

全球 Argo 浮标轨迹资料整编说明 (CSIO_Argo_Trajectory)

2024 年 5 月

一、数据来源和说明

所有 Argo 浮标漂移轨迹资料来源于全球 Argo 资料中心(GDAC), 下载地址为 <ftp.ifremer.fr/ifremer/argo/dac>。每个浮标目录内包含元数据、技术信息、漂移轨迹和剖面数据文件, 这里仅使用元数据和轨迹文件, 其文件命名规则为 XXXXXXXX_meta.nc 和 XXXXXXXX_R(D) traj.nc, 前者为元数据, 后者为轨迹文件, 其中 R 代表实时、D 代表延时, 文件以 NetCDF 格式存储。

GDAC 中的 Argo 轨迹文件包含第 2 和第 3 两种版本格式, 大部分国家 Argo 资料中心已将浮标轨迹文件更新至 3.1 以上版本, 只有少部分早期浮标仍未更新(图 1)。3.1 以上版本的轨迹文件, 其详细存储格式可参考最新版的《Argo User's manual》(<http://dx.doi.org/10.13155/29825>)。

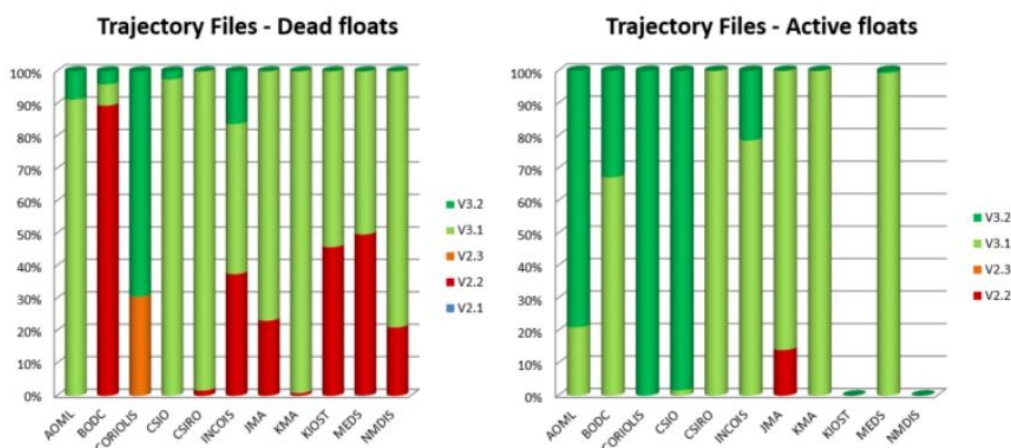


图 1 截至 2024 年 4 月各国 Argo 资料中心提供的轨迹文件版本
(引自 2024 年 1 月 GDAC 浮标月度异常监测报告)

二、 方法介绍

1、 Argo 浮标工作模式

标准的 Argo 浮标布放后会通过调节自身浮力下潜至 1000 米并停留 5~9 天时间，期间通常每隔 6 小时采集温盐深数据，而后浮标再次下潜至 2000 米深度，到达 2000 米后开始上浮，在上浮过程中通过携带的传感器测量海水的各种要素，当浮标到达海面后，利用通讯模块和天线向卫星发送观测数据并定位，传完数据后浮标再次下潜，开始下一个循环（图 2）。当然，并非所有浮标的漂移深度设置为 1000 米，一些布放在边缘海的浮标可能设置为 < 1000 米（如 500、800 米），还有的浮标刚布放时可能设置在 1000 米漂移，工作一段时间后用户通过双向通信卫星更改该参数。浮标在海面停留时，通常会进行 1 次以上卫星定位，如使用 ARGOS 极轨卫星，由于卫星数量少且通讯带宽较窄，浮标需要在水面停留 10 多个小时等待多个卫星过顶，才能确保将所有数据传输完毕，因此，可获得多达 10 个以上的卫星定位。而使用铱卫星或北斗卫星传输数据的浮标，只需在水面停留不超过 1 个小时，即可保证所有观测资料传输完毕，通常在水面会进行 1~2 次卫星定位和授时。另外，浮标会利用内部时钟对工作各节点进行计时，如浮标刚上浮至海面的时间 AET，传输完数据后开始下潜的时间 DST 等。

