

海洋レーダーで検出した 対馬海峡における 地衡流の経年変動

九州大学大学院

青谷 裕史

協力

磯辺 篤彦 (九大応力研)
上原 克人 (九大応力研)
岩崎慎介 (寒地土木研究所)

背景と目的

九州大学応用力学研究所では対馬海峡周辺の表層流をHFレーダを用いて約15年間観測し続けてきた



↑ HFレーダ

これまで...

短期間の変動や季節変動は解析されてきたが(e.g., Yoshikawa et al., 2010)、10年間以上のデータを用いた経年変動の解析は行われていない

↓
そこで

目的

これまで応用力学研究所が観測してきた対馬海峡周辺の長期間のデータを用いて、対馬暖流の長期変動解析を行う



HFレーダー

対馬海峡では2種類のレーダーが設置



Codar社製



NJRC社製

Radar Type	CODAR	NJRC
Transmitting antenna	two monopoles	one Yagi
Receiving antenna	crossed loop/monopole	eight Yagi
Center frequency (MHz)	13.9	24.5
Sweep band width (kHz)	49	100
Sweep rate (Hz)	2.0	2.0
Range coverage (km)	75	50
Bearing coverage (deg)	360	90
Range resolution (km)	3.0	1.5
Bearing resolution (deg)	5	7.5
Measurement depth (m)	1.72	0.98



本研究ではHFレーダーを用いることで対馬海峡周辺の表層の流況（ベクトル）測定

対馬暖流 = 地衡流 の推定

HFレーダによって観測されたデータは対馬暖流の変動だけではなく局所的な風の影響も含まれている



$$\boxed{\text{表層流}} = \boxed{\text{地衡流}} + \boxed{\text{吹送流}}$$

吹送流は風データから計算可能(Yoshikawa et al., 2010)
→本研究では気象庁のGPV-MSMのデータから計算

計算した吹送流を表層流から取り除くことで地衡流を推定

$$\boxed{\text{地衡流}} = \boxed{\text{表層流}} - \boxed{\text{吹送流}}$$

地衡流の推定

測定された
表層流

$$\begin{pmatrix} u_s(x, y, t) \\ v_s(x, y, t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_g(x, y, t) \\ v_g(x, y, t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{wdf}(x, y, t) \\ v_{wdf}(x, y, t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{err}(x, y, t) \\ v_{err}(x, y, t) \end{pmatrix}$$

$u_g(x, y, t), v_g(x, y, t)$: 地衡流成分
 $u_{wdf}(x, y, t), v_{wdf}(x, y, t)$: 吹送流成分
 $u_{err}(x, y, t), v_{err}(x, y, t)$: 非地衡流成分

(Yoshikawa et al., 2009)により非地衡流成分は無視できるものとする → 残るのは吹送流成分

吹送流と摩擦速度の関係を以下の通りに仮定

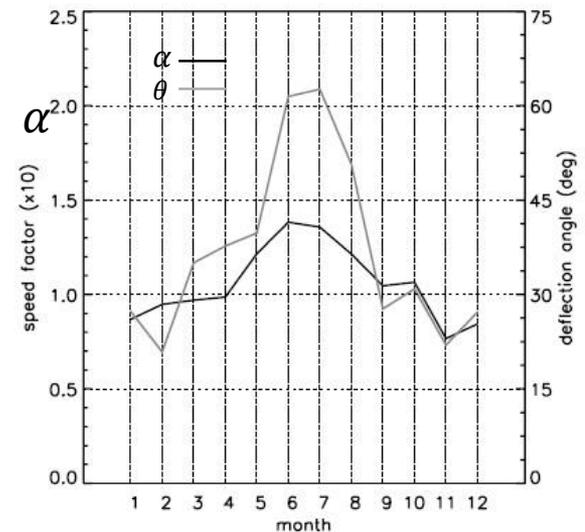
$$u_{wdf} + iv_{wdf} = \alpha \exp(-i\theta)(u_* + iv_*)$$

