

小型船舶におけるIMUとDVL での推定航法について

東京海洋大学 情報通信工学研究室
学部4年 鈴木翔

目次

- 研究背景
- 実験方法・概要
- 解析の方法
- 実験結果
- 考察と結論
- 今後について

研究背景

- 水上交通における人手不足による移動体の自動化・無人化の流れにより、正確な位置情報の取得が必要である。



- 都市河川においては橋や建物など障害物が多いためGNSSが利用不可能な場合がある



- GNSSが利用不可能なときに代替測位手法を用いてどの程度の精度が担保できるかを調査



- 代替測位手法としてIMUとDVLを設置した小型船舶を想定

船舶でのIMUのバイアス補正

- 研究の観点より船舶でのIMUのバイアスを補正する手法は大きな課題である。
- 自動車等の場合は、必ず停止するときがあるため、その時間を利用してZUPT (zero velocity update) という手法が一般的に利用されている。また速度センサもスリップがない限り利用できる。
- 船舶航行中のIMUのバイアス補正をターゲットとしている。
- 船は停泊中も揺れている

実験方法・概要

- ・らいちょうにGNSSアンテナとIMU、DVLを設置。

表:設置した機器まとめ

機器・分類	メーカー・型番	計測データ	用途
GNSS	u-blox ZED-F9P	RTK測位結果 コンパス計算結果	絶対位置・方位計算
IMU	東京航空計器 CSM-MG 100	角速度・加速度	位置DR・方位計算
DVL	Nortek Nucleus1000	対地速度・対地進路	位置DR



GNSSアンテナ



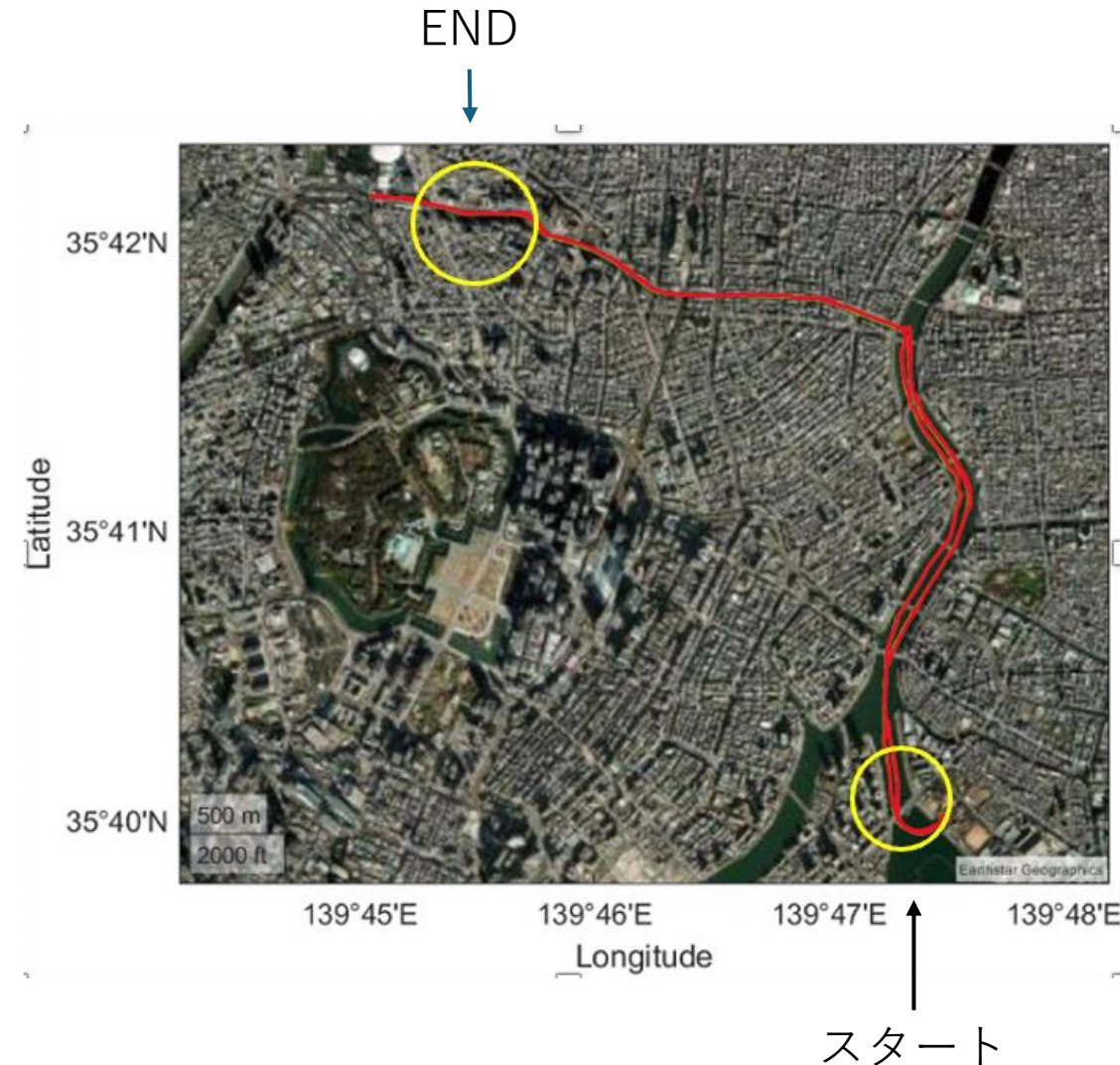
IMU



DVL(水中)