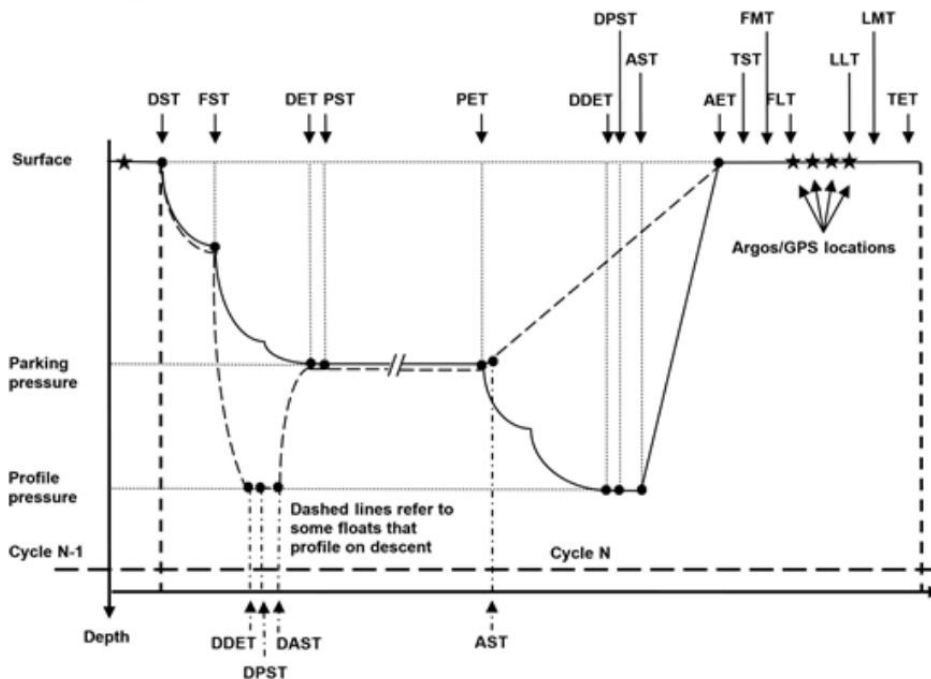


图 2 Argo 浮标工作各节点示意图 (引自 Argo 数据用户手册)

2、数据提取方法

3.1 以上版本的轨迹文件采用了观测代码 (MEASUREMENT_CODE) 来表征浮标运行不同节点, 如 100 代表浮标开始下潜 (图 2 中 DST), 200 代表下潜结束 (DET), 290 代表悬停阶段采样, 600 代表上浮结束 (AET), 700 代表开始卫星通讯 (TST), 703 代表卫星定位等 (具体参考 Scanderbeg et al., 2022)。由于利用 Argo 浮标轨迹数据估算中层流速需要使用 DST 和 AET 节点的信息 (浮标上一循环 DST 至当前循环 AET 节点间的距离 ÷ 时间差), 因此我们仅提取 MEASUREMENT_CODE 为 100、600 和 703 的相关信息 (包括循环号 (CYCLE_NUMBER)、时间 (JULD)、时间质控标记 (JULD_QC) 和卫星定位 (LATITUDE 和 LONGITUDE)、定位精度 (POSITION_ACCURACY)、定位质控标记 (POSITION_QC) 等)。

当文件中没有提供代码为 100 或 600 的信息时，则分别再读取 JULD_DESCENT_START 和 JULD_ASCENT_END 变量的数据。同时还需读取浮标相应的元数据文件，提取浮标的漂移深度。

而旧版本的轨迹文件不包含 MEASUREMENT_CODE 变量，我们只需提取文件中 CYCLE_NUMBER、JULD、JULD_QC、LATITUDE 和 LONGITUDE、POSITION_ACCURACY、POSITION_QC、JULD_DESCENT_START 和 JULD_ASCENT_END 等变量的数据。

3、质量控制方法

(1) 初步筛选

对提取的数据进行初步筛选，剔除定位和定位时间质控标记为空或 9（代表缺测）以及定位方式为铟卫星（POSITION_ACCURACY 为 “I”）的数据，此处将铟卫星定位数据剔除是因为铟卫星的定位精度较差（大于 5 km），而后挑选定位质控标记为 1、2 和 8、同时定位时间质控标记为 1 的数据，其中 1 代表好的、2 代表可能好的、8 代表估算值（或插值）。

(2) 定位时间检验

对卫星定位时间按照从前往后和从后往前两个方向计算相邻两个的差值，当前者第 i 个差异 ≤ 0 或者后者第 i 个差异 ≥ 0 时，将第 $i+1$ 个时间标记为 4。

