

Weekly Research Progress Report

Student: Xing Cong

Date: 6/29/2023 - 7/11/2023

List of accomplishments this week: (工作成果列表)

学习 HYCOM 的基本概念和应用

学习 zotero 文献管理工具, 进行相关资料的整理

学习 obsidian 笔记记录工具, 重新整理个人知识库

学习在构建 HYCOM 项目时所用到的 Shell 编程

学习 HYCOM 的科学计算语言 Fortran 语言

Paper summary: (文献总结)

Name : Software Design Description for the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM),
Version 2.2

Introduction: The purpose of this Software Design Description (SDD) is to describe the software design and code of the HYbrid COordinate Model (HYCOM) Version 2.2

Motivation 动机: 了解 HYCOM 模型软件的基本概念以及设计思路和代码解释

Name : HYCOM_User_Guide (Version 2.1)

Introduction: This manual describes in detail the procedures for running the Hybrid Coordinate Ocean Model Version 2.1 (HYCOM).

Motivation 动机: 了解 HYCOM 模型软件的基本概念以及运行方式

Name: 基于 HYCOM 模式的日本海深层环流数值模拟及动力机制研究

Introduction: 本文通过对模式垂向坐标分层方式的改进进一步优化,得到了基于 HYCOM 模式实验平台的较为准确的日本海洋环境模拟结果

Motivation: 了解 HYCOM 模型软件的具体应用

Work summary (工作总结)

HYCOM 的概念

HYCOM(HYbrid Coordinate Ocean Model) 中文翻译为：混合坐标海洋模式，HYCOM 是一种用于模拟海洋和海洋环流的数值模型，它采用了混合坐标系统，将水平坐标和垂直坐标结合起来，以便于更好的描述海洋的物理过程，是一个数据同化的混合 等压-西格玛-等密度坐标 海洋模型。

数据同化的概念

数据同化是指将观测数据与数值模型的输出数据相结合，通过适当的方法和算法，以最优化的方式估计和更新模型的初始条件和参数，以提供更准确的预测和分析结果。也就是说，数据同化就是利用一系列约束条件将观测信息加到模式中，更改模式的初始状态（参数等），使得尽可能接近真实大气状态的真实状态，来达到更好的预报效果。

数据同化的过程主要分为以下三个阶段：前处理阶段、数据同化阶段、后处理阶段。

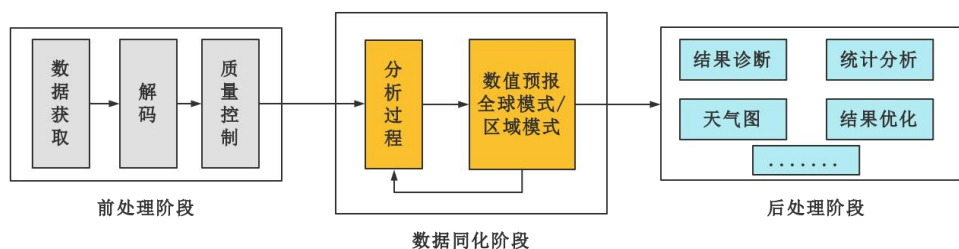


Figure 1 同化预报系统框架

数据同化的核心是通过数值优化技术，将观测数据与模型数据进行融合和调整，从而能够有效地处理观测数据的不确定性和模型误差，并根据它们的相对权重进行加权融合，从而得到更精确和可靠的模拟结果。

因此，在数据同化中，最重要的就是分析过程，内部的结构如下所示：

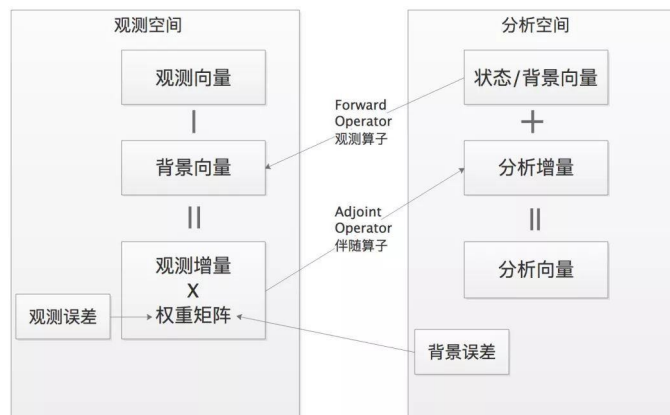


Figure 2 分析过程内部结构图

在分析过程中，会利用模式的背景场(模式/背景向量)，大量的观测数据(观测向量)，来找到最可能的真实大气状态(分析向量)。而整个分析过程的目的就是确定最终的分析向量。

