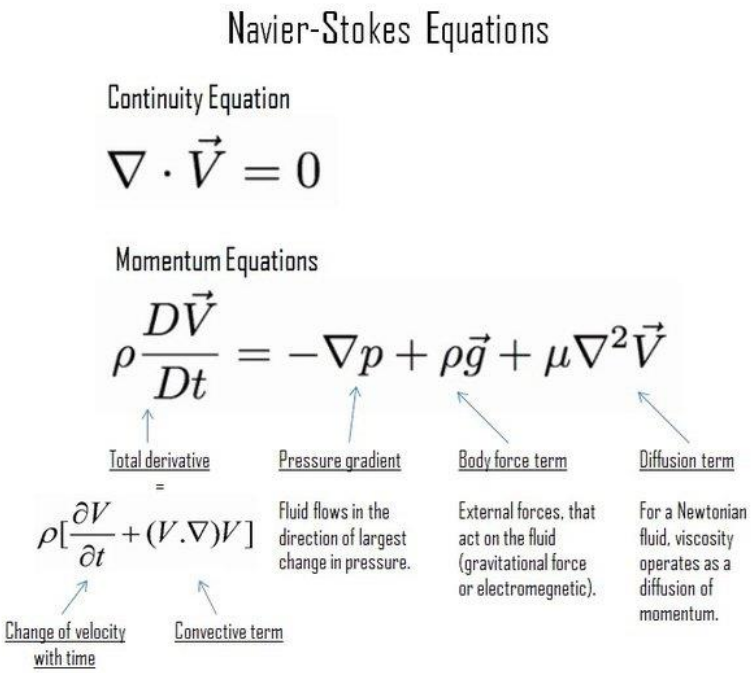
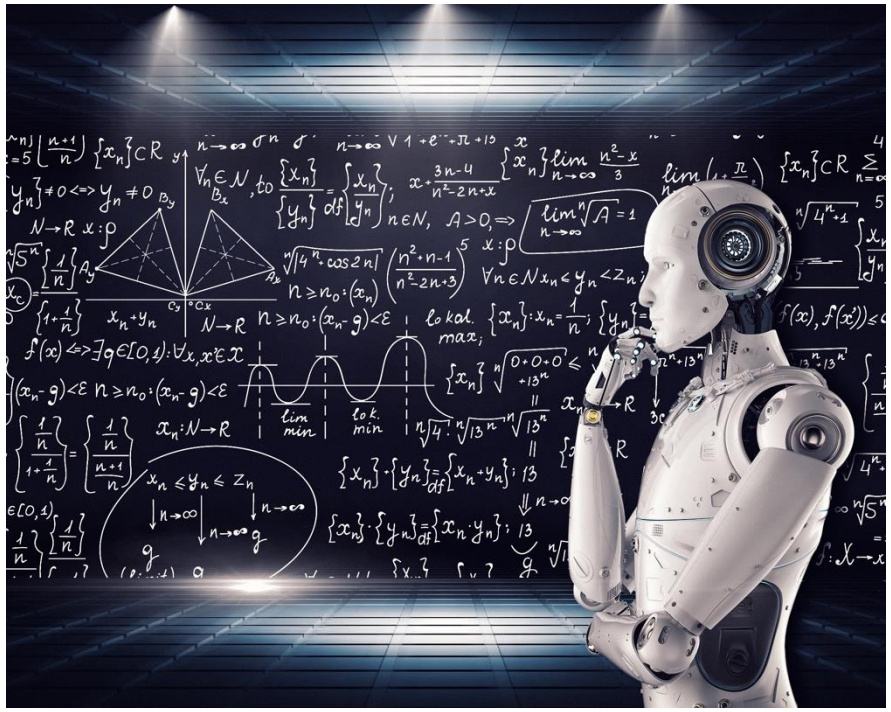
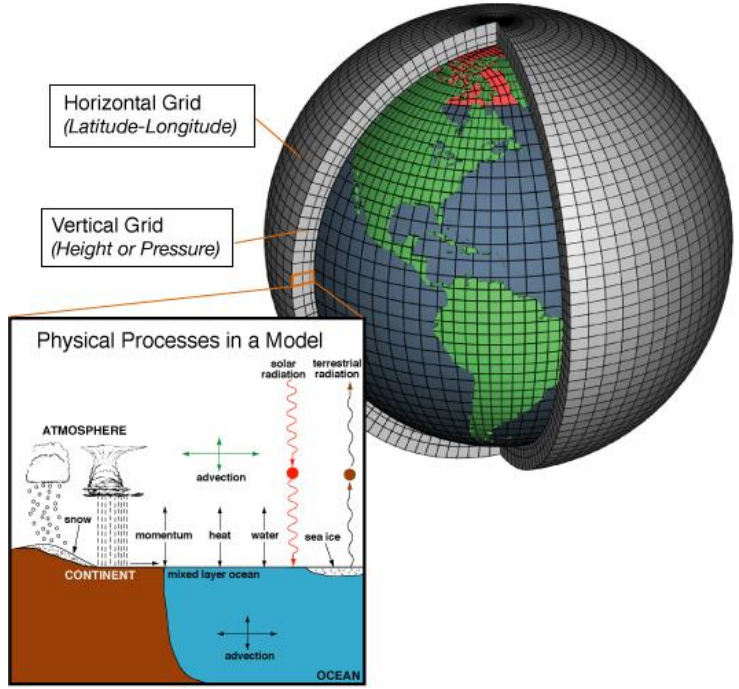
第一章