実験方法・概要

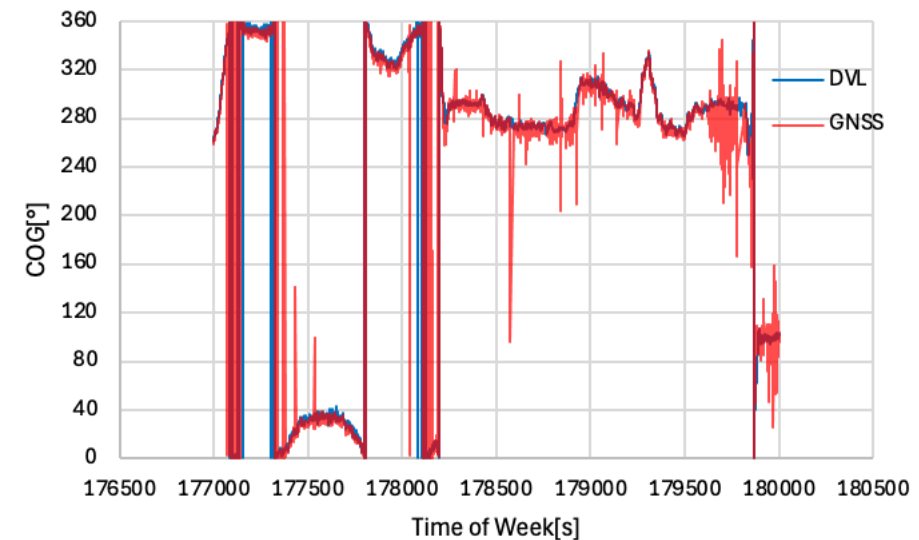
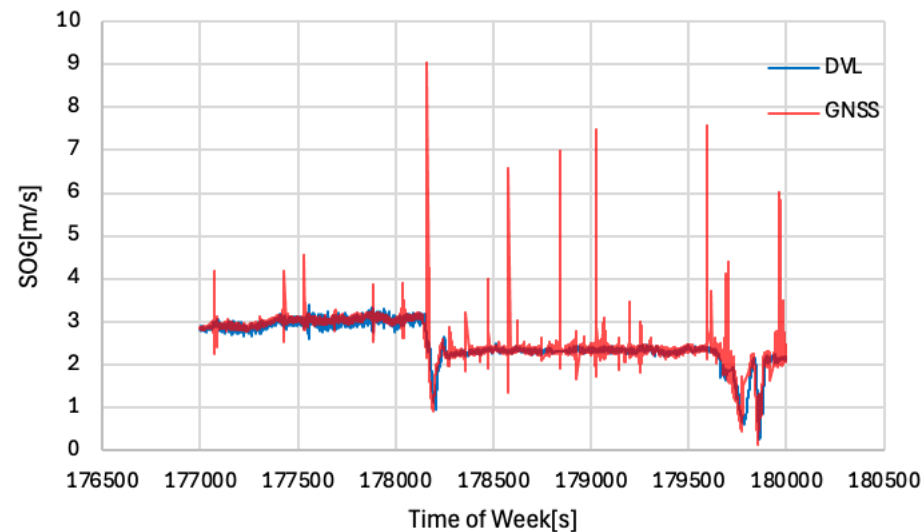
- 航行水域は隅田川 + 神田川（往復）
- 実験時刻：2024年7月16日10:08～11:47
- 橋下を除いたほぼ全域においてFix解が得られた区間でDRを行い、位置精度を検証した。
- TOW177000(東京海洋大学越中島キャンパスpond側)～TOW180000(神田川折り返し地点通過後)の3000秒間で検証。区間は右の写真の黄色い丸の地点。
ーこの道のりは約6500m。



DVL (Doppler Velocity Logs)