α と θ については右図参照

u_{wdf}, v_{wdf} は吹送流の速度

u_*, v_* は摩擦速度

摩擦速度は $\sqrt{\frac{\tau}{\rho_w}}$ により計算

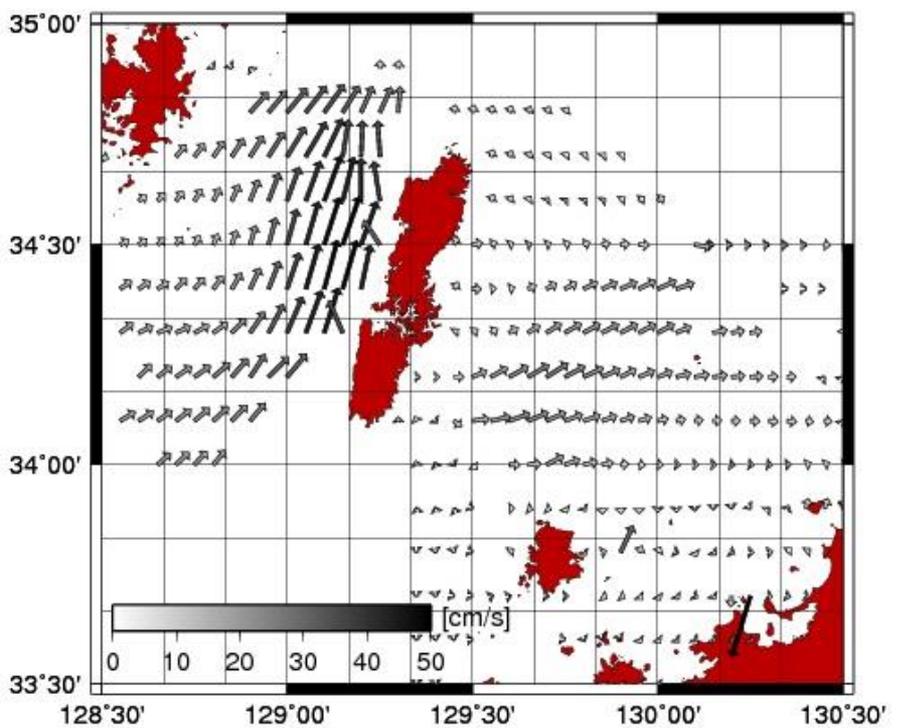


Yoshikawa and Masuda (2009).

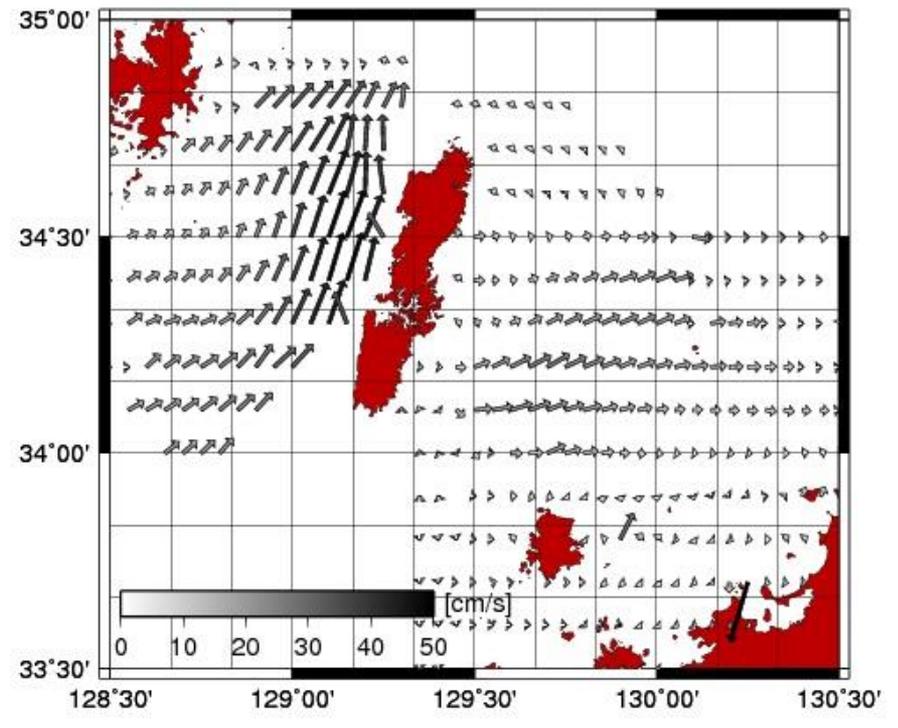
風のデータが分かれば吹送流を計算し地衡流を推定可能

推定した地衡流の全期間平均

測定した表層流と推定した地衡流のベクトルプロット



表層流



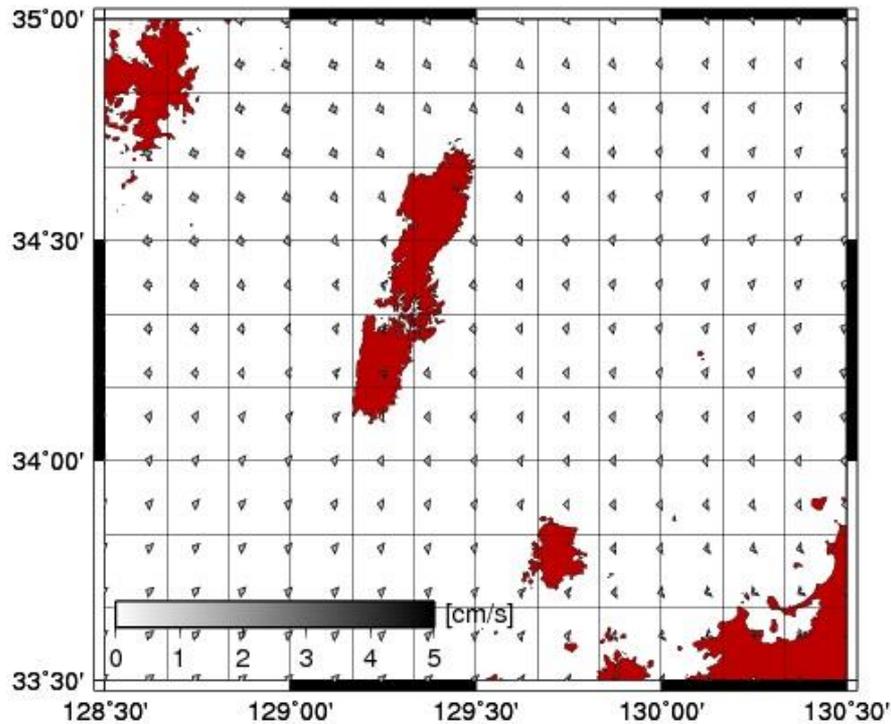
地衡流

全期間平均では差はみられなかった