第二章



第三章

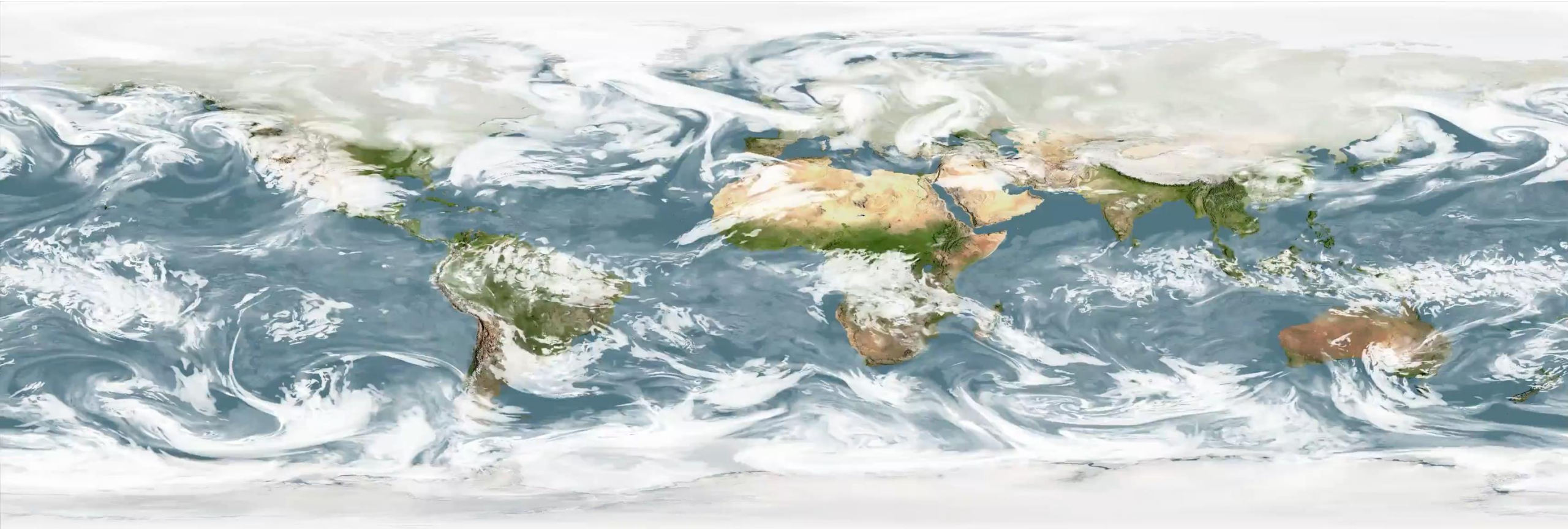


地球流体的数值模拟与AI预测

任课老师：杨邱、闻新宇

2024年秋季学期

我的研究方向

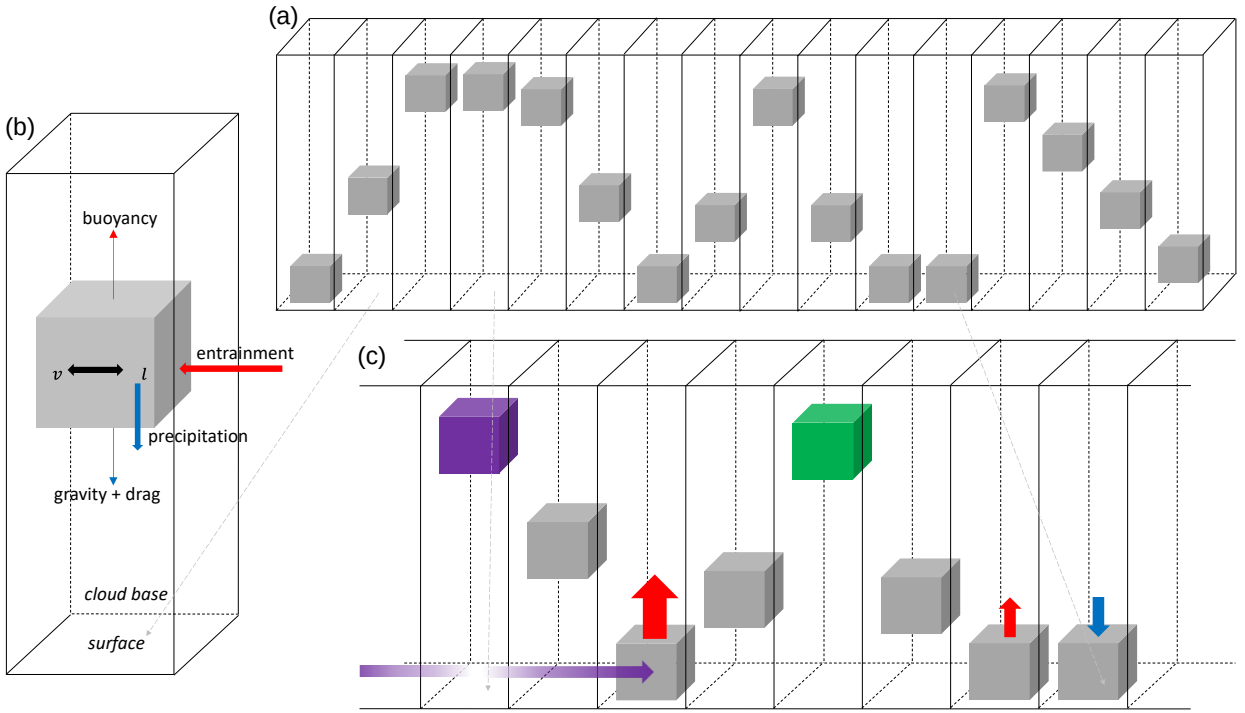


GEOS Model

近期工作

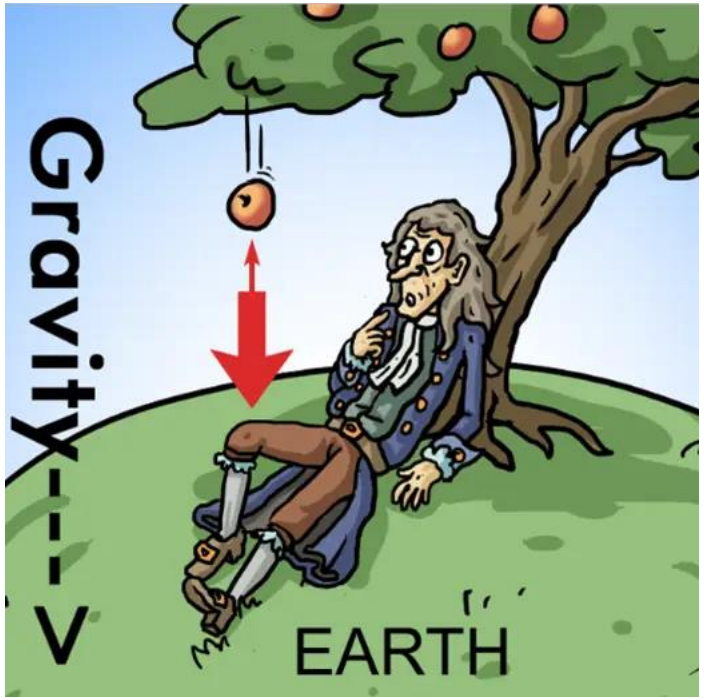
通过数学建模的方法揭示大气中的对流组织化机制，并应用于实际

南中国海上的一次中尺度对流系统事件

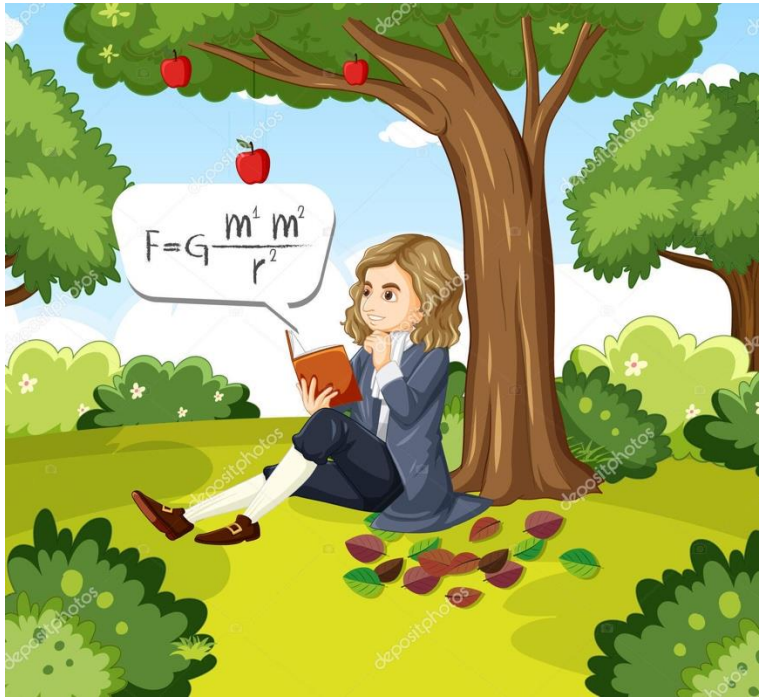


欢迎同学们访问我的科研主页 https://qiuyang50.github.io/

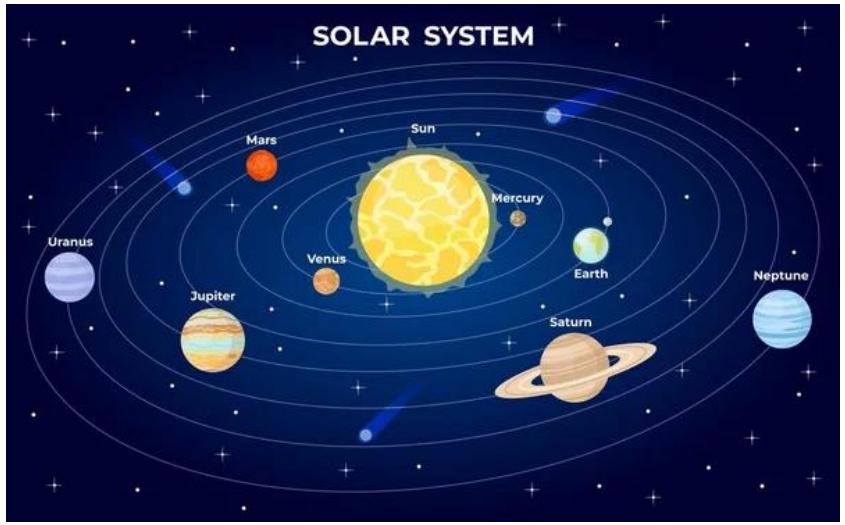
经典的物理建模方法取得了巨大的成功



观测、实验



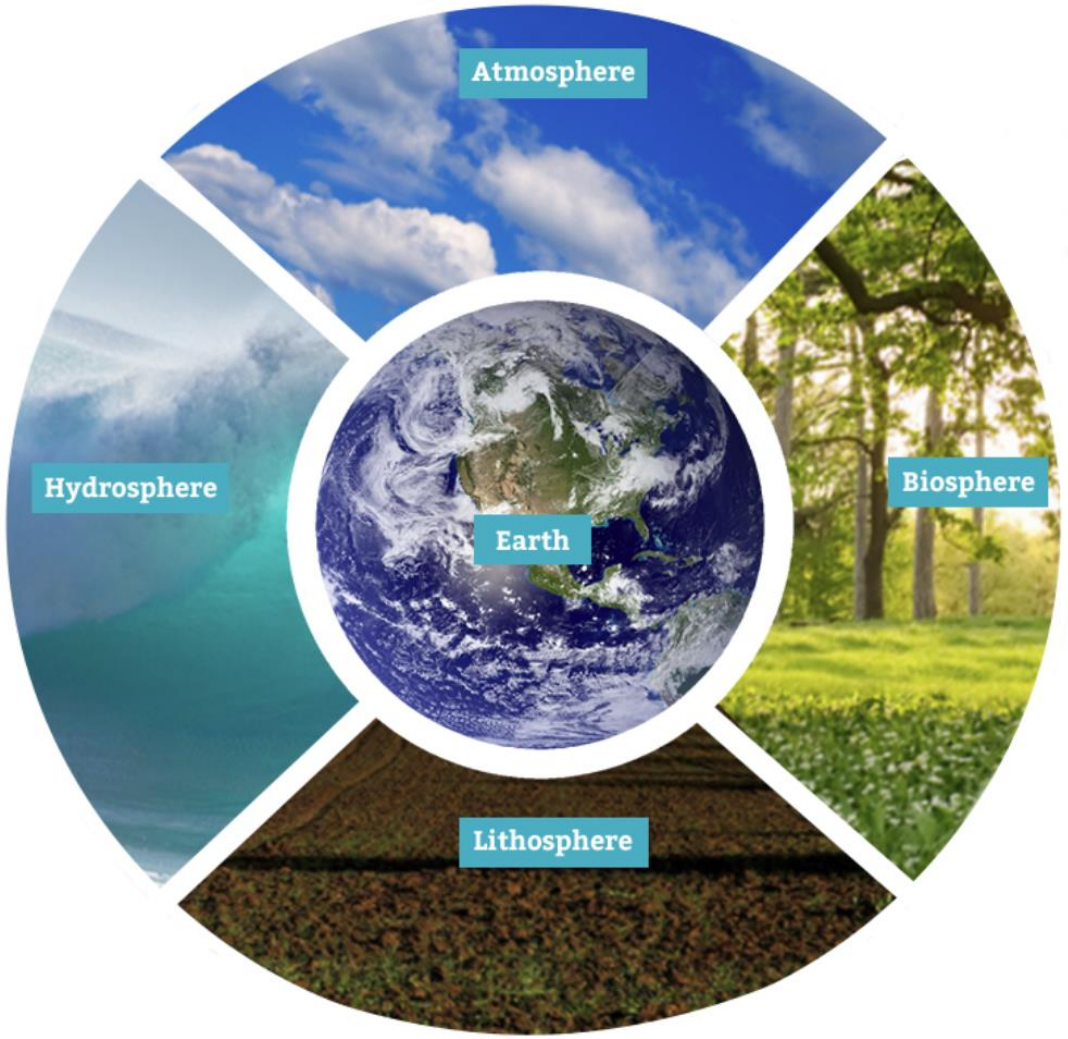
数学建模，数值求解



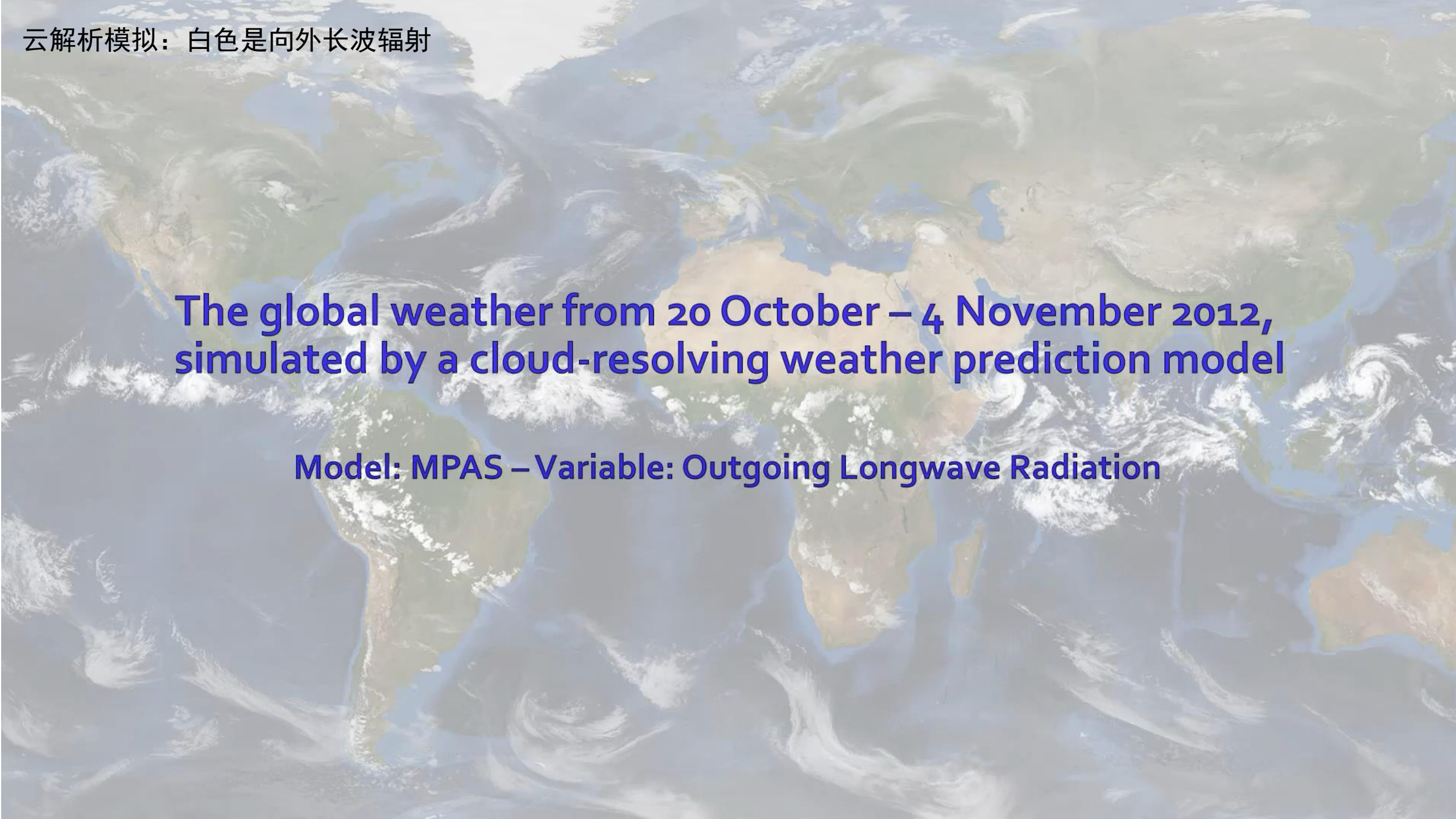
揭示机制、预测未来

但是，物理建模也有局限性

多圈层耦合造成了高度的系统复杂性



云解析模拟：白色是向外长波辐射

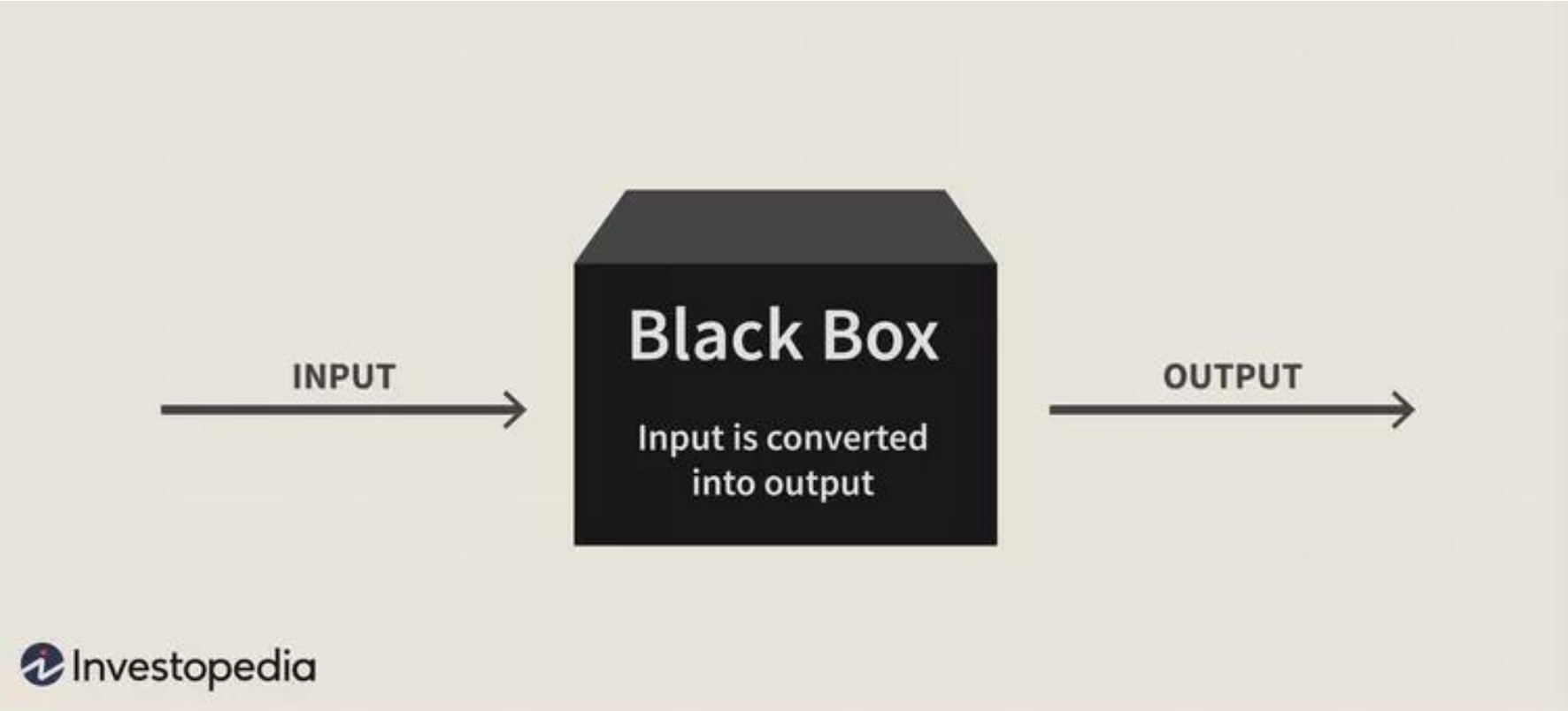


海洋模拟：白色是海表洋流

到底什么是AI？

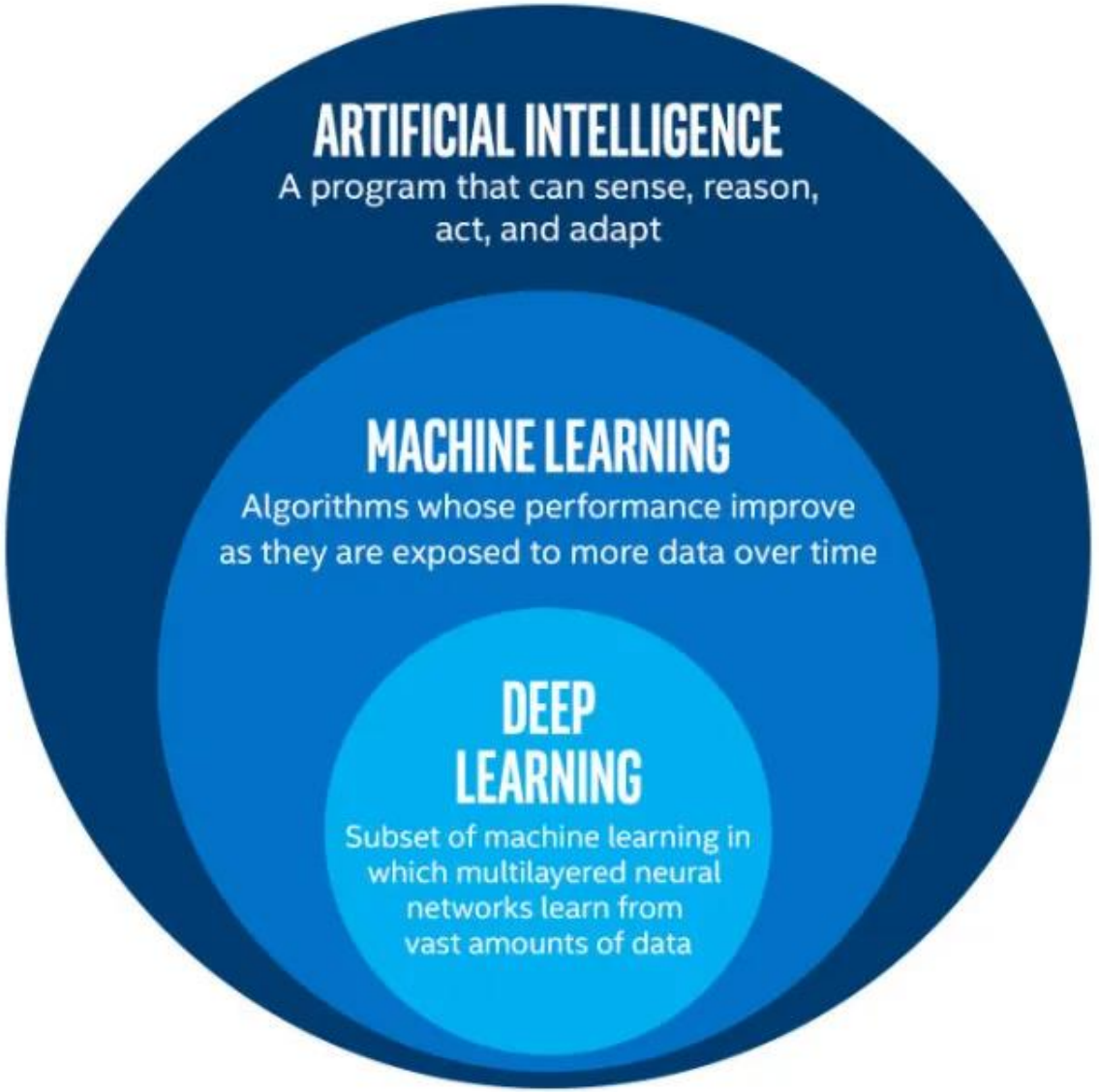
到底什么是AI？

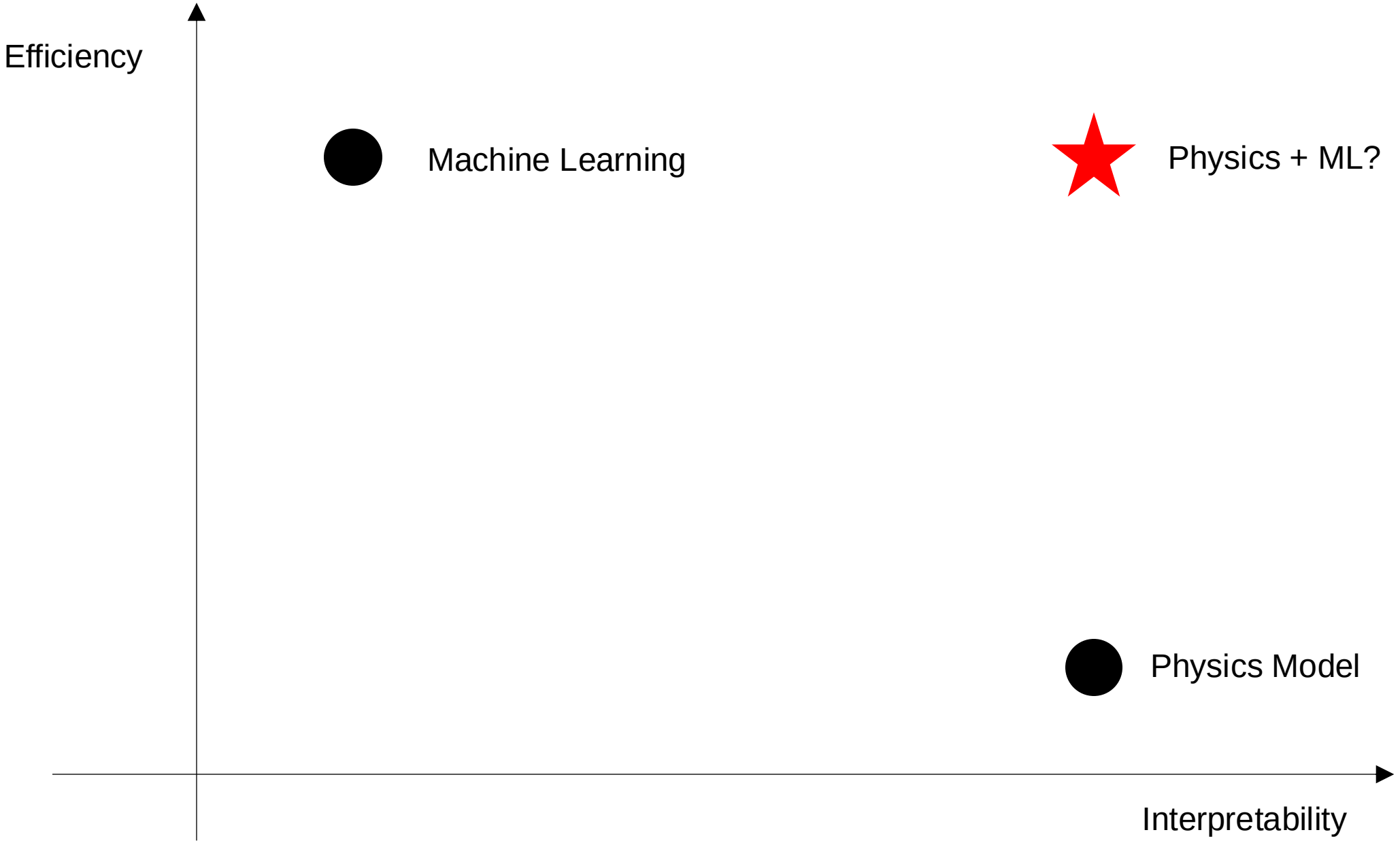
