

台湾東沖海域における乱流観測・成果報告

東京海洋大学 海洋環境科学部門 長井健容

1. 要旨

2019年7月1日から7月6日に国立台湾大学海洋研究所(IONTU)の Ming-Huei Chang 准教授及び国立台湾大学の学生、東京海洋大学の長井健容、学部生リザルベダニエル、西拓実、九州大学の松野健が、台湾東方沖の I-Lan Ridge において、自由落下曳航式の乱流観測装置による乱流微細構造の高解像度観測を、台湾海洋技術研究中心(TORI)の新しい研究船 LEGEND で実施した。この観測の事前打ち合わせのため、2019年6月14日に長井健容、松野健と愛媛大学の郭新宇が IONTU を訪れ、詳細な観測計画を立案した。観測の結果、I-Lan Ridge 周辺海域の数 100 km² の範囲では、平均的に $O(10^{-7} \text{ Wkg}^{-1})$ の乱流運動エネルギーの散逸が発生し、それに伴う領域平均渦拡散係数は、 $O(10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1})$ に達することがわかった。

2. 研究の背景

北太平洋の西岸境界流である黒潮が、同じく北大西洋の西岸境界流ガルフストリームと大きく異なる点は、その流路で、複数の海嶺や海山、島の周辺を流れる点である(Hasegawa 2019)。この特徴のため、黒潮はこれらの海底地形近傍で強い混合作用を受けることが予想されるが、どの程度の混合効果があるのか、そしてどのようなメカニズムが卓越して混合が発生するのかについては、従来の海洋乱流の観測が比較的低い水平解像度でしか行われてこなかったため不明な点が多い。一方、Nagai et al. (2017)は、準自由落下式の乱流微細構造観測プロファイラーである Vertical Microstructure Profiler 250 (VMP250 Rockland Scientific Victoria BC Canada)を自由落下曳航式の CTD 観測装置 Underway-CTD (Teledyne Oceanscience Seattle USA)のウインチで準自由落下曳航式に用いる Underway-VMP (UVMP) 観測に成功した。この準自由落下曳航式乱流観測によって、黒潮が海山上を流れるトカラ海峡では乱流運動エネルギー散逸率の高い層が、水平流速の鉛直勾配(鉛直シ

ア)の帯状構造に沿って形成されていることを初めて観測することに成功した(Nagai et al. 2017)。一方、台湾東方沖では、黒潮は I-Lan Ridge 上を流れる。本海域で乱流を直接観測した例は、これまで殆ど無かったが、OMIX ではこの海域に注目し、前年度に微細構造の観測を実施した。しかし、水平的解像度がやや低く、乱流の構造が十分に把握できていなかった。このため、本観測では黒潮が流れる I-Lan Ridge での UVMP 観測を詳細に実施し、黒潮や潮汐が発生させる乱流散逸と混合の実態を明らかにすることを目的とした。

3. 研究計画・作業仮説・方法

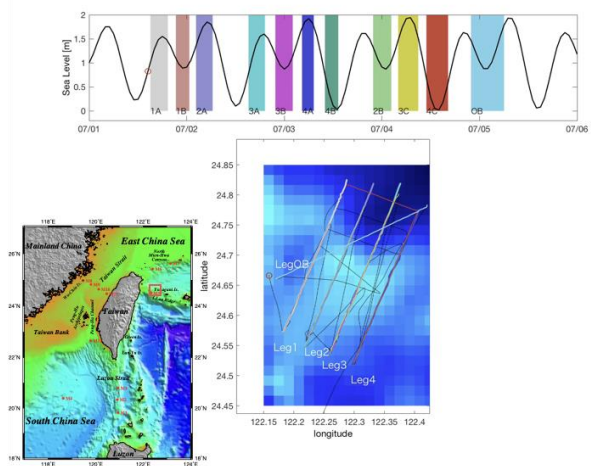


図1：(上)観測期間における潮位。(左)台湾周辺の海底地形。(右)断面観測線(西から Leg1, 2, 3, 4)。

本観測では、I-Lan Ridge 上に黒潮流路に沿った4断面を設け、各断面でそれぞれ干潮と満潮時について2回ずつ断面観測を実施した。各断面では、3-4ノットで航行し、船尾からUVMPを用いた乱流の自由落下曳航観測を実施した。東京海洋大学のUVMPは左舷船尾から、IONTUのUVMPは右舷船尾から投入した。また、R/V LEGENDの船底に搭載されている、Teledyne RD ADCP 38kHz および 150kHz を用いて、観測断面での流況を観測した。