混合 等压-西格玛-等密度坐标海洋模型

水平坐标

在 HYCOM 中，水平坐标采用传统的经纬度网格，可以在不同的纬度和经度上离散化地计算海洋物理量。

HYCOM 的水平分辨率可以根据需要进行调整，可以在全球范围内模拟海洋的大尺度动力学过程，也可以在局部区域进行高分辨率模拟以研究更细节的海洋现象。

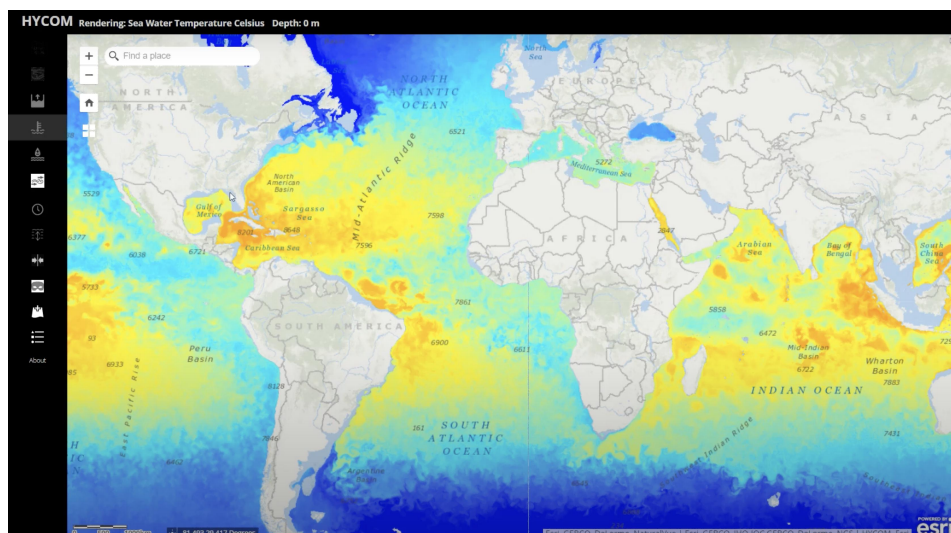


Figure 3 全球范围内模拟海洋的大尺度动力学过程

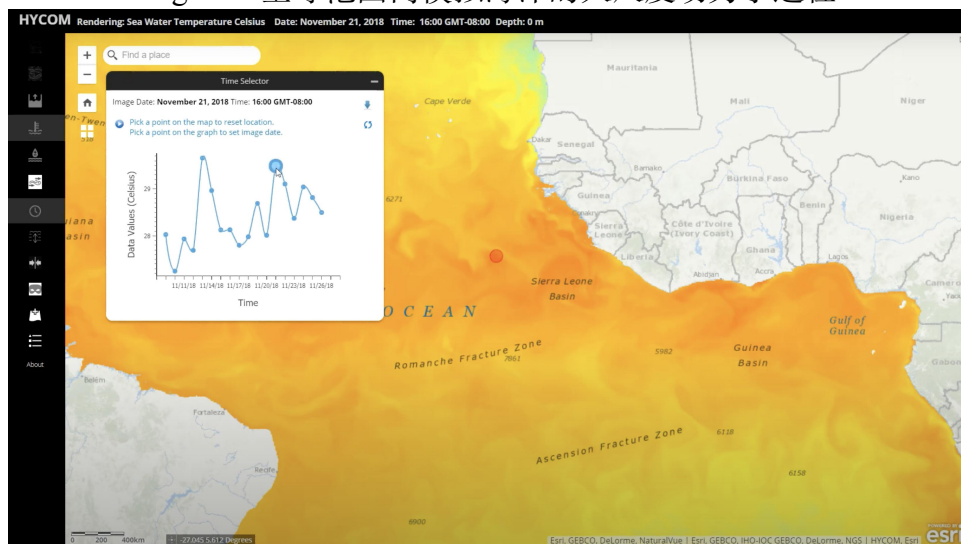


Figure 4 局部区域进行高分辨率模拟

垂直坐标

在 HYCOM 中，垂直坐标采用混合坐标的形式，分别是等压(z-level)坐标、西格玛坐标和等密度坐标【z-level, terrain-following (sigma), isopycnic】。三种坐标的特点如下：