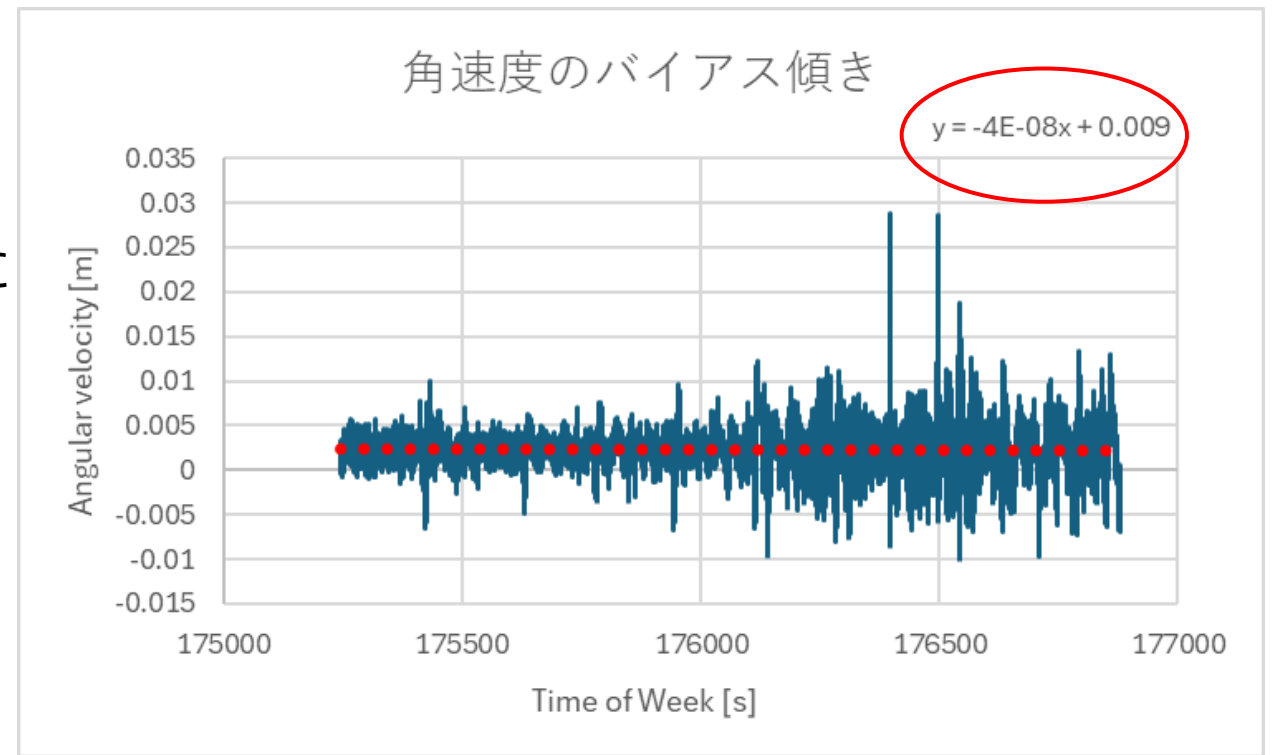
DVLについて

- DVLでは船舶（DVL本体）の前後・左右・上下方向の速度を検出することができる。
- DVLのSOG(対地速度)・COG(対地進路)の方が神田川においてはばらつきが少なかった。
- SOGの差分の平均値0.014[m/s],COGの差分の平均値5.13[°]



初期バイアス及びドリフト補正について

- キャンパス内にあるポンドに停止中の時間で、角速度のYaw方向のバイアスを求めた
- また初期バイアスに関して今回のこの停止時間は約27分の平均値をバイアスとして計算した
- 船が揺れることによって生じる角速度の傾き(ドリフト量)を求めて、取得した角速度データからドリフト量を引いた値を用いて方位を求めた



図：角速度のバイアス傾き

実験方法・概要

- DR中は初期バイアスに加えてバイアスの傾きを考慮した(ドリフト補正)IMUの角速度を積分して方位を求めた。
- 初期バイアスを補正してもバイアスが変化すれば、方位誤差は増え蓄積誤差として大きくなる(図1)
→ドリフト補正を行うことによって蓄積誤差を軽減(図2)