4. 成果

4.1. 流況観測

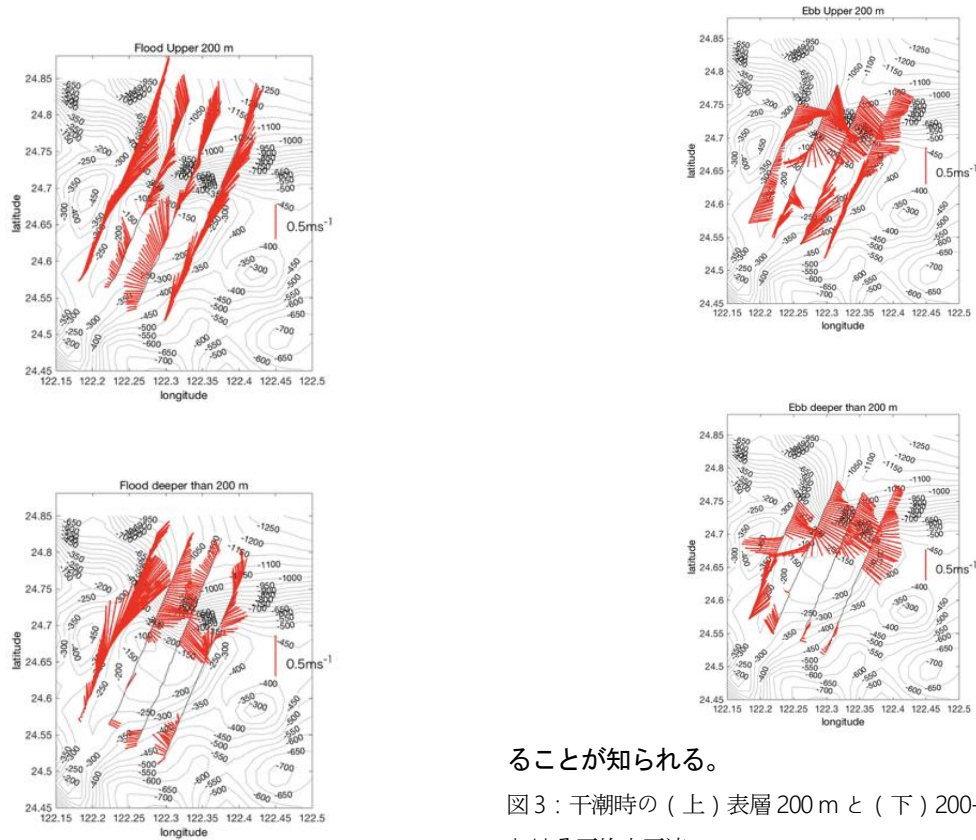


図2：満潮時の（上）表層200mと（下）200-300mにおける平均水平流。黒い等高線は、海底地形を示す。

R/V LEGENDの150kHz船底ADCPで観測した水平流は、満潮時の表層200mで $0.5-1\text{ms}^{-1}$ の大凡北向きの流れを示した。一方、200-300mで平均した水平流は、I-Lan Ridgeの北側で 0.5ms^{-1} 程度の東向きの流れを示した。一方、干潮時の流れは、表層200mと200-300mともに、I-Lan Ridgeの北側で 0.5ms^{-1} 程度の東向きの流れを示した。この満潮時の200-300mと、干潮時の全層でみられたI-Lan Ridgeの北側の東向きの流れは、黒潮に伴うものではなく、台湾海峡を北から東に抜けて流れるTaiwan Strait Outflowの影響であると推察する。この観測期間中では、黒潮は若干台湾沖東方へ離岸しており、黒潮の影響は比較的小さかったと言える。しかしながら、Taiwan Strait Outflowは、I-Lan Ridgeの直ぐ北まで到達し、I-Lan Ridge北で大きな相対渦度の絶対値を取っている。これらの相対渦度は、I-Lan Ridgeの斜面でTaiwan