以数据驱动的建模方法展露出优势



Physics Informed Neural Network (PINN)
Layer-wise Relevance Propagation
Exaplainable AI (XAI)
...

人工智能、机器学习、深度学习？




Efficiency
Machine Learning
Physics + ML?
Physics Model
Interpretability

地球流体的数值模拟与AI预测 (2024 秋)

授课教师	周次	日期	上课内容	日期	上课内容
杨	1	9月9日	1.1	9月12日	1.2
	2	9月14日	1.3	9月19日	1.4
	3	9月23日	2.1	9月26日	2.2
	4	9月30日	2.3	10月3日	国庆节放假
	5	10月7日	国庆节放假	10月10日	2.4
	6	10月14日	2.5	10月17日	2.5
	7	10月21日	2.5	10月24日	2.5
	8	10月28日	2.6	10月31日	2.6
闻	9	11月4日	3.1	11月7日	3.2
	10	11月11日	3.3	11月14日	3.3
	11	11月18日	3.4	11月21日	3.4
	12	11月25日	3.4	11月28日	3.5
	13	12月2日	3.5	12月5日	3.5
	14	12月9日	3.6	12月12日	3.6
	15	12月16日	3.6	12月19日	3.6
闻、杨	16	12月23日	学生报告	12月26日	学生报告

注：中秋节9月16日调课至9月14日