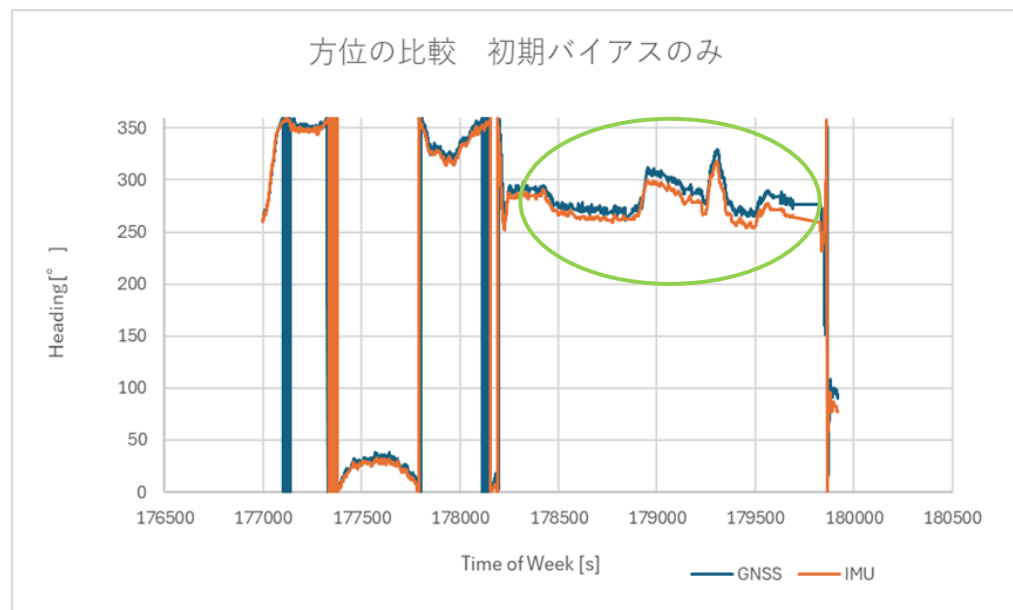


図1：初期バイアス補正のみ行った方位比較

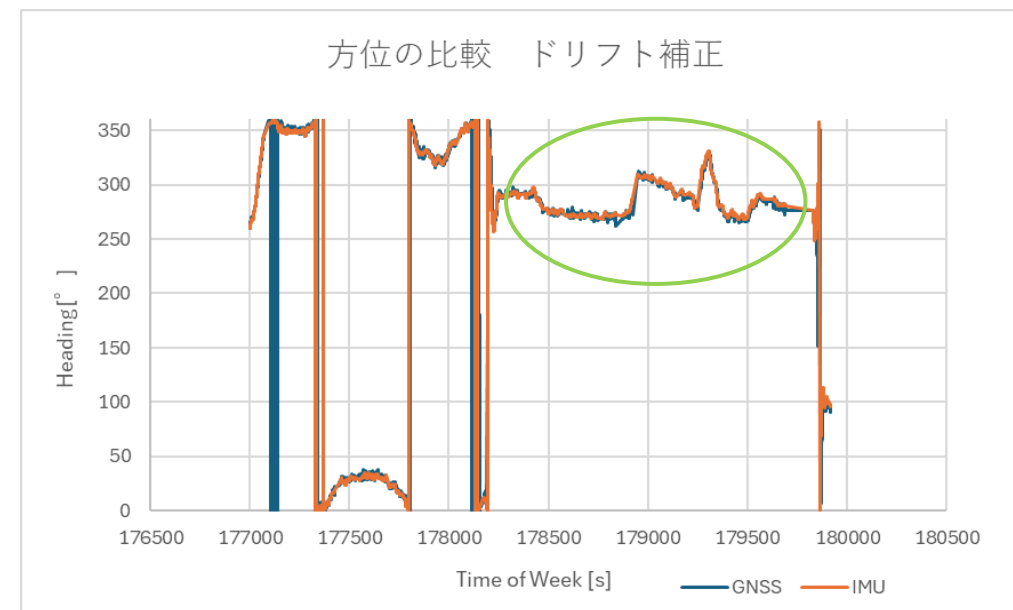
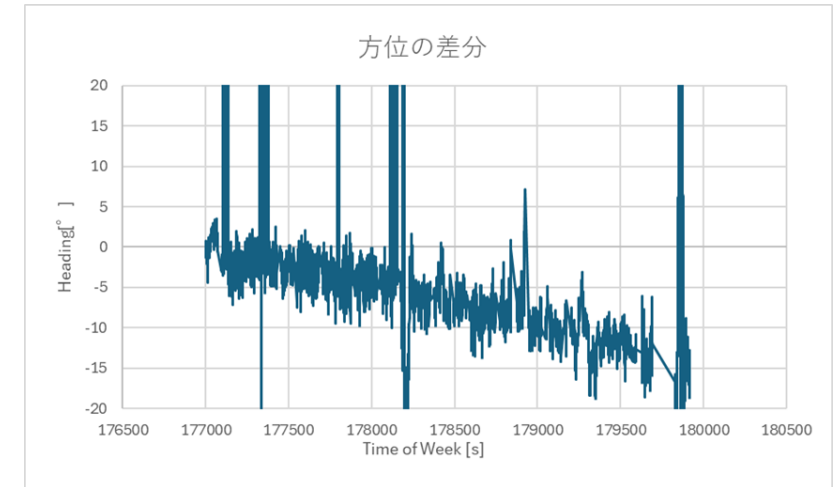


図2：初期バイアスとドリフト補正を行った方位比較

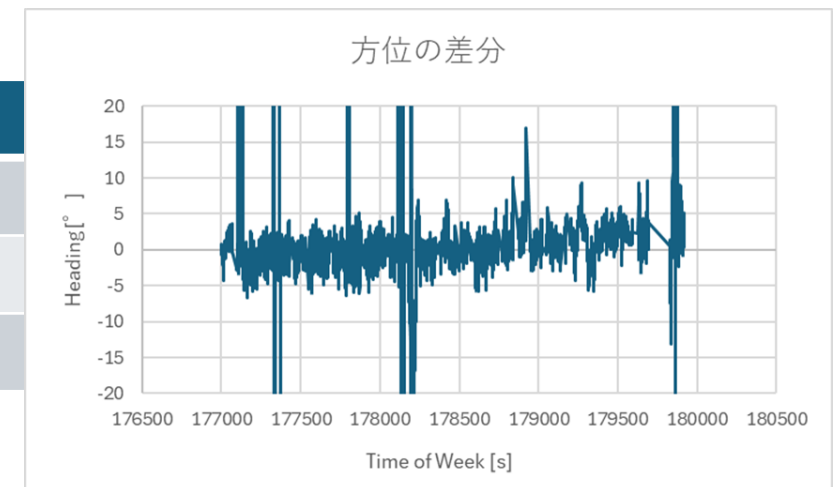
実験方法・概要

方位の比較：（177000秒地点において方位リセット）

- TOW177000 ~ 18000秒間におけるGNSSの方位とIMUの方位を比較した
- GNSSの方位についてはForeとAft部分からより正しい値を求めた、さらに比較する際にGNSSの方位についてはFix解のみを使用している
- GNSSのFix解はTOW179916.2で終了していた



