新了灌木林方案、火参数化方案及植被萌行方案, 并开展了数值模拟试验。



植变动力学模式的代码结构（左）和初步模拟结果（右）

开展了气溶胶和大气化学模式分系统并行通信优化和并行IO优化，速度提升3-5倍，目前1度分辨率的全球气溶胶和大气化学模式计算速度可达到10.7模式年/天。

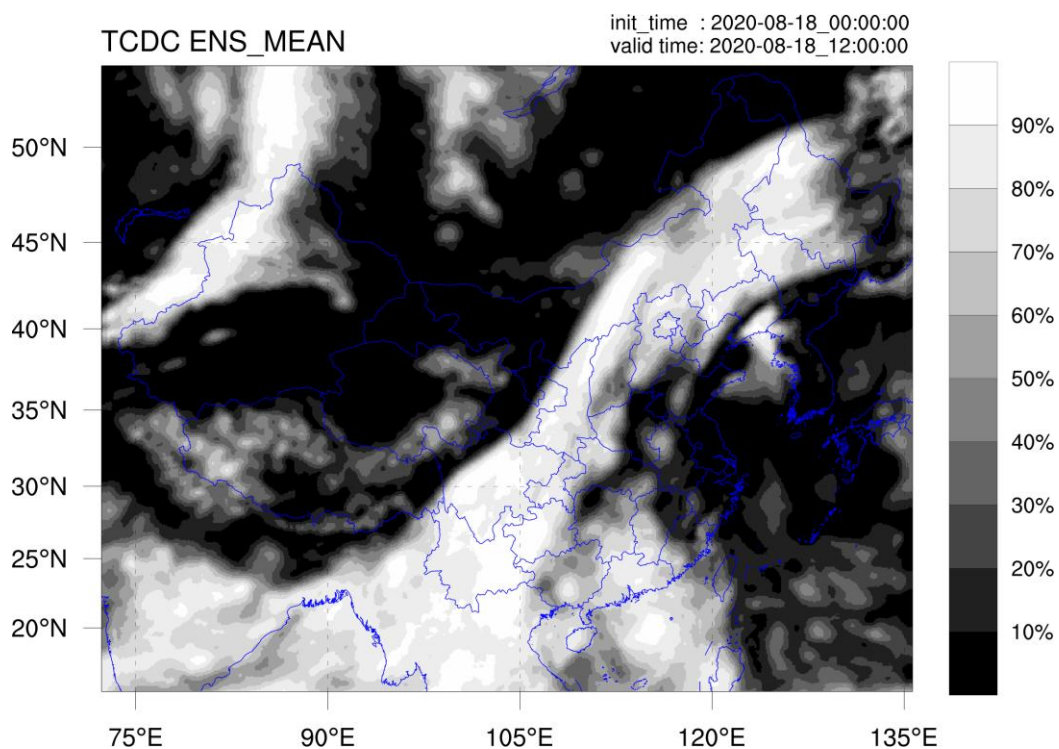
海洋生物地球化学模式的模拟变量从9种扩增至25种，并与海洋环流模式耦合，进行了模拟试验。