课程网站 https://qiuyang50.github.io/_pages/modeling_2024fall/

课程安排
第一章：地球流体基本原理（杨）
1.1 本课程简介
1.2 基本控制方程
1.3 浅水模型及应用实例
1.4 准地转模型及应用实例
第二章：机器学习原理与应用（杨）
2.1 AI预测前沿进展
2.2 线性回归分析
2.3 决策树
2.4 支持向量机
2.5 深度学习
2.6 非监督学习
第三章：地球流体模式与模拟（闻）
3.1 LFR与Charney的故事
3.2 数值模式的寂静革命
3.3 天气模式
3.4 天气模式WRF实践
3.5 气候模式
3.6 气候模式MITgcm实践

以培养学生科研能力为目标，强调具体应用范例，内容覆盖流体理论、数值编程、统计方法、实际应用

1. 请查看课程网站，上完每一章后将上传相应材料（安排、课件、作业）

https://qiuyang50.github.io/_pages/modeling_2024fall/

地球流体的数值模拟与AI预测

2. 请加入课程微信群（通知、交流），群内请注明真实姓名

成绩构成

平时作业40 + 期末大作业60（报告30+论文30） = 总分100

无上课考勤，无期中、期末考试。

平时作业大约4次，自发布之日起，两周后截止提交，将纸质版作业交给任课老师。

期末大作业包括口头报告和论文两部分，选题将在开学初给定范围自由选择，期末最后两次课用于口头报告，同学相互打分，论文由教师打分。

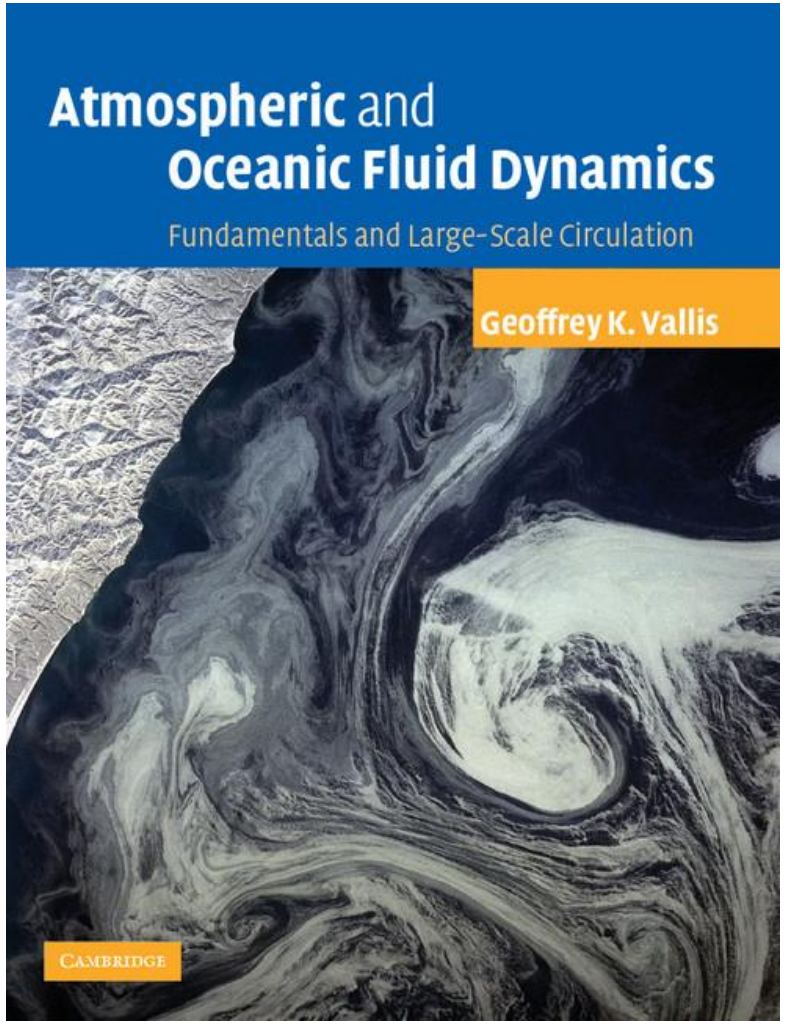
所需知识和技能：良好的数理基础，python（jupyterlab），以及一颗好奇心！