図：初期バイアスのみ補正した方位の差分



図：バイアス+ドリフト補正した方位の差分

	TOW	GNSS	IMU	GNSS-IMU
初期方位	177000	259.935°	259.935°	0°
初期バイアスのみ	177916.2	94.375°	77.349017°	17.026°
バイアス+ドリフト	177916.2	94.375°	95.315033°	-0.940033°

実験方法・概要 (IMUの方位比較における他の実験例)

- 2023年9月15日の実験データ
 - 補正方法については前述したものと同様
 - この実験では途中で複雑な旋回運動があったため1530秒間の実験データで補正を行った
- ※360° 付近の値であり飛値のように見える

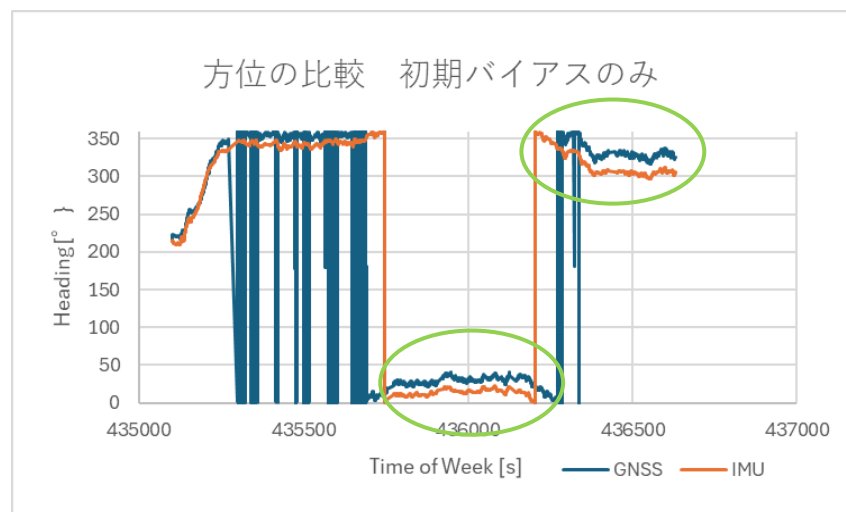


図1：初期バイアス補正のみ行った方位比較

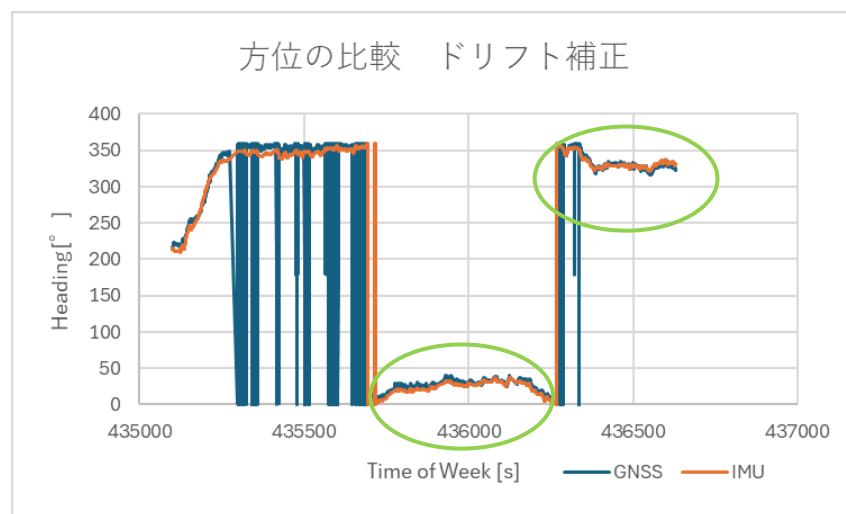


図2：初期バイアスとドリフト補正を行った方位比較

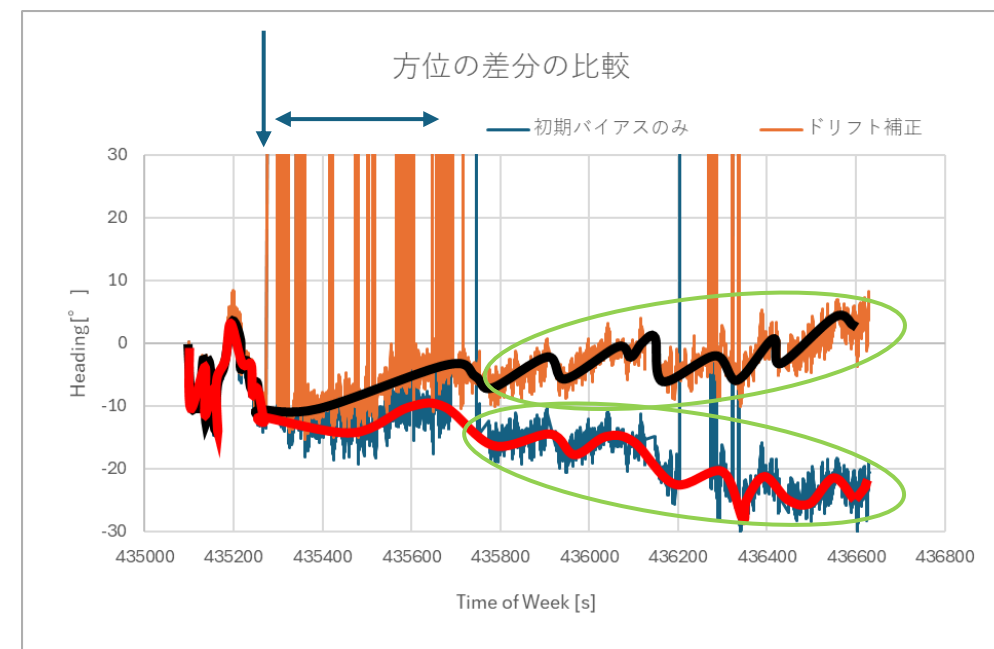


図3：方位の差分の比較

実験方法・概要 (IMUの方位比較における他の実験例)

- 2023年9月15日の実験データ数値

	TOW	GNSS	IMU	GNSS-IMU
初期方位	435100	213.885°	213.885°	0°
初期バイアスのみ	436630	325.655°	305.0972°	20.3728°
バイアス+ドリフト	436630	325.655°	332.2136°	−6.7488°