● z-level 坐标(等压坐标)

- **特点：**z-level 模型是一种常用的垂直坐标系统，常用于海洋和大气模型中。在 z-level 坐标系统中，垂直方向通过固定的深度层面来表示，每个深度层面在垂直方向上是平行的。这些深度层面通常是根据实际的海洋或大气特征选择的，例如固定深度值、等压面。
- **优点：**在 z-level 模型中，垂直方向的分辨率在整个模拟区域中保持一致。这意味着无论深度如何变化，每个深度层面的间隔都是固定的。这种均匀的垂直分辨率使得 z-level 模型在模拟垂直混合过程和大尺度垂直结构时非常有效。z-level 模型的一个优点是在整个模拟区域内提供了一致的垂直分辨率。这对于垂直混合、上升流、下沉流和边界层特征的模拟都非常有用。此外，z-level 模型还可以相对容易地与实际观测数据进行垂直插值和比较。
- **缺点：**z-level 模型在模拟浅水区域时可能存在一些问题，特别是在存在复杂地形或不规则海底的情况下。在这些区域，z-level 模型可能无法提供足够的垂直分辨率。

● sigma 坐标(地形跟随坐标)

- **特点：**在 sigma 坐标中，垂直方向被分割为等间距的层面，通常以 0 到 1 之间的数值表示。在这种坐标系中，每一层都代表一个特定的深度比例。这些数值代表垂直方向上的 标准化深度或压力 。在 sigma 坐标系应用在海洋模拟中时，垂直坐标被定义为从海底到海面的深度比例。例如， $\sigma = 0$ 表示海面， $\sigma = 1$ 表示海底。
- **优点：**因为近海区域的海底地形复杂多变，并且在 sigma 模型中，层面密度并非恒定，而是随着水柱的深度变化而变化，在浅水区域，sigma 坐标会更密集地分布，会有更高的垂直分辨率，以更好地模拟浅海水柱的特征，因此它能够更好地跟踪复杂多变的海底地形。所以它在模拟近海区域时非常有用。

- **缺点：**因为水团通常沿着等密度面移动，而不是沿着等深度比例面移动。因此，在模拟大洋中的水团运动时，这种坐标系可能会出现问题。同时，在一些特定情况下也会存在问题，比如：在强烈层化或断层的区域。在这些情况下，其他类型的垂直坐标系统，如等深度线坐标或等浓度线坐标，可能更为适用。

- **isopycnic 坐标(等密度坐标)**

- **特点：**在这种坐标系中，每一层都代表一个特定的密度。在等密度坐标系中，垂直坐标被定义为海水的密度。在等浓度线模型中，垂直方向上的层面是根据海水密度的等值线来定义的。这意味着每个层面上的密度值是恒定的。
- **优点：**由于水团通常沿着等密度面进行移动，所以它在模拟大洋中的水团运动时非常有用，它能够更好地跟踪水团沿着等密度面移动的轨迹。同时，在等浓度线模型中，密度等值线通常是根据实际的海洋或大气密度分布来选择的。这些等值线通常与海水的温度、盐度和压力等因素有关。通过使用等浓度线作为垂直坐标系统，模型可以更好地模拟密度结构、层化和混合过程。
- **缺点：**在模拟近海和极地区域时，这种坐标系可能会出现问题，因为这些区域的水团密度变化较大。而且，在强烈的垂直混合和断层区域，等浓度线模型可能无法提供足够的垂直分辨率。此外，由于等浓度线模型需要计算和更新每个层面上的密度分布，其计算成本可能相对较高。