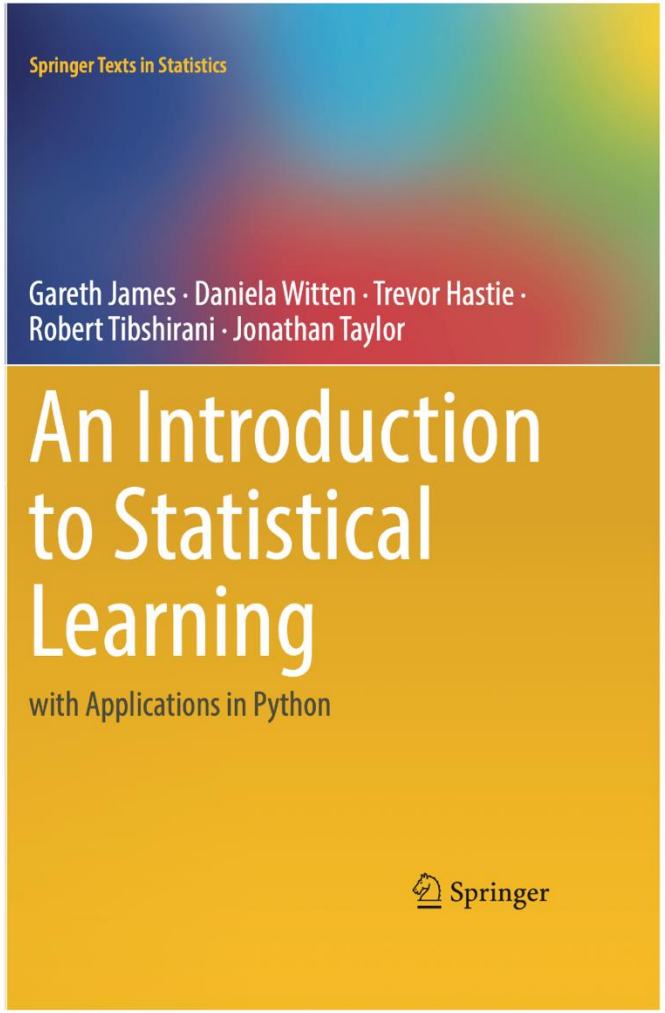
期末大作业选题（需要与杨邱老师商量确定）：选择任一你感兴趣的章节，探讨机器学习或数值模拟在地球流体中的应用，须包含两部分，一是文献阅读，二是自己实践。

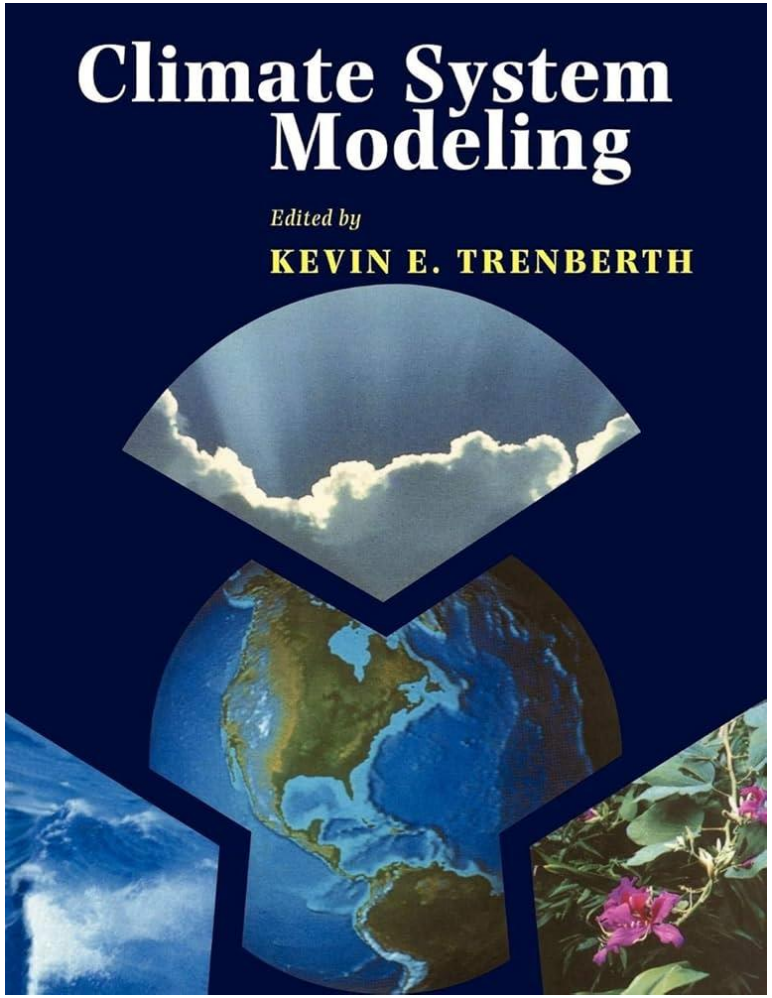
例如，应用卷积神经网络研究大气环境对热带气旋的影响。

课程安排
第一章：地球流体基本原理（杨）
1.1 本课程简介
1.2 基本控制方程
1.3 浅水模型及应用实例
1.4 准地转模型及应用实例
第二章：机器学习原理与应用（杨）
2.1 AI预测前沿进展
2.2 线性回归分析
2.3 决策树
2.4 支持向量机
2.5 深度学习
2.6 非监督学习
第三章：地球流体模式与模拟（闻）
3.1 LFR与Charney的故事
3.2 数值模式的寂静革命
3.3 天气模式
3.4 天气模式WRF实践
3.5 气候模式
3.6 气候模式MITgcm实践

参考书

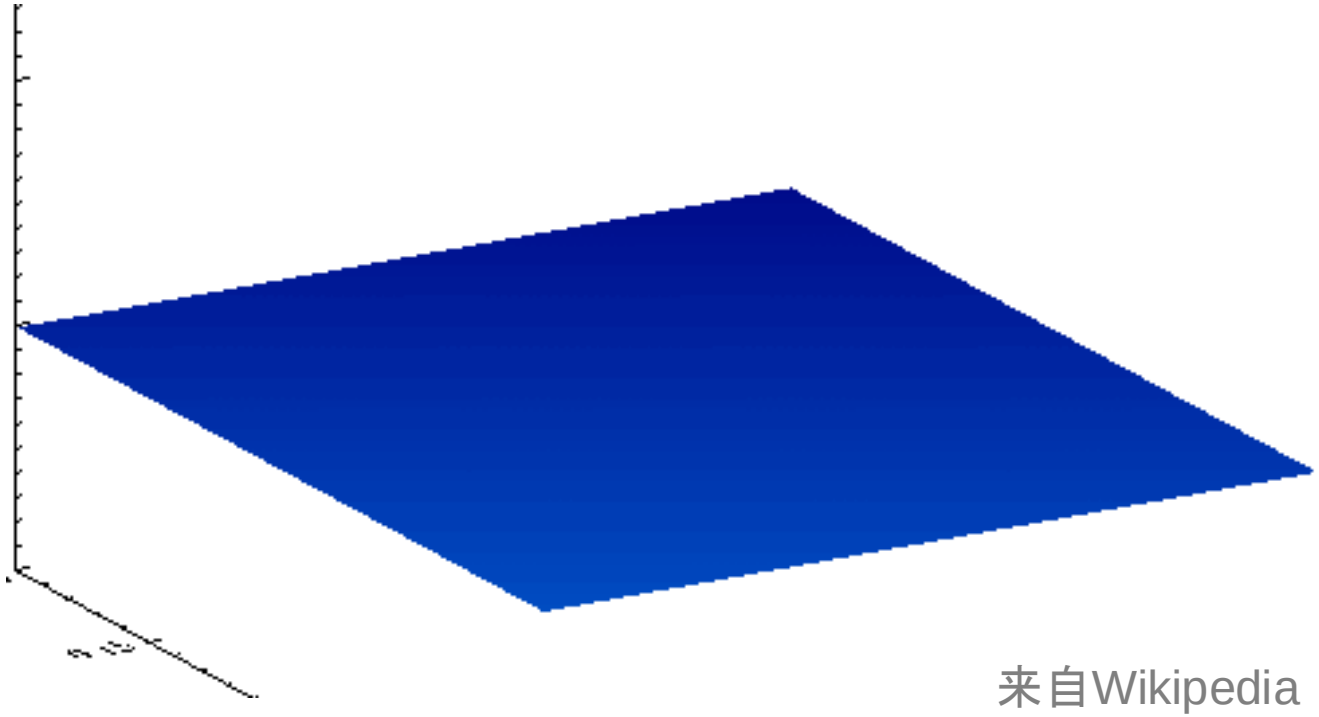






课件，代码，数据可从网站下载
https://www.statlearning.com/

关于本课程，你还有什么问题吗？

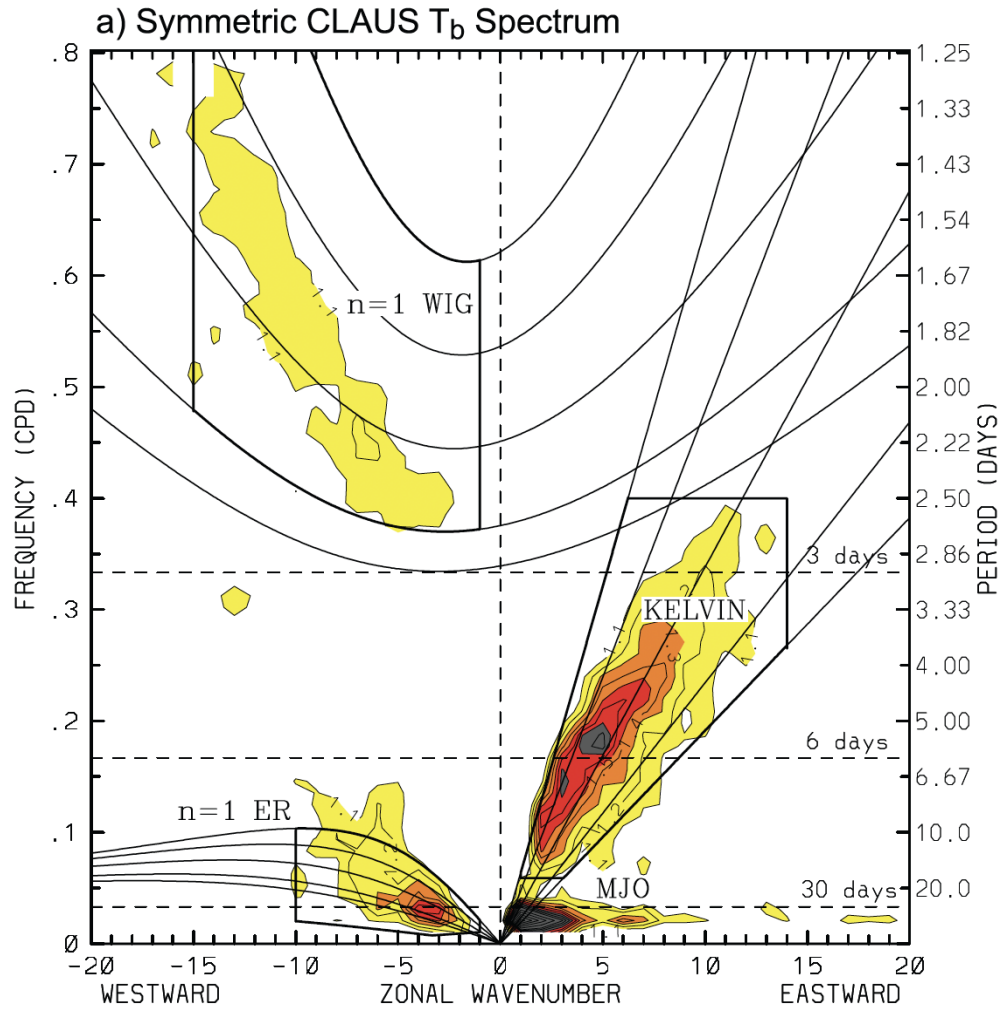


来自Wikipedia

浅水方程

$$\text{momentum:} \quad \frac{\mathrm{D}\boldsymbol{u}}{\mathrm{D}t} + \boldsymbol{f} \times \boldsymbol{u} = -g\nabla\eta.$$

$$\text{mass continuity:} \quad \frac{\mathrm{D}h}{\mathrm{D}t} + h\nabla \cdot \boldsymbol{u} = 0$$