Strait Outflowが摩擦を受けて形成されている可能性があり、このような場合、渦位が負の値を獲得しう

ることが知られる。

図3：干潮時の（上）表層200mと（下）200-300mにおける平均水平流。

4.2. 乱流観測

流況の観測を実施した同様な観測線において、船尾から投入したUVMPによって水平高解像度で乱流微細構造を観測した。満潮時に観測した乱流運動エネルギー散逸率は、I-Lan Ridge上の最も西側の海嶺の溝に沿った断面の、海山直上の水深100m緯度 27.67° で非常に大きな値 $>0(10^{-4}\text{Wkg}^{-1})$ を取っていた。この非常に大きな散逸率を観測した領域での水温と塩分、密度の構造は、比較的高温で低塩分の海水の上に凸下に凸のレンズ状の構造を取っており、ここで、第2モードのソリトン波動が伝播していた可能性を示す。このような、跳水や山岳波、ソリトン波などに伴う密度構造に見られる鉛直変位は、満潮時の方が干潮時に比べて頻繁に海山近傍で確認できる。しかしながら、乱流散逸率の分布や大きさに関しては満潮と干潮時の間の明瞭な差は認められなかった。満潮と干潮時いずれも表層は、近慣性内部

波に伴うと考えることができる流速の帯状シアに関連した乱流散逸の帯状の構造が確認できた。一方、亜表層では強い乱流は、負の相対渦度(高気圧性渦度)に関連して比較的強い乱流が発生していることが示唆された。全ての散逸率データを満潮と干潮時でそれぞれ平均した場合、 $4 \times 10^{-7} \text{ Wkg}^{-1}$ および $2.8 \times 10^{-7} \text{ Wkg}^{-1}$ と満潮時の方が約 1.5 倍程度大きい。

Layers Associated with High-Wavenumber Internal-Wave Shear in the Upstream Kuroshio. *Sci Rep* 7, 14555 (2017).

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-15167-1>

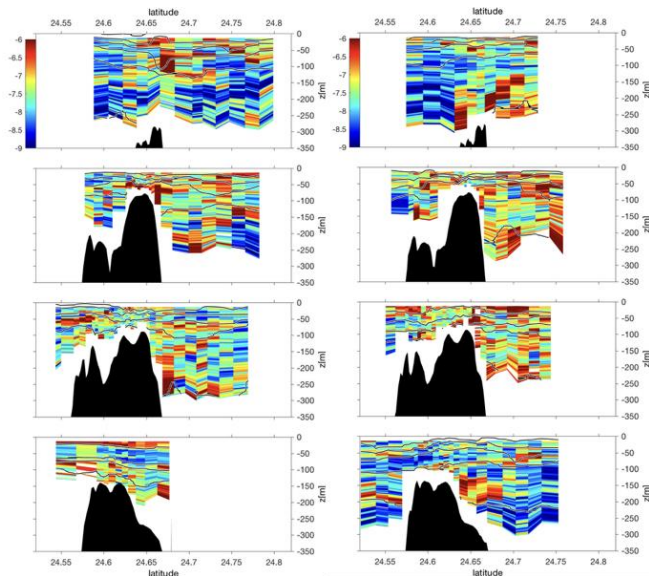


図4 満潮時(左)と干潮時の(右)の各断面における乱流運動エネルギー散逸率の対数値を色で表す。黒い実線は密度を表す。上から下へ、Leg 1-4を示す。

5. 謝辞

国立台湾大学の Ming-Huei Chang 准教授や Wei Ting 技術補佐員、同研究室の学生や補佐員の方々には、現場観測のための荷物の運搬から現地でのロジスティクスに関して多大なご支援をいただいた。また、R/V LEGEND の乗組員の方々には観測時に大変お世話になった。

6. 引用文献

- Hasegawa, D. (2020). Island Mass Effect. In *Kuroshio Current* (eds T. Nagai, H. Saito, K. Suzuki and M. Takahashi). doi:[10.1002/9781119428428.ch10](https://doi.org/10.1002/9781119428428.ch10)
- Nagai, T., Hasegawa, D., Tanaka, T. *et al.* First Evidence of Coherent Bands of Strong Turbulent