海洋生物地球化学模式的模拟变量（左）和模拟结果（右）

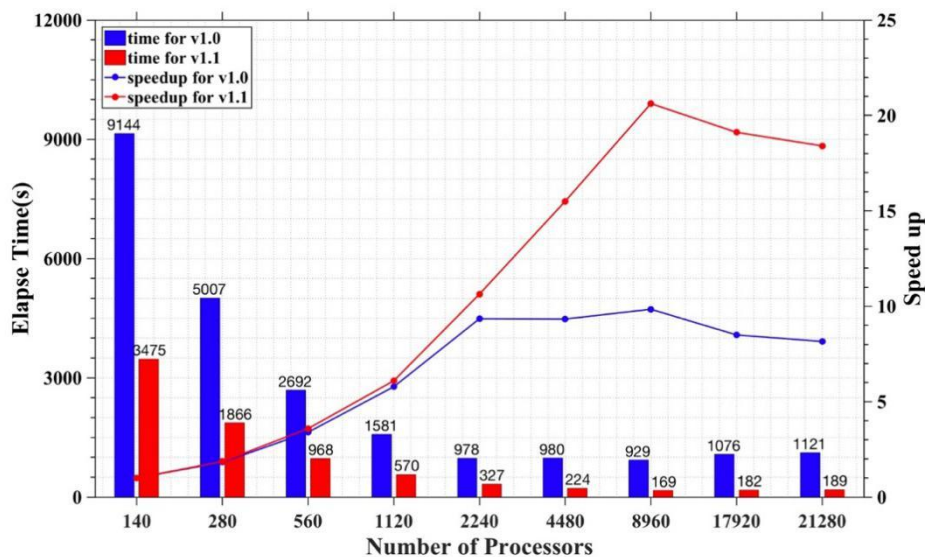
2) 系统二“区域高精度环境模拟系统”主要开展各个分系统的开发编码工作。区域云可分辨天气预报模式分系统完成了同化模块、3km集合预报系统各集合成员模块、1km分辨率重点区域集合预报模块的编码和封装，开发了集合气象要素、集合

云和集合降水等预报产品。



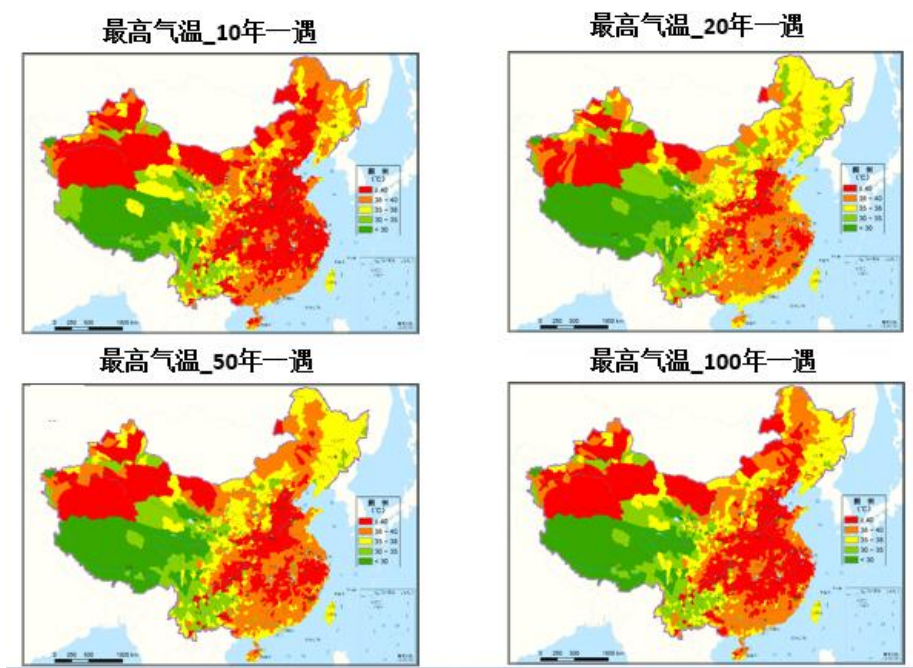
2020年8月18日1200UTC-19日1200UTC集合平均总云量

区域高精度大气污染模式分系统完成了26个模块的代码开发和封装，完成了向量化计算、边界通信优化、并行IO读写优化等技术开发，实现了两种气相化学求解器（LSODE和MBE）的兼容计算，大幅提升了模式并行计算的效率和空间分辨率。