(3) 定位异常检验

参照 Zilberman 等人 (2023) 提出的方法, 当某一循环存在不少于 1 个好 (POSITION_QC 为 “1”) 的海面定位时, 计算相邻定位间的距离 (弧长, 以 $^{\circ}$ 为单位), 当距离大于 0.1° 时, 将两个被检测定位均标记为 4; 使用当前循环 DST 时的定位和 AET 时的定位, 计算浮标在悬停阶段的漂移距离, 当距离大于 2° 时, 将两个被检测定位均标记为 4。

(4) 漂移速度检验

计算相邻两个卫星定位之间浮标的漂移速度 (包括浮标在表层的漂移速度和上一循环最后一个位置与当前循环第一个位置间的速度), 当速度大于 2.5 m/s 时, 将第 $i+1$ 个定位标记为 4。而后使用 JAMSTEC 开发的定位质控方法 (Nakamura et al., 2008), 对每一循环内所有卫星定位进行质控, 选取的速度阈值为 2 m/s 。

(5) 着陆检验

使用全球 $1/8^{\circ}$ 的海陆点 (landmask) 数据, 检测每一个定位位置, 当位于陆地上时, 将定位质控符标记为 4。

4、ARGOS 定位处理方法

早期的 Argo 浮标多采用 ARGOS 卫星传输数据和定位, 每个循环能在海面获取 5 个以上卫星定位, 由于浮标在海面需要一段时间等待卫星过顶, 因此, 第一个和最后一个卫星定位并不一定就是浮标上浮至海面 (AET) 和开始下潜 (DST) 时的位置, 由此对估算中层流速带来一定的误差。为此, Park 等 (2005) 开发了一种外推方法, 在

已知准确的 AET 和 DST 时间的情况下，考虑海流的惯性，可估算浮标上浮至海面和开始下潜时的位置。

采用该方法，我们对使用 ARGOS 卫星通信的浮标进行了 AET 和 DST 节点的位置外推，前提是轨迹文件中提供了准确的 AET 和 DST 时间信息。在外推之前，对所有 ARGOS 卫星定位进行了筛选，仅保留定位精度在 1~3 范围内（分别代表定位精度 1000、350 和 150 米）的经、纬度，同时保留定位和时间质控标记为 1 或 8 的数据，当保留的定位数量 ≥ 5 时，才进行位置外推，并标记外推位置的精度为 9。图 3 显示了 4902376 号浮标第 48 个循环的卫星定位及外推的位置。

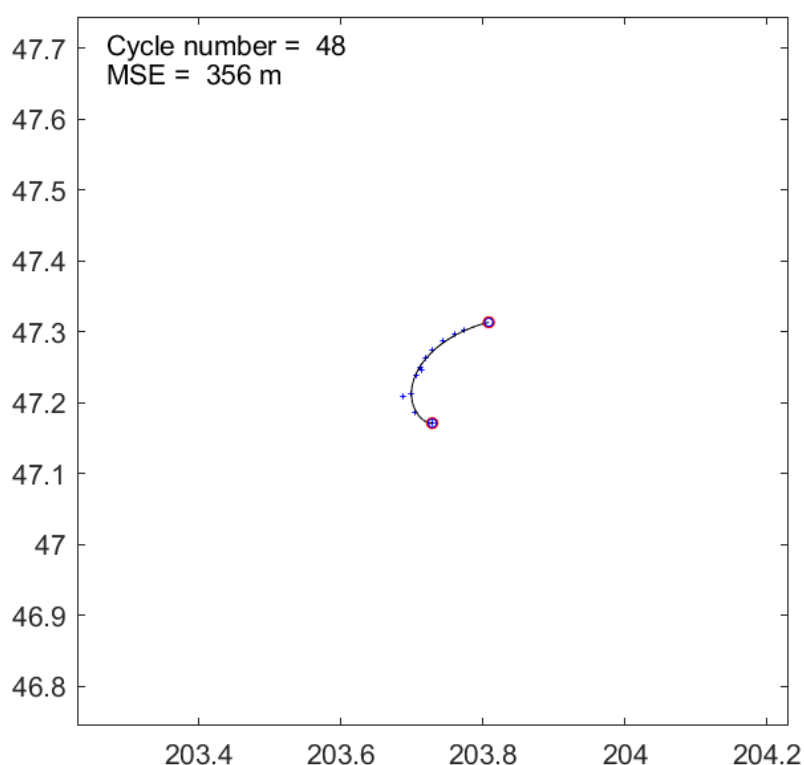


图 3 4902376 号浮标第 48 循环的 ARGOS 卫星定位（蓝色十字）及外推结果（红色圈）

三、 数据格式说明

经上述步骤处理后的轨迹数据以 MATLAB 格式存储，一个浮标一个文件，文件命名规则为 XXXXXXXX_traj.mat, 其中 XXXXXXXX 为浮标的 WMO 编号。轨迹数据存储在结构变量 data 下，具体说明如下：