HYCOM 开发背景

混合坐标海洋模型是为了解决由 Rainer Bleck 及其同事开发的迈阿密等密度坐标海洋模型 (MICOM) 垂直坐标方案中的已知缺陷而开发的。

大概是解决 MICOM 系统在浅水区和从深水到浅水的过渡中存在严重限制的问题。

HYCOM 的产生

传统的垂直坐标选择 (z-level 坐标、sigma 坐标、等浓度线坐标) 本身并不在海洋的所有区域都是最优选择。

最近在欧洲进行的模型比较实验 (North Atlantic MOdels - DYNAMO) 和美国的数据同化与模型评估实验 (Data Assimilation and Model Evaluation Experiment - DAMEE) 所指出的：

理想情况下，一个海洋环流模型 (OGCM) 应该具备以下特点：

(a) 在几个世纪内保持其水团特性（等浓度线坐标的特点）
(b) 在表面混合层具有高垂直分辨率（z-level 坐标的特点），以正确表示热力学和生化过程

(c) 在无层或弱层化的海洋区域保持足够的垂直分辨率

(d) 在沿海地区具有高垂直分辨率（地形跟随坐标的特点）

为了满足这些要求，一些海洋模型采用了混合坐标系统，即在不同的区域使用不同的坐标系统

在 HYCOM 模型中，采用了混合坐系统，具体的适用过程如下：

The hybrid coordinate is one that is isopycnal in the open, stratified ocean, but smoothly reverts to a terrain-following coordinate in shallow coastal regions, and to z-level coordinates in the mixed layer and/or unstratified seas.

也就是说：相对于传统模式中使用的单一垂向坐标，HYCOM 模式使用三种可以互相平滑转换的垂向坐标分层方式：在稳定分层的大洋区域使用等密度坐标，在遇到弱分层海区时则平滑的转换为使用 z 坐标，在浅水地形陡变区域使用 sigma 随地坐标并在更浅处转换为 z 坐标。混合坐标的使用使得 HYCOM 模式垂向分层不会在浅水区 不会过分单薄而影响模拟效果。

这种混合坐标的好处在于：可以在开阔、层结的海洋区域采用等密度面坐标，而在沿岸浅海区域采用 σ 坐标，在上混合层、非层化海洋区域则采用 Z 坐标，并且这三种坐标之间可以通过连续方程平滑灵活地过渡。

HYCOM 模式是基于提供一种可以有效还原几种海洋上层垂向混合和相对微弱的层结内混合过程。在 HYCOM2.2 版本中，主要涉及以下五种垂直混合方案：

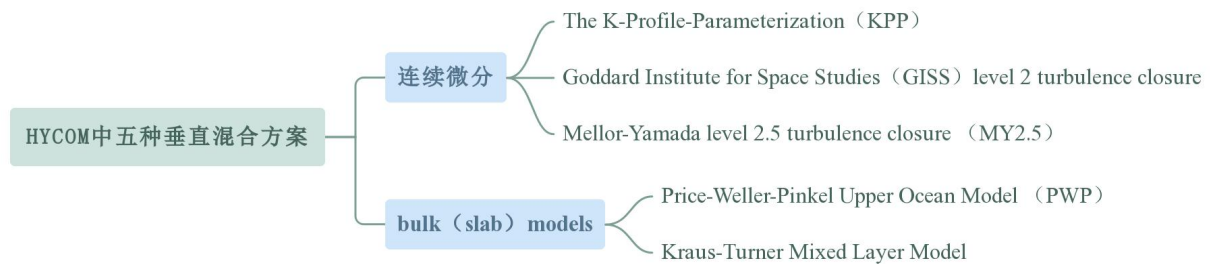


Figure 5 HYCOM 中五种垂直混合方案

HYCOM 的应用场景

它可以预测海洋的变化和演变，研究海洋对气候变化的响应，以及模拟海洋灾害等，此外，HYCOM 还可以与其他模型和观测数据进行数据同化，提高模拟结果的准确性。

HYCOM 模型实验用于研究海洋与大气之间的相互作用，包括短期和长期过程。该建模系统还用于创建预测工具。

HYCOM 的运行环境

通过阅读 HYCOM_User_Guide (Version 2.1)，可以得到 HYCOM 的运行环境，而且通过 HYCOM 的官方网址可以获得 HYCOM 的源码。源码结构如下：