位置推定方法

- 対地速度と進行方位（IMU由来）を用いて、航跡を求めた。
- 方位を求める計算式

$$\text{方位} + \left\{ 0.02 \times (\text{※角速度}) \times \frac{180}{\pi} \right\}$$

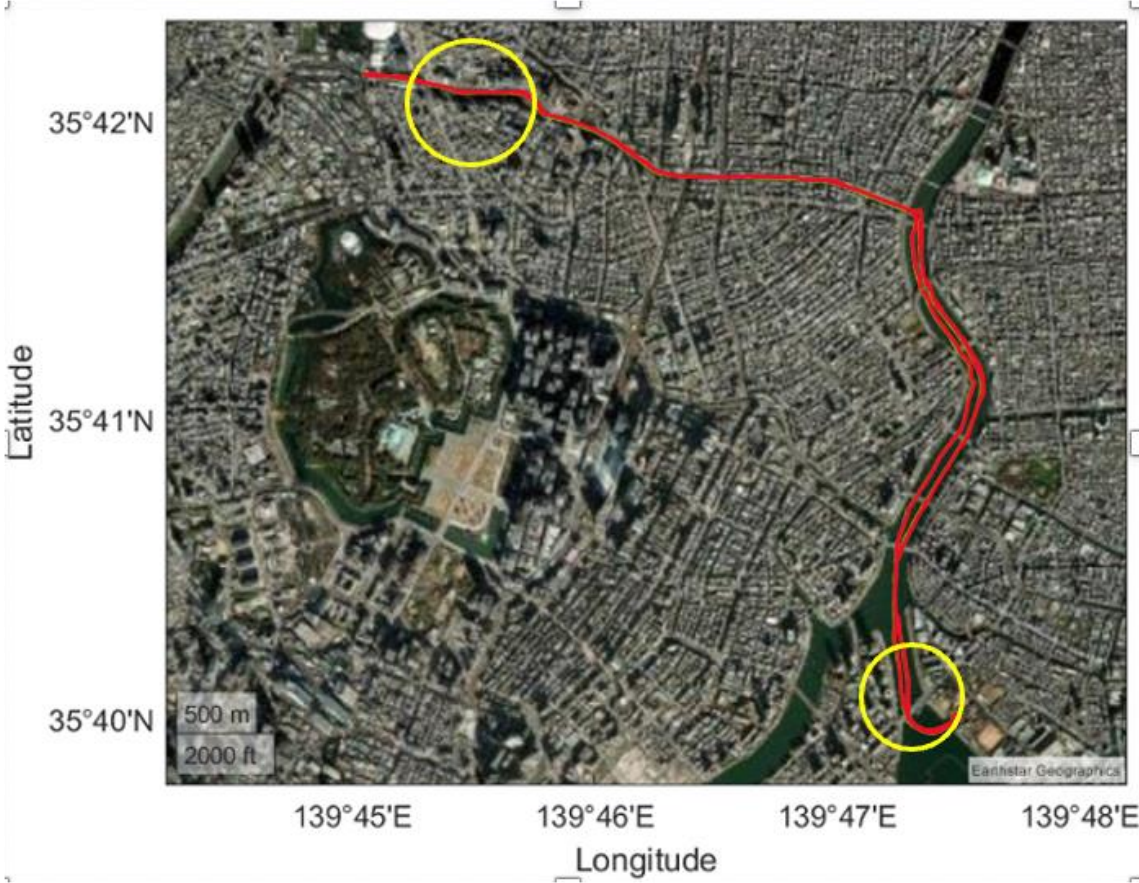
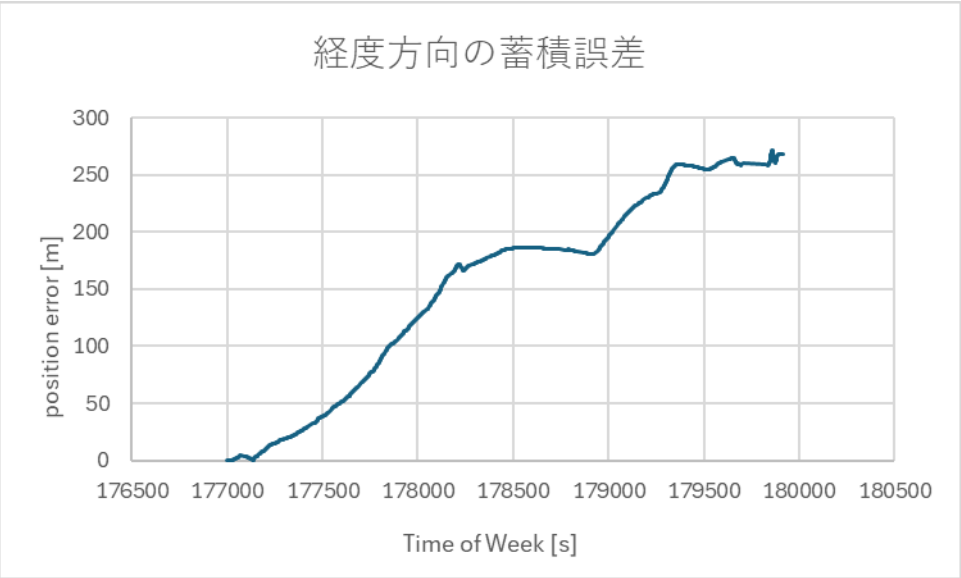
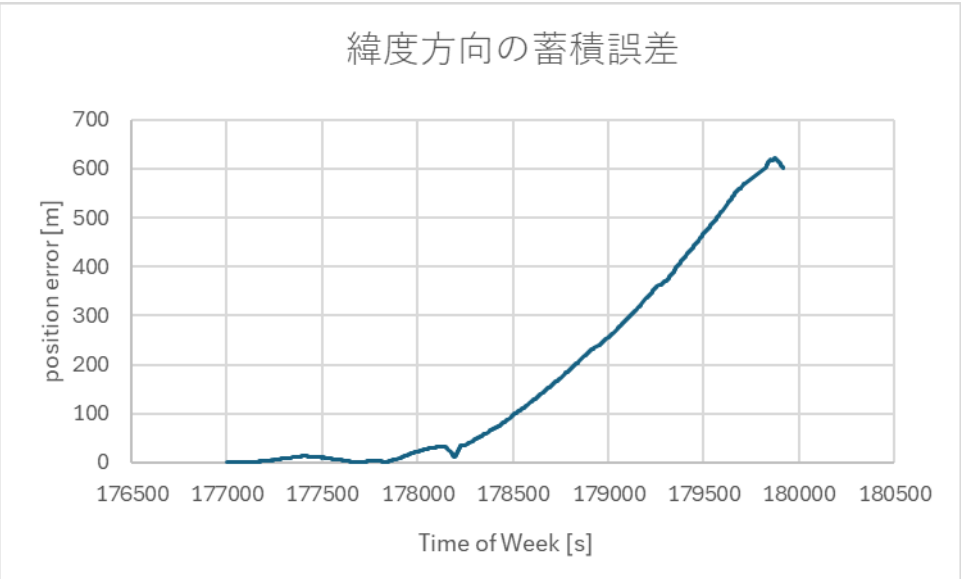
※角速度：初期バイアスの場合→ 角速度 - 0.00231028(約27分間の平均値)
バイアス＋ドリフト量→ 角速度－ドリフト量(-4E-08x + 0.009)