名 称	说 明
wmo	浮标 WMO 编号
format	原始轨迹文件版本号
pos_sys	使用的卫星定位系统
float_model	浮标型号
cycle	从原始轨迹文件读取的 CYCLE_NUMBER
ground	浮标触底标识（参考 Argo 数据用户手册表 20）
cycle_num_index	循环号索引
drift_pres	浮标漂移深度
drift_cycle	drift_pres 对应的循环号
drift_one_pres	早期浮标提供的悬停阶段唯一的漂移深度
drift_one_cycle	drift_one_pres 对应的循环号
drift_mean_pres	早期浮标提供的悬停阶段平均漂移深度
drift_mean_cycle	drift_mean_pres 对应的循环号
DST	开始下潜时的儒略日
DST_STATUS	开始下潜时的儒略日状态标识

DST_cycle	DST 对应的循环号
AET	上浮结束时的儒略日
AET_STATUS	上浮结束时的儒略日状态标识
AET_cycle	AET 对应的循环号
lat	纬度（-90~90）
lon	经度（0~360）
pos_acc	定位精度（参考 Argo 数据用户手册表 5）
pos_qc	定位质控标记符(参考 Argo 数据用户手册表 2)
pos_juld	定位儒略日
pos_juld_qc	定位儒略日质控标记符（参考 Argo 数据用户手册表 2）
cycle_num	浮标卫星定位对应的循环号
data_mode	数据模式（R 代表实时、A 代表实时校正、D 代表延时模式）
park_pres	元数据中获取的浮标漂移深度(dbar)
deep_pres	元数据中获取的浮标最大观测深度(dbar)
readme	辅助说明

参考文献

- [1]Argo data management team (2021), Argo User's manual, <http://dx.doi.org/10.13155/29825>.
- [2]Scanderbeg, M., Rannou, J.-P., Buck, J., et al. (2022), Argo DAC trajectory

cookbook. <http://dx.doi.org/10.13155/29824>.

[3] Nakamura, et al (2008), Quality control method of Argo float position data, JAMSTEC Report of Research and Development, Vol. 7, 11-18.

[4] Park, J. J., Kim, K., King, B. A., and Riser, S. C. (2005), An advanced method to estimate deep currents from profiling floats, J. Atmos. Oceanic Technol., 22, 1294–1304.

[5] Zilberman, N. V., Scanderbeg, M., Gray, A. R., and Oke, P. R. (2023), Scripps Argo Trajectory-Based Velocity Product: Global Estimates of Absolute Velocity Derived from Core, Biogeochemical, and Deep Argo Float Trajectories at Parking Depth, J. Atmos. Ocean. Technol., 40(3), 361-374, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-22-0065.1>.

四、 估算中层流速

经上述方法处理后的浮标漂移轨迹数据，可用来估算每个浮标在中层（如 1000 米）的漂移速度。估算方法为使用某一循环第 1 个卫星定位与上一循环最后 1 个卫星定位间的距离（m）÷两者间的时间差（s），并将两者间的平均位置和时间作为中层流速的位置和时间。在计算浮标中层漂移速度前，先剔除了循环周期小于 5 天或大于 25 天的采样以及底深小于 800 米的点（使用 GEBCO 2022 全球地形数据计算浮标上一循环最后一个定位至当前循环第一个定位间的底深），尽可能消除浮标搁浅而带来的影响。最后整编了近 1.5 万个 Argo 浮标的漂移速度至 `all_float_velocity.mat`，文件包含每个浮标的定位、时间、中层漂移速度、循环号、漂移深度等信息。经统计，大部分 Argo 浮标在中层的漂移速度在 0~10 cm/s 范围内，其中漂移速度在 1~5 cm/s