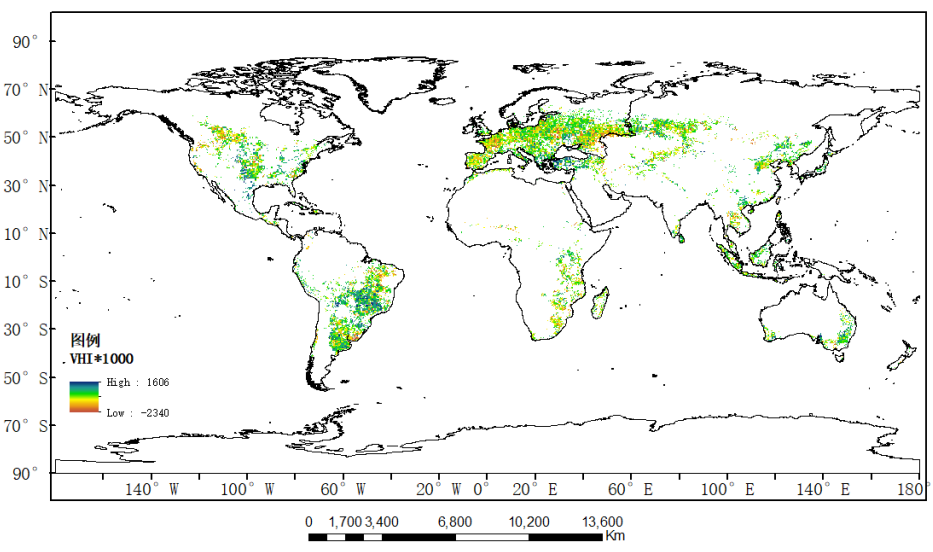
采用并行加速优化技术显著提升了模式并行计算的效率

区域高精度长期气候变化风险模拟分系统形成了对全球和东亚核心气候变量年代际变率和长期趋势以及时空特征的监测和归因分析能力，实现了全球和东亚不同温室气体排放情景下（RCPs 和 SSPs）近期（2035 年之前）和长期（2100 年之前）气候变化的时空特征及其不确定性、极端气候指数和未来气候变化的定量分析功能，实现了基于卫星数据制备中国森林分布现状的功能，完成了 VIC-CAS 模型的搭建。



极端高温事件风险分析的不同重现期下日最高气温风险分布

中国和全球主要农产区粮食作物旱灾模拟分系统已完成 NDVI、VHI 两种干旱指数的开发及测试，对于农地和水体的分类精度达到 76%和 80%，打通了作物生长从监测数据到模拟预测的数据流自动化模拟流程。