Numerical Scheme

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + c\frac{\partial \psi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x},$$

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)}{\Delta x},$$

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x)}{2\Delta x}.$$

See Dale R. Durran (1998): Numerical Methods for Wave Equations in Geophysical Fluid Dynamics

$$\boxed{\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{D}t}\left(\nabla^2\psi + \beta y - \frac{1}{L_d^2}\psi\right) = 0},$$

where $\psi = (g/f_0)\eta$, $L_d^2 = gH/f_0^2$, and the advective derivative is

$$\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{D}t} = \frac{\partial}{\partial t} + u_g\frac{\partial}{\partial x} + v_g\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial t} + J(\psi,\cdot). \tag{5.67}$$

$$\boxed{q \equiv \zeta + \beta y - \frac{f_0}{H}\eta = \nabla^2\psi + \beta y - \frac{1}{L_d^2}\psi} \tag{5.69}$$

is the *shallow water quasi-geostrophic potential vorticity.*

Mechanism of Rossby Waves

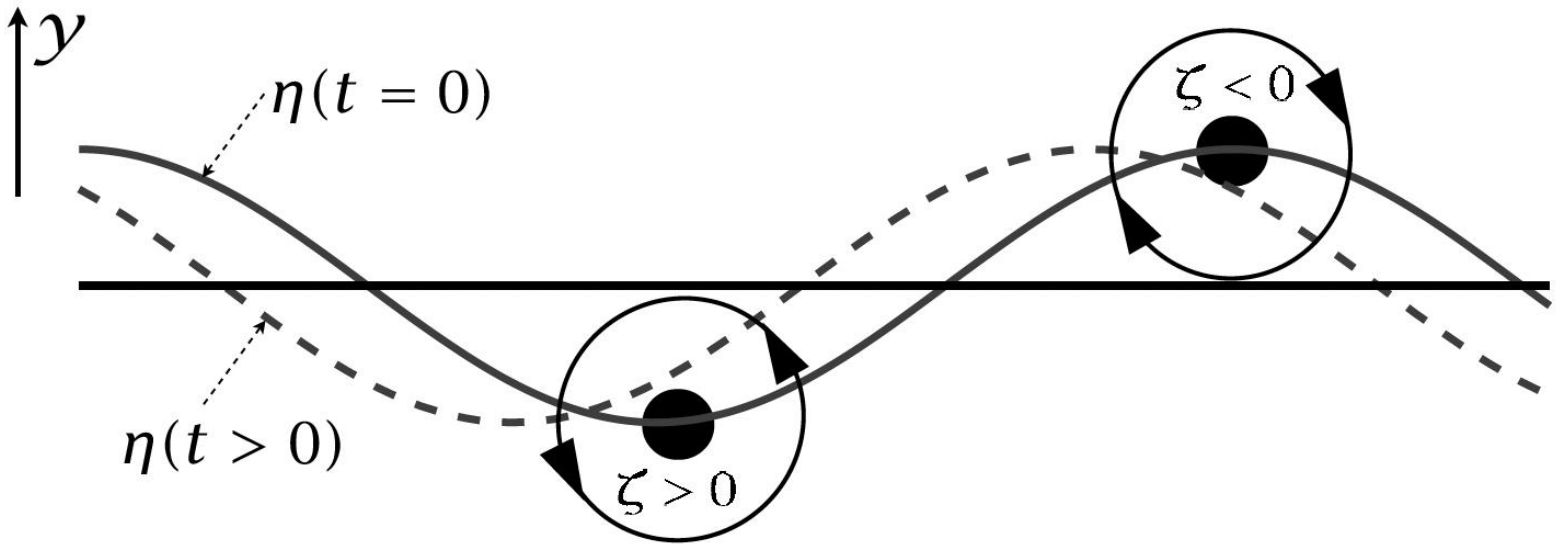
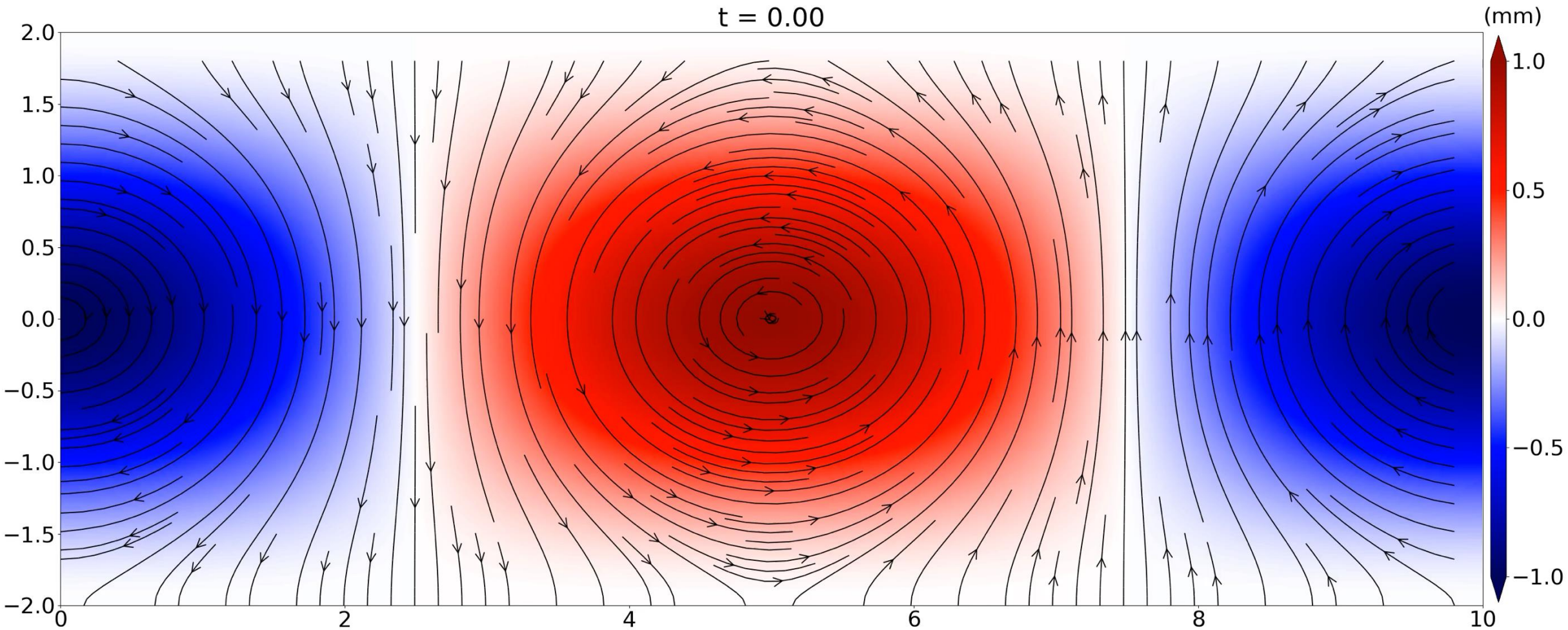
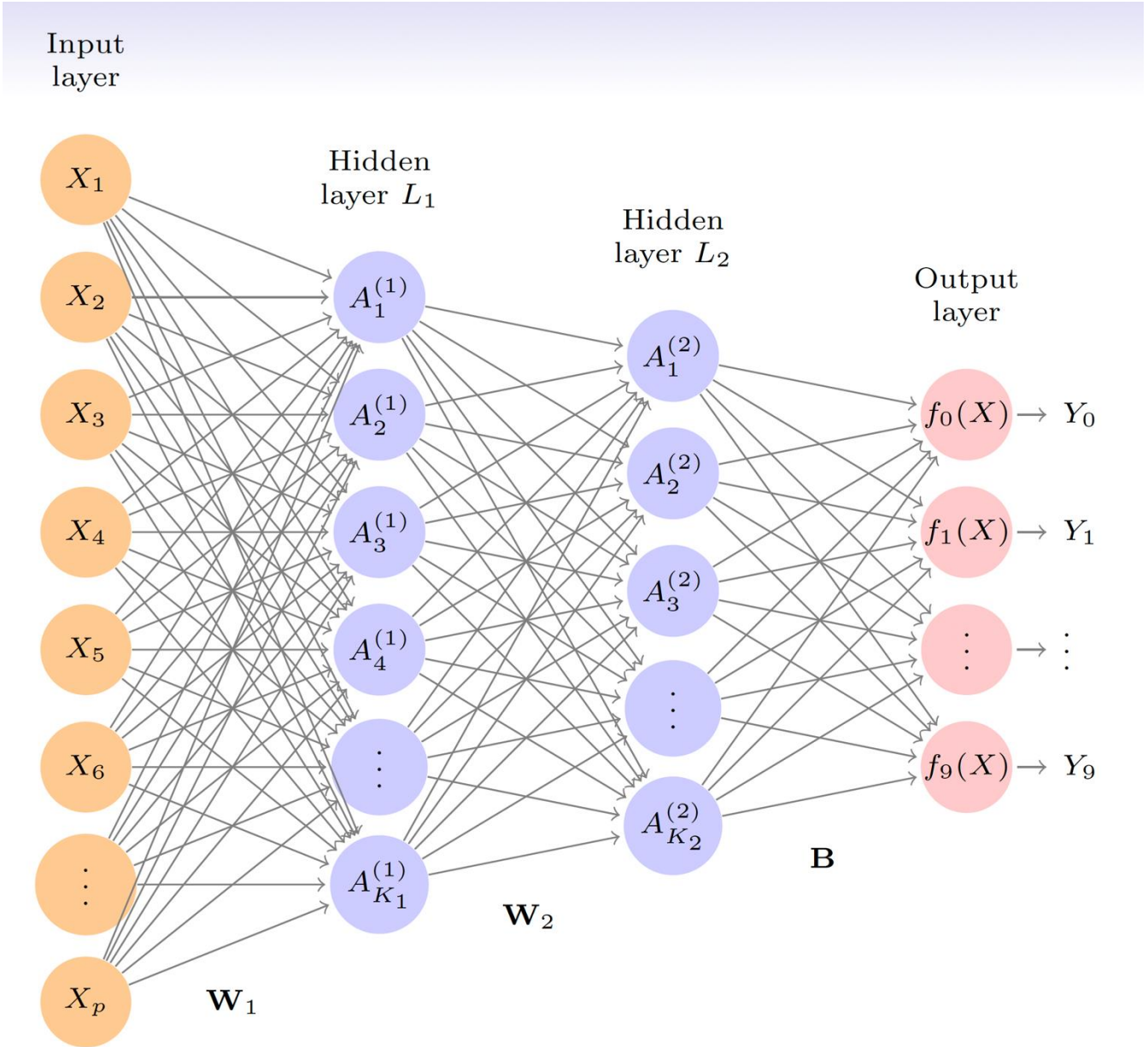