出现的频率最高（图 4）。

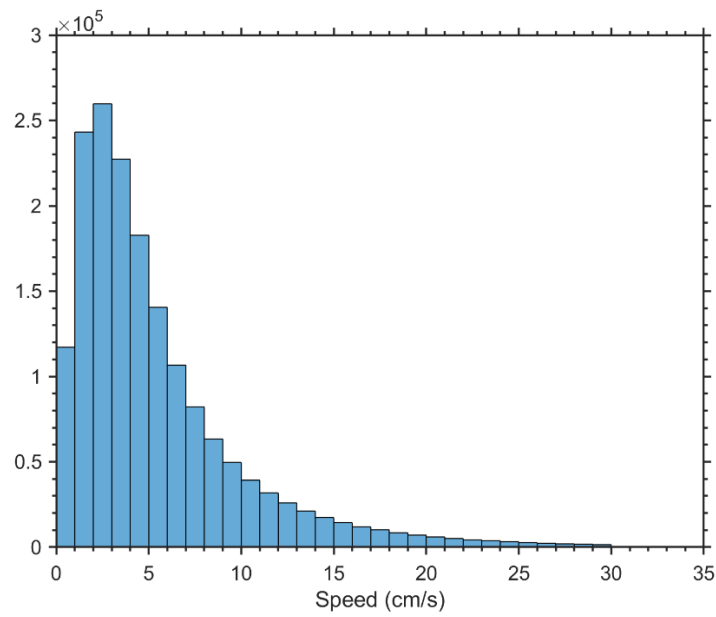


图 4 所有 Argo 浮标中层漂移速度统计分布

图 5 显示了使用 ARGOS 卫星通信和定位的 4902376 号浮标估算的 1000 米中层流速分布，在估算过程中使用了 Park 等（2005）开发的位置外推方法。而图 6 显示的 2902750 号浮标使用铯卫星通信和 GPS 定位，浮标在海面通常只有 1~2 个定位，无法使用上述外推方法，其中层流速的估算直接使用经质控后的位置及时间信息。