- 緯度方向の移動距離を求める計算式
$$\sin\left(\text{方位} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \text{速度} \times \text{時間}$$
- 経度方向の移動距離を求める計算式
$$\cos\left(\text{方位} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \text{速度} \times \text{時間}$$

実験結果

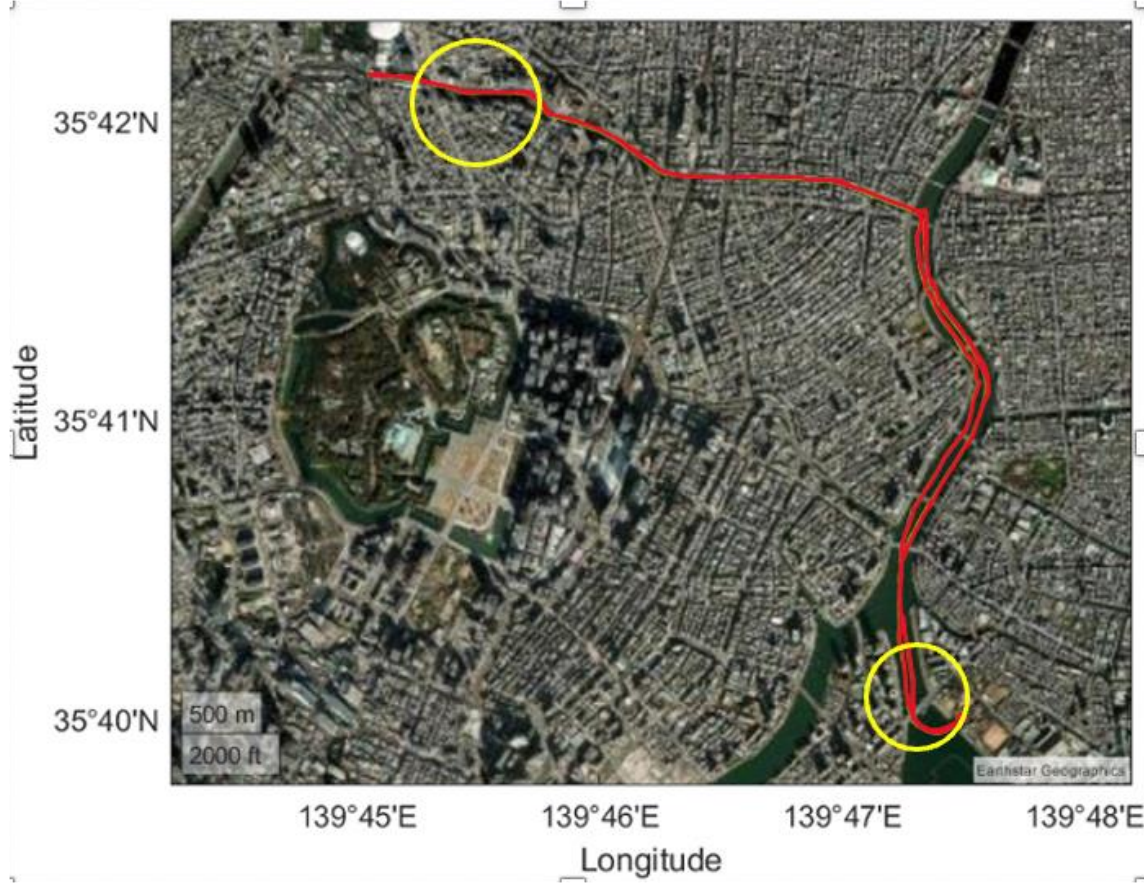
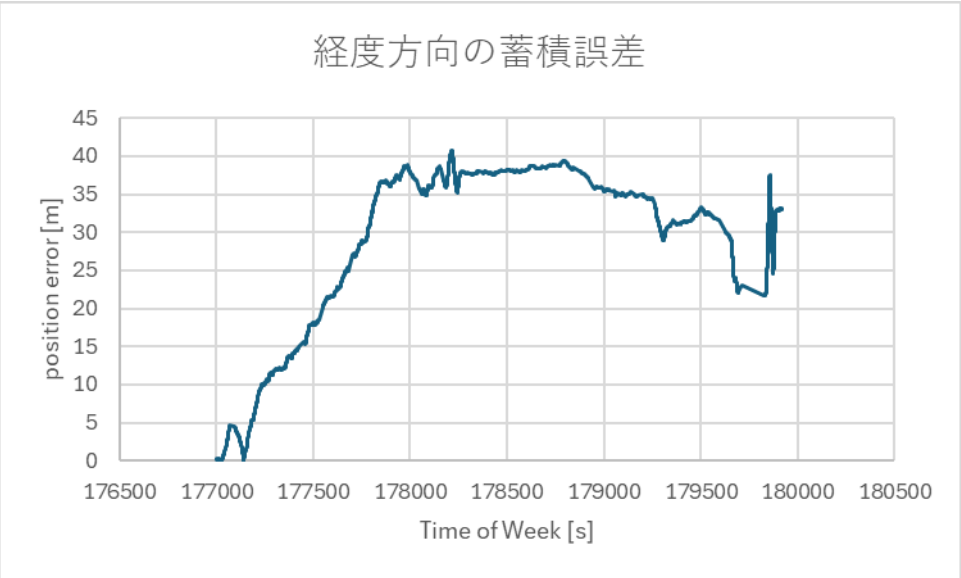
- DVLとIMUを用いて計算したSOG（対地速度）・COG（IMU由来）を用いてデッドレコニングを行った。0.2秒毎の位置を推定することによってGNSSのRTKのFix解と比較し評価
- 初期位置はRTKの位置とした。
- DVL速度 + IMU方位：初期バイアスのみ（3000秒）
- DVL速度 + IMU方位：初期バイアス + ドリフト（3000秒）

実験結果（初期バイアスのみ）



時間(s)	緯度方向誤差(m)	経度方向誤差(m)
177000~179916.2	601.1	268.3

実験結果（初期バイアス＋ドリフト補正）



時間(s)	緯度方向誤差(m)	経度方向誤差(m)
177000~179916.2	30.6	33

考察と結論

- 橋下ではGNSS測位ができないため加速度による速度推定の精度が良くないため、DVLを用いた手法は有効だろう。
- 予想どおり時間経過とともに位置推定誤差は大きくなる。
- DVLの速度は1000秒で約14mの誤差の蓄積。
- IMUの方位は3000秒で約17度の誤差の蓄積。ドリフト補正を行うことによって1度未満に誤差を抑えることができた。
- 他のデータでは20度の誤差に対して6度程度残存した
- 今後の課題として航行中にバイアスを推定する方法を考案する。

謝辞

- らいちょうを利用した実験において、海洋電子機械工学科の清水悦郎教授と芝浦工業大学の中川雅史教授には大変お世話になりました。ここに深く感謝いたします。