Fig. 5.4 The mechanism of a two-dimensional (x–y) Rossby wave. An initial disturbance displaces a material line at constant latitude (the straight horizontal line) to the solid line marked $\eta(t = 0)$. Conservation of potential vorticity, $\beta y + \zeta$, leads to the production of relative vorticity, as shown for two parcels. The associated velocity field (arrows on the circles) then advects the fluid parcels, and the material line evolves into the dashed line. The phase of the wave has propagated westwards.

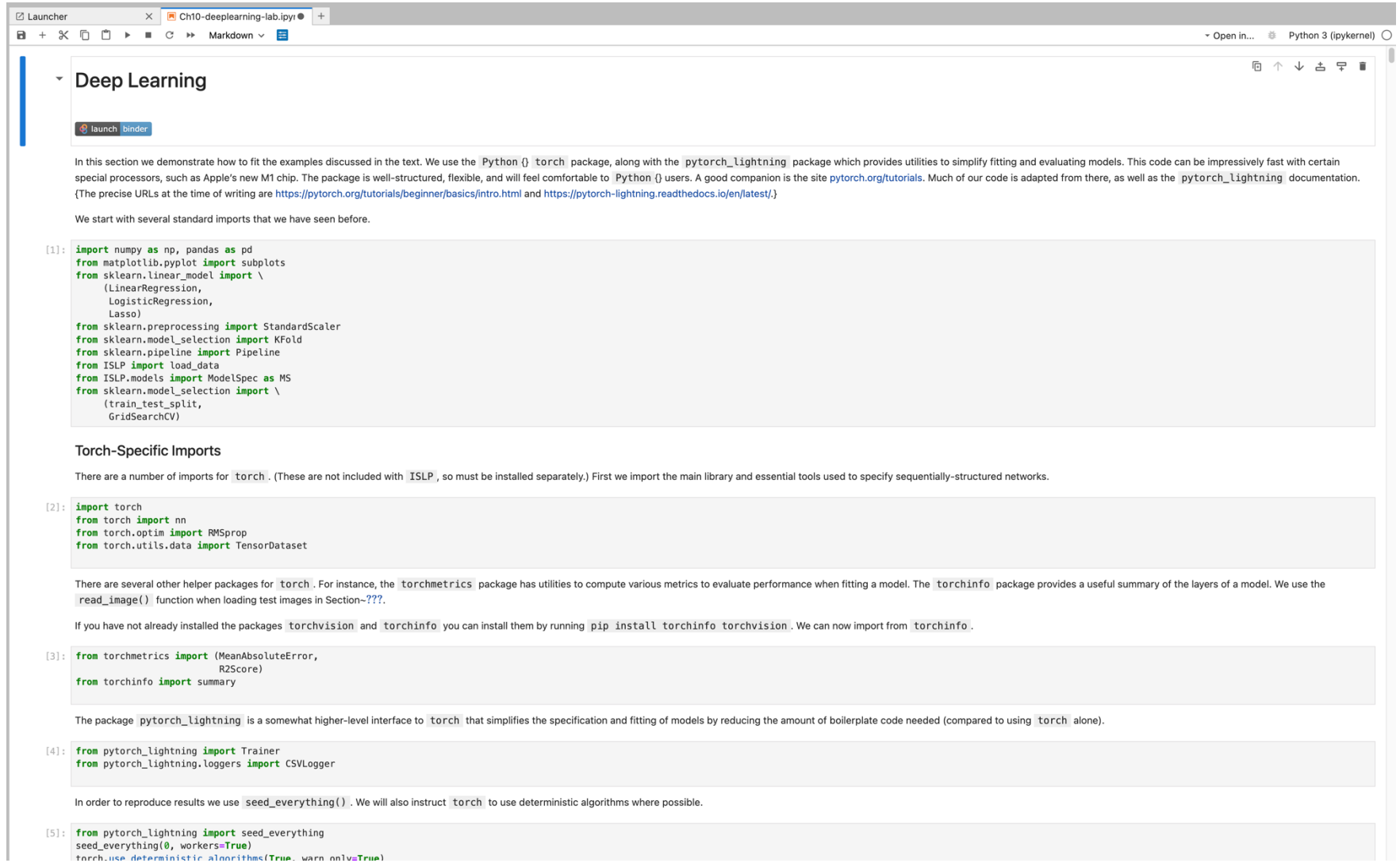
Example 1



第二章：机器学习原理与应用（杨）


Input layer
Hidden layer L_1
Hidden layer L_2
Output layer
X_1
X_2
X_3
X_4
X_5
X_6
X_p
$A_1^{(1)}$
$A_2^{(1)}$
$A_3^{(1)}$
$A_4^{(1)}$
$A_{K_1}^{(1)}$
$A_1^{(2)}$
$A_2^{(2)}$
$A_3^{(2)}$
$A_{K_2}^{(2)}$
$f_0(X) \to Y_0$
$f_1(X) \to Y_1$
$f_9(X) \to Y_9$
$\mathbf{W}_1$
$\mathbf{W}_2$
$\mathbf{B}$