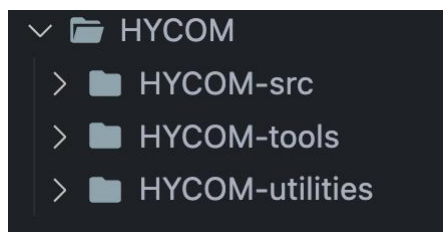


Figure 6 HYCOM 源码结构

HYCOM-src 是 HYCOM 运行的源代码目录，HYCOM-tools 中是 HYCOM 进行前处理和后处理的程序源代码，HYCOM-utilities 是利用 Python, Matlab, IDL 程序处理 HYCOM 输入和输出的源代码。

其中，HYCOM 2.2 的设置是独立于 domain 的，除了模型代码以外的所有预处理和后处理程序只编译一次。模型代码必须针对每个新的领域重新编译。

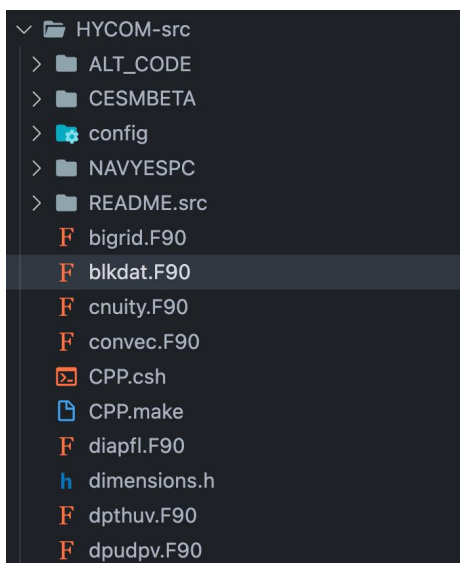


Figure 7 HYCOM 的部分源代码文件

HYCOM 的运行环境要求有以下几点:

- 类 Unix 操作系统, 带有 C shell (csh 或 tcsh) 和 awk
- Fortran 90/95 编译器
- 可全局访问的共享文件系统
- 内存和磁盘要求取决于域大小

由于本科阶段对此接触很少, 因此决定先重新学习 Linux 系统和 shell 编程, 同时学习一下 fortran 语言, 方便我更好的理解文件结构和代码结构。

配置 Zetero 阅读环境

为了更加方便的管理和阅读相关 HYCOM 的文献以及手册, 我开始学习使用 Zetero 进行文献管理, 并做好笔记标注。

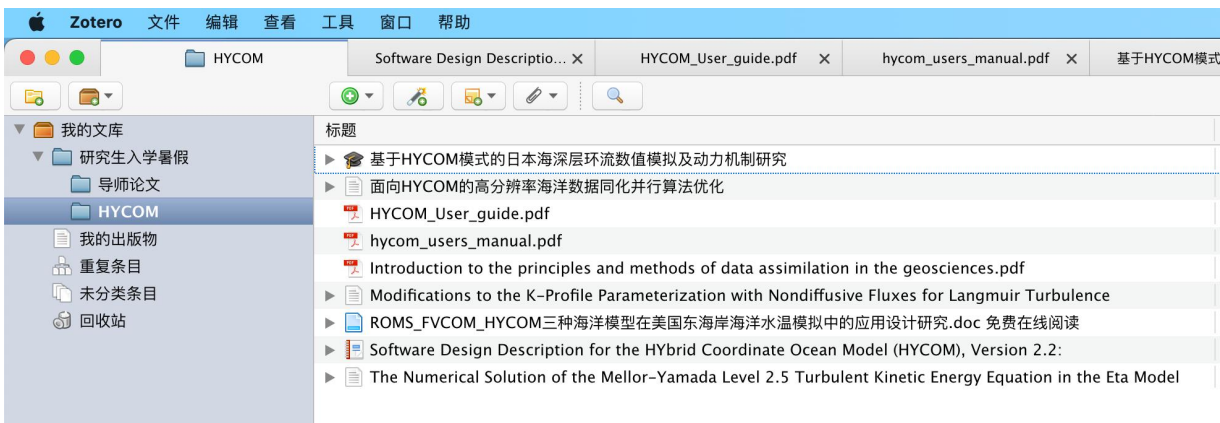


Figure 8 Zetero 管理 HYCOM 相关资料

配置 Obsidian 笔记库

由于我自己比较习惯使用 markdown 来对学习过程中的知识点进行记录, 而在学习 HYCOM 中, 我发现我有很多不认识的名词, 如果使用 VScode 中的 Markdown 插件编写, 将其全都整理到我的学习笔记中, 这就会显得笔记很臃肿和繁杂。