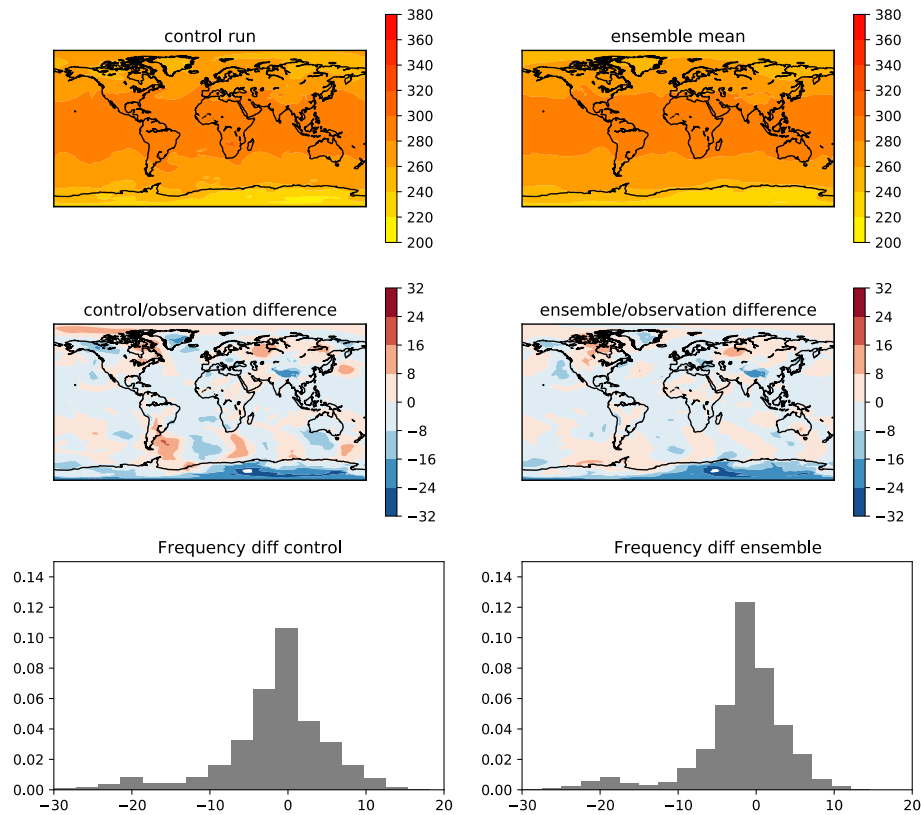


全球 VHI 干旱监测的效果图

3) 系统三“超级模拟支撑与管理系统”的模式算子子系统本季度主要采取耙式划分和空间填充曲线划分这两种并行划分方法对 LICOM 模式进行优化，并选择三极网格方法处理极点问题，添加进算子库 OPENARRAY 中，实现分系统功能的进一步优化。模式方案库子系统模式通过优化调试标准化的统一接口，大大简化方案库模块的调用流程，从而提高效率和适用性。

不确定性分析子系统采用 PYTHON 构建工作框架，目前已经完成模式参数采样分析、敏感性分析、不确定性量化分析、初值集合和高性能计算模块。针对 CESM, SCAM 和 CAS-ESM 模式及其分量模式，提供约 30 个不同可调参数的采样，优化和量化分析功能。同时，子系统设置内部数据库用以存放用户运行的实验以及算例结果，用以快速查找匹配，避免重复运行，节省计算资源。初值集合模块采用 LAF 和 BGM 方法出不同的初值方案，相较于控制组模式模拟结果有了较大的提升。另外在算例最优任务部署的工作中，为了使建模不影响源程序，基于 LLVM 框架，在编译过程中进行插装计时，从而避免了因源码插装导致的风险。为了建模结果更加精确，在函数出入口进行插装，实现函数级性能建模。除此之外，由于建模时间较长，通过提高结果的复用率来尽可能避免重新建模。通过对不同算例子模式建模结果的拼装，从而快速实现新算例的性能建模。

Daily Mean T850 20091025



基于 CESM 模式控制组（左）和 LAF 方法提出的集合方案为初值的
（右）850 hPa 温度场。再分析资料为 ERA5

4) 系统四“海洋资料同化子系统”完成建设任务并顺利交付。海洋资料同化系统基于高分辨率海洋模式 LICOM 进行开发，具有较完善的预处理系统、同化分析系统和后处理系统，水平分辨率 10KM，垂直分层 55 层。针对不同观测资料类型，设计了合适的同化方案，开发多个同化功能模块并进行有效衔接，实现了对多种资料的协同同化，具有可读性、标准型、高效性和可

移植性，可为 LICOM 提供一套包括温度、盐度和海表动力高度等要素的高分辨率三维海洋模式初始场。

（四）预算执行

2020 年度项目累计到位建设资金 26402 万元，其中，中央预算 11402 万元，北京市配套建设资金 15000 万元。截至 9 月底，项目累计执行中央预算 8388.12 万元，其中，大气所部分已执行 5204 万元，执行率 81.31%，清华大学部分已执行 3184.12 万元，执行率 63.66%。

二、合作交流

2020 年 9 月，大气所就大科学装置运行管理先后向中国科学院高能物理研究所、空天信息创新研究院进行调研。高能所和空天院介绍了中国科学院大科学装置管理现况，并围绕装置基本情况介绍、技术指标设施、成果产出、用户评价、设施管理情况等方面详细介绍了设施运行期每年度的工作计划要求。调研期间，双方人员就设施运行费测算管控、运行人员队伍建设管理、用户开拓管理、运行机制、成果产出、运行过程中主要存在的问题、设施数据共享机制以及设施间合作模式等方面进行

了交流和探讨。



大气所调研中国科学院高能物理所、空天信息创新研究院

(责编：张木兰，核签：周天军、朱江)

报送：国家发改委高技术司，教育部科学技术司，北京市怀柔科学城专项办，北京市发改委，怀柔科学城管委会，密云区政府，中科院条财局，中科院北京科创中心专项办，北京综合研究中心。

中科院大气物理研究所怀柔科学城办公室

2020年9月