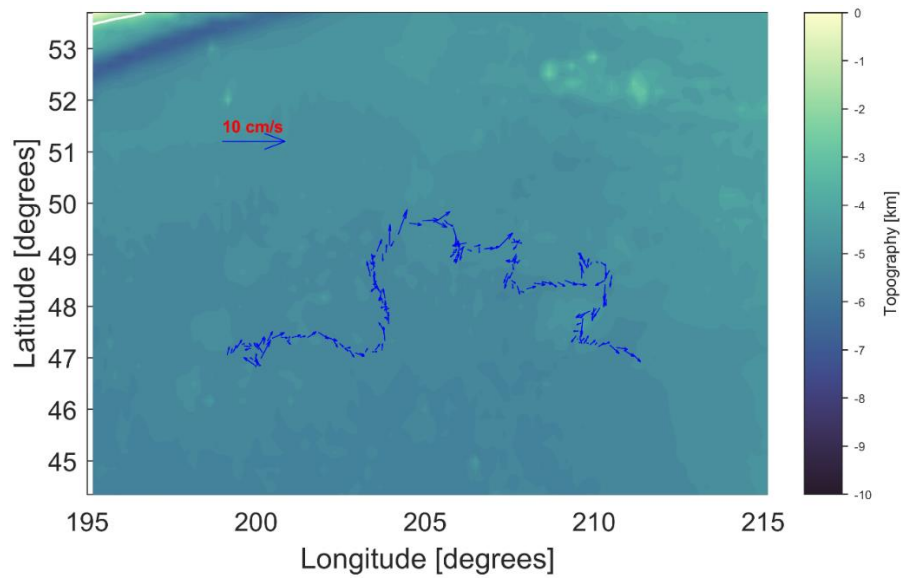


图 5 4902376 号浮标（ARGOS 卫星）估算的中层（1000 米）流矢量分布

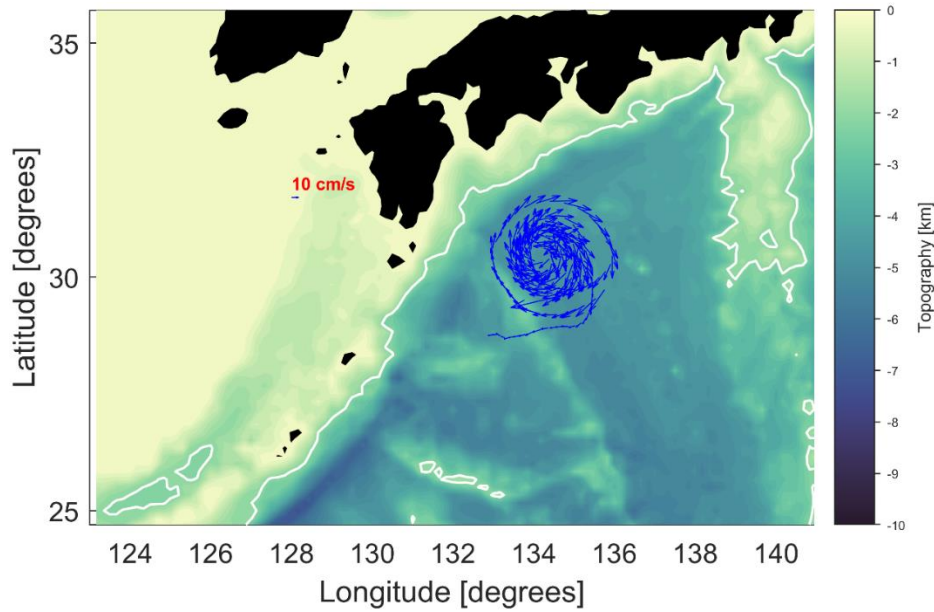


图 6 2902750 号浮标（铱卫星）估算的中层（1000 米）流矢量分布

最后，选取所有漂移深度位于 1000 ± 200 dbar 范围的浮标中层漂移速度数据，经栅格化处理后得到全球海洋多年平均中层流速数据集（csio_mid_vel_1000.nc），包含经纬度(lon, lat)、流速及其标准差(vel, vel_std)、纬向和经向速度及其标准差(u, u_std, v, v_std)等信息，水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

图7显示的是北太平洋黑潮区1000米层多年流速网格分布及其标准差。图8则显示了Argo浮标漂移轨迹估算的全球海洋1000米层多年平均流场，可以看出显著的西边界强流（如黑潮、湾流）、条带状赤道中层流和南极绕极流分布特征。图9~11分别为1000米层纬向和经向流速与 SCRIPPS 海洋研究所同类产品（<https://library.ucsd.edu/dc/collection/bb6630688j>）的比对情况，不难看出两者的分布特征和流速大小基本一致， $40^\circ\text{S} \sim 60^\circ\text{S}$ 范围内大范围自西向东的南极绕极流，黑潮和湾流区西边界强流，热带太平洋海域存在不同方向条带状分布的纬向流，而经向流速同样在南极绕极流和

西边界流区较为显著，只不过流向分布较为复杂。

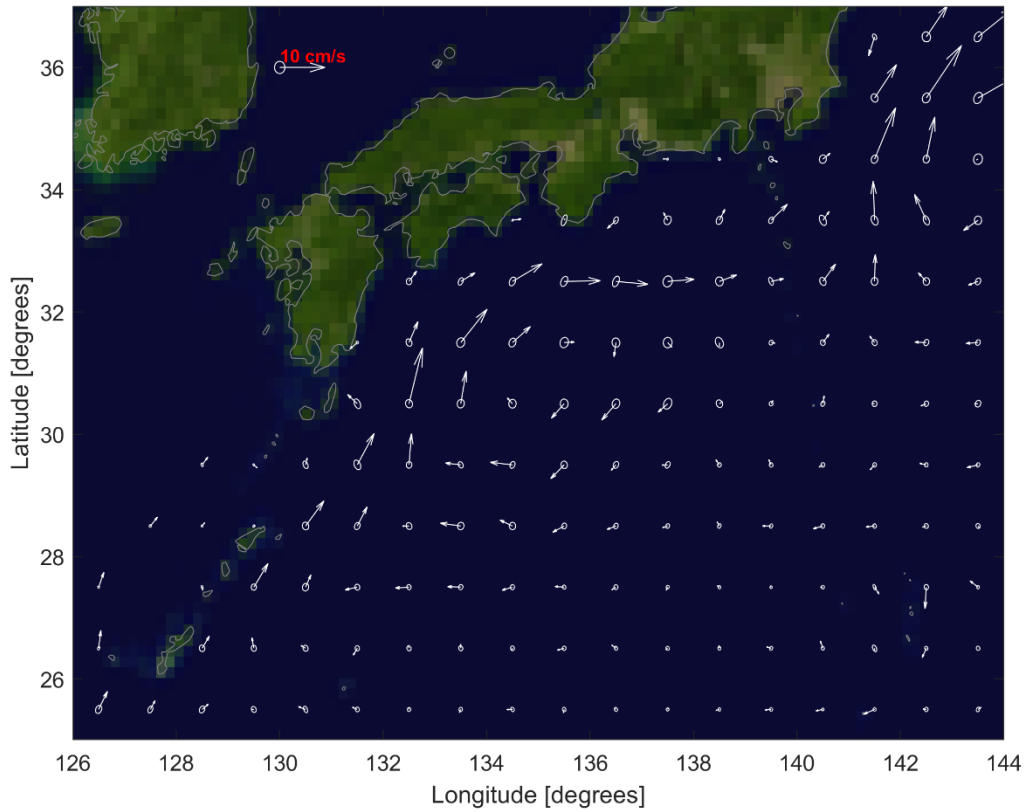


图 7 北太平洋黑潮区多年平均 1000 米中层流矢量及标准差椭圆
(2001~2024 年 4 月)