课堂编程实例



Python coding in jupyterlab

华为盘古大模型

华为盘古大模型应用于天气预报

nature

Explore content ⌄ About the journal ⌄ Publish with us ⌄

nature › articles › article

Article | Open access | Published: 05 July 2023

Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks

Kaifeng Bi, Lingxi Xie, Hengheng Zhang, Xin Chen, Xiaotao Gu & Qi Tian ✉

Nature **619**, 533–538 (2023) | Cite this article

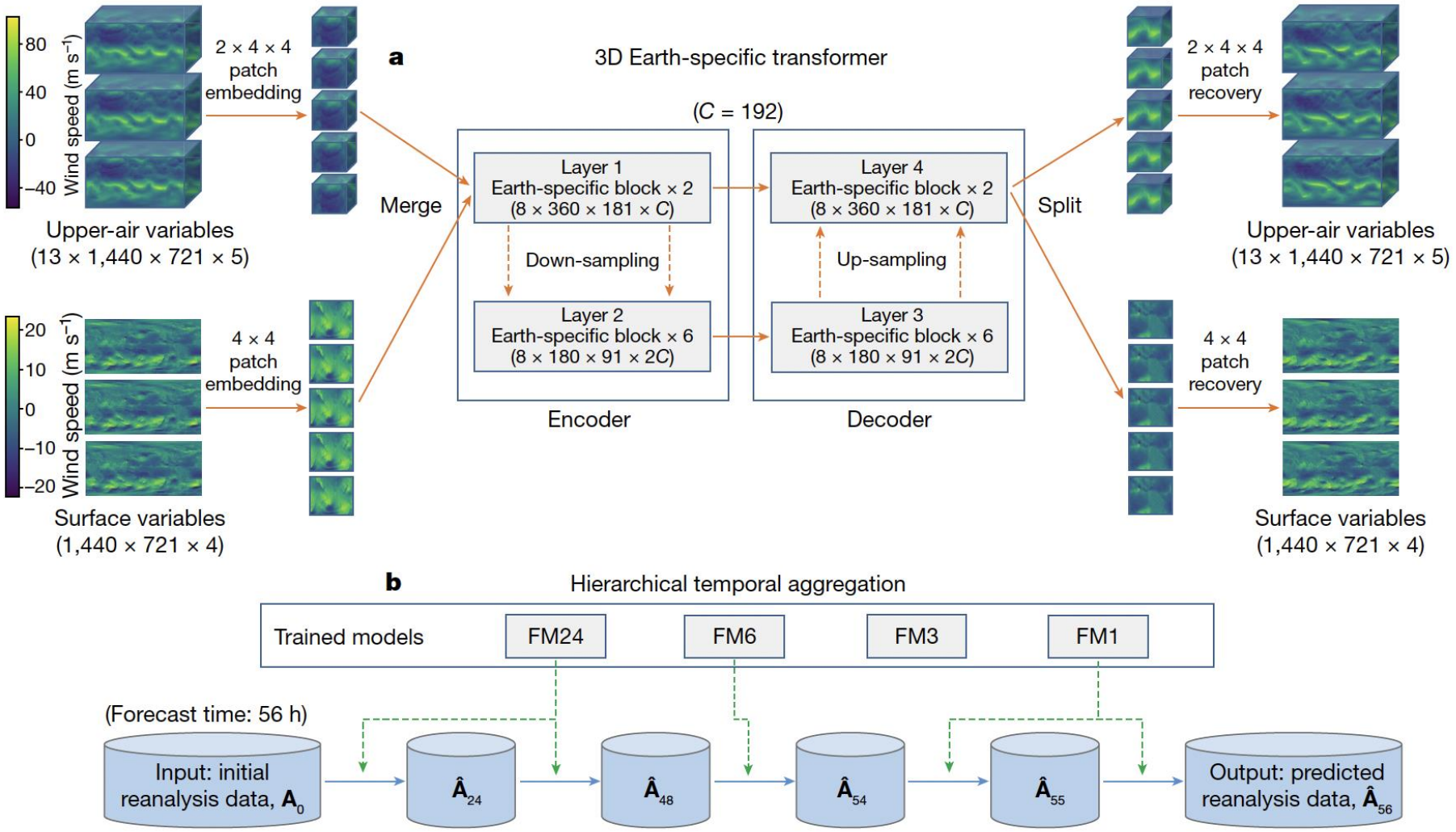


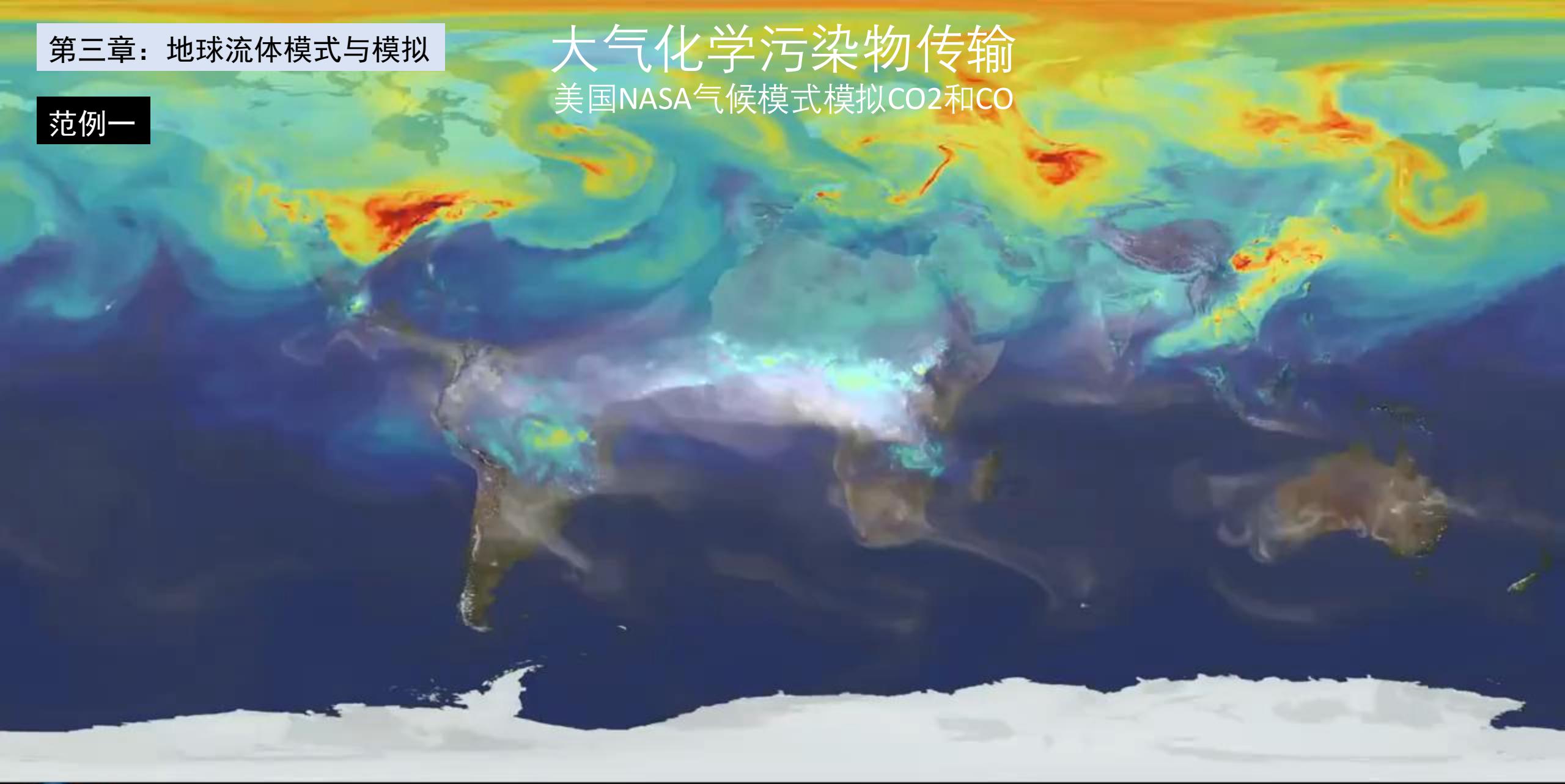
Fig. 1 | Network training and inference strategies. a, 3DEST architecture. Based on the standard encoder–decoder design of vision transformers, we adjusted the shifted-window mechanism[19] and applied an Earth-specific positional bias. **b**, Hierarchical temporal aggregation. Once given a lead time, we used a greedy algorithm to perform forecasting with as few steps as possible. We use FM1, FM3, FM6 and FM24 to indicate the forecast models with lead times being 1 h, 3 h, 6 h or 24 h, respectively. $\mathbf{A}_0$ is the input weather state and $\hat{\mathbf{A}}_t$ denotes the predicted weather state at time t (in hours).

第三章：地球流体模式与模拟

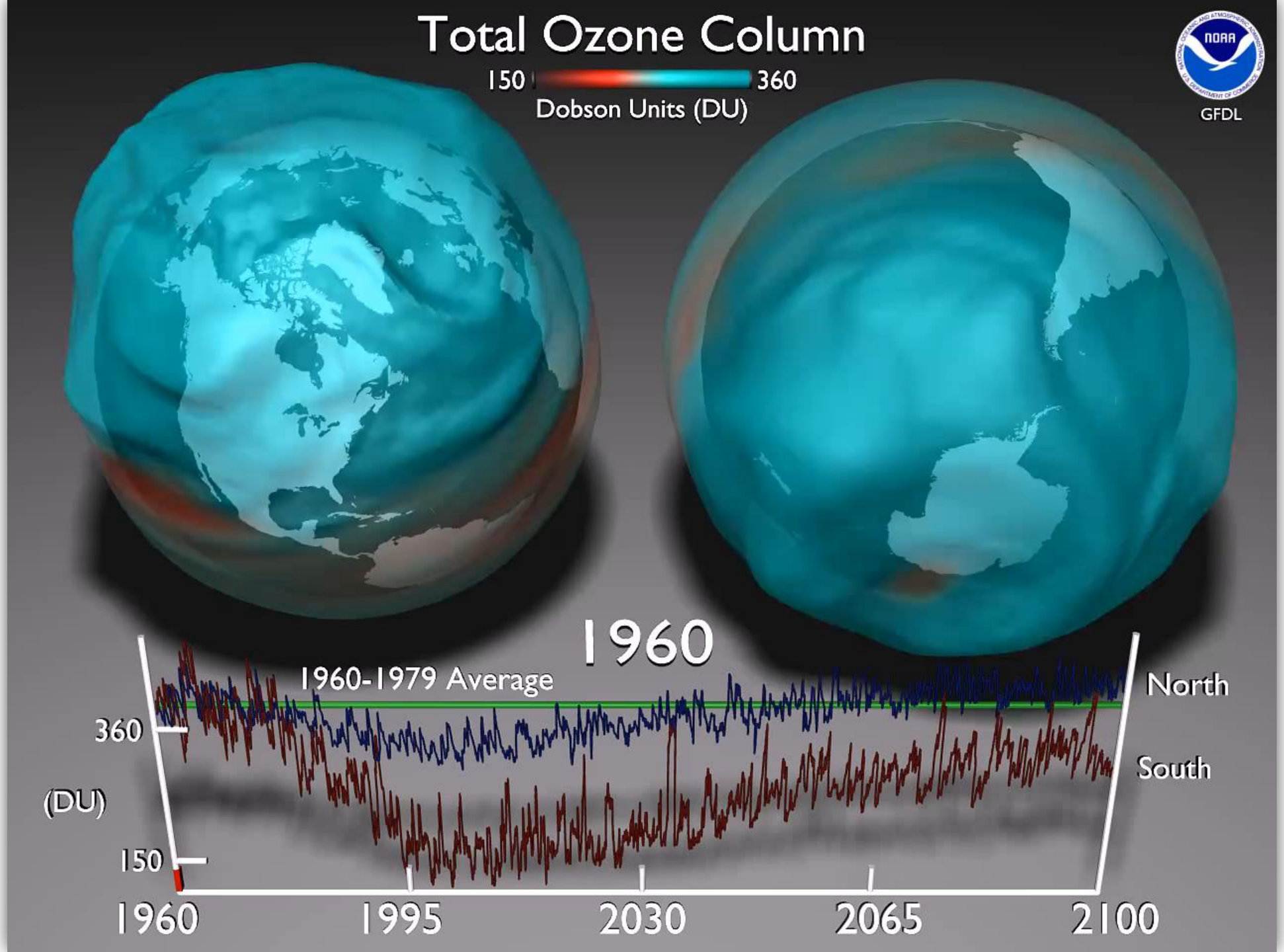
范例一

大气化学污染物传输

美国NASA气候模式模拟CO2和CO

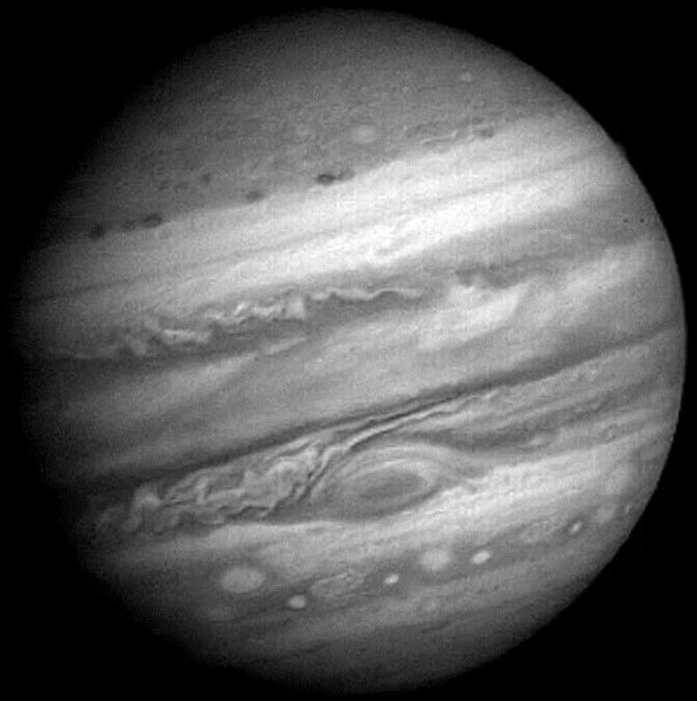


范例二


Total Ozone Column
150
360
Dobson Units (DU)
NOAA
GFDL
1960
1960-1979 Average
360
(DU)
150
North
South
1960
1995
2030
2065
2100

范例三

范例四



课堂讨论：你想从这门课中学到什么？