后来我了解到 Obsidian 的双链机制, 发现这个可以很好的解决我这个问题, 只需要在合适的位置放上一个链接, 当有关名词忘记时, 直接将鼠标放在上面即可显示该名词含义, 并且可以建立笔记与笔记之间的关联, 非常方便。

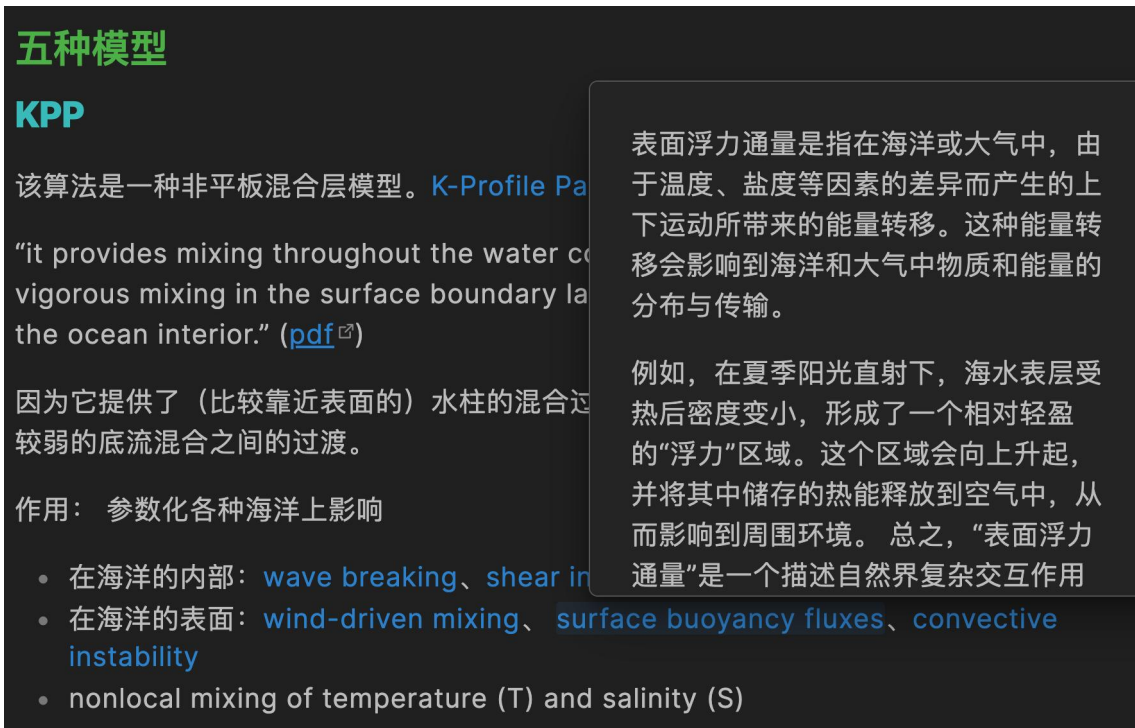


Figure 9 使用 Obsidian 建立双链

随后，我就用它来进行笔记的整理和知识点归纳，目前还在学习中。



Figure 10 Obsidian 建立笔记库

学习 Shell 编程和 Fortran 编程语言

由于 HYCOM 的运行环境的要求，并且为了更加容易地理解文档中所说的相关代码和文件，我停止了对文档的阅读，而是先去学习 Shell 编程和 Fortran 语言。

Next (下一步) :

- 继续学习 Linux 相关知识并且学会使用 Shell 编程。
- 学习 Fortran 语言，基本掌握语言的语法和运行机制。
- 继续阅读 HYCOM 的用户手册，争取可以实现代码的运行。