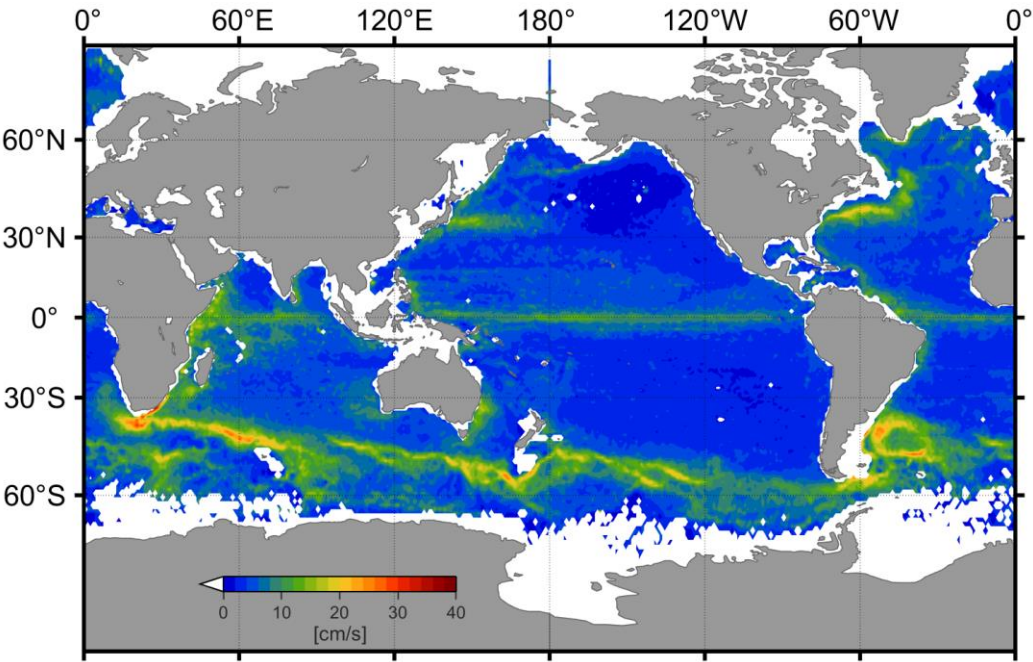


图 8 全球海洋 1000 米多年平均流场分布 (2001~2024 年 4 月)

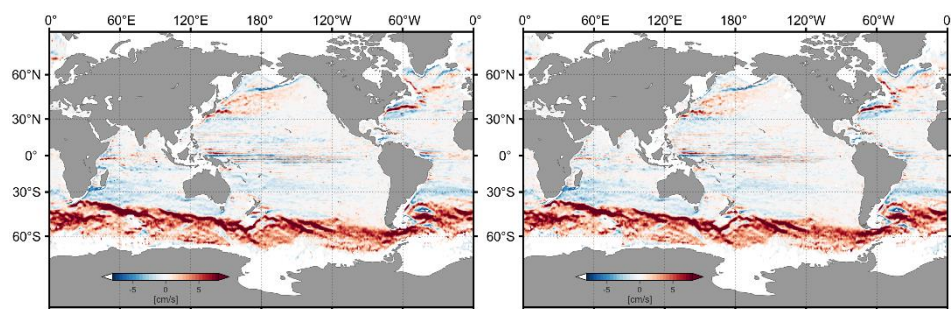


图9 CSIO（左）和SCRIPPS（右）全球海洋1000米多年平均纬向流速分布

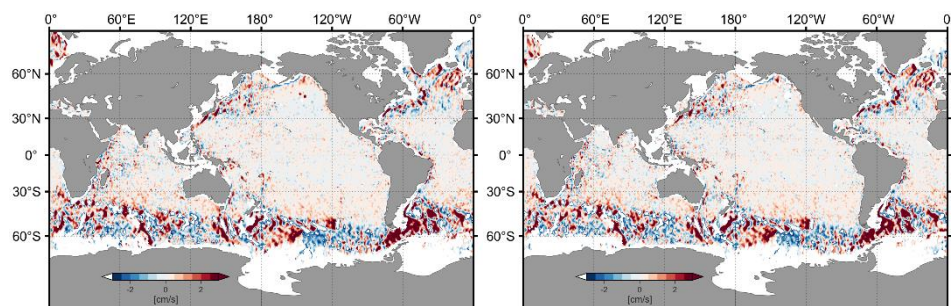


图10 CSIO（左）和SCRIPPS（右）全球海洋1000米多年平均经向流速分布

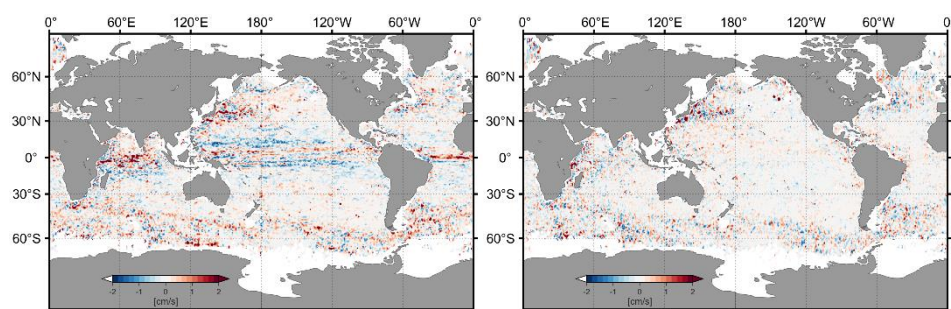


图11 CSIO和SCRIPPS多年平均纬向（左）和经向（右）流速差

在全球范围内，由Argo浮标反演的中层流速随纬度的变化情况如图12所示，不难发现，绝大部分纬度的纬向流速明显大于经向流速，在南大洋 $40^{\circ}\text{S}\sim 60^{\circ}\text{S}$ 范围内自西向东流速十分显著，热带海区（ $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ）存在明显的东西向间隔的条带状分布的纬向流。

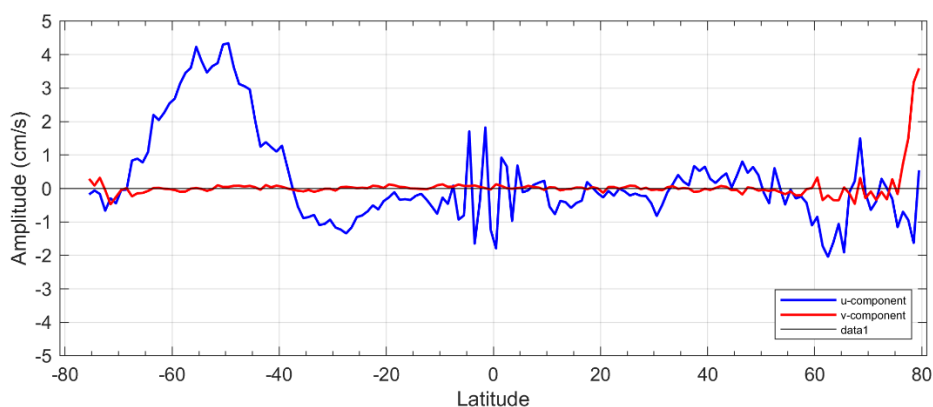


图12 全球海洋纬向和经向平均流速随纬度的分布

五、 声明

1、该数据集的版权属自然资源部第二海洋研究所所有，任何单位、网站或个人未经授权不得转载、修改和用于商业行为。经授权的单位、网站，在使用或转载时必须注明“数据来源：中国Argo实时资料中心（China Argo Real-time Data Center）（或自然资源部杭州全球海洋Argo系统野外科学观测研究站（Observation and Research Station of Global Ocean Argo System (Hangzhou), MNR） ， <https://www.argo.org.cn>）”，违者将依法追究其法律责任。

2、本数据集是杭州全球海洋Argo系统野外科学观测研究站为海洋科学等领域的科学研究而研制，本站对用户使用过程中出现的任何损失或损坏不承担任何责任。

联系方式：

刘增宏 zliu@sio.org.cn 0571-81963197

六、更新历史

- 2023年5月，发布第一版；
- 2024年4月，对质量控制方法进行更新；
- 2024年5月，加入Zilberman等人提出的漂移距离阈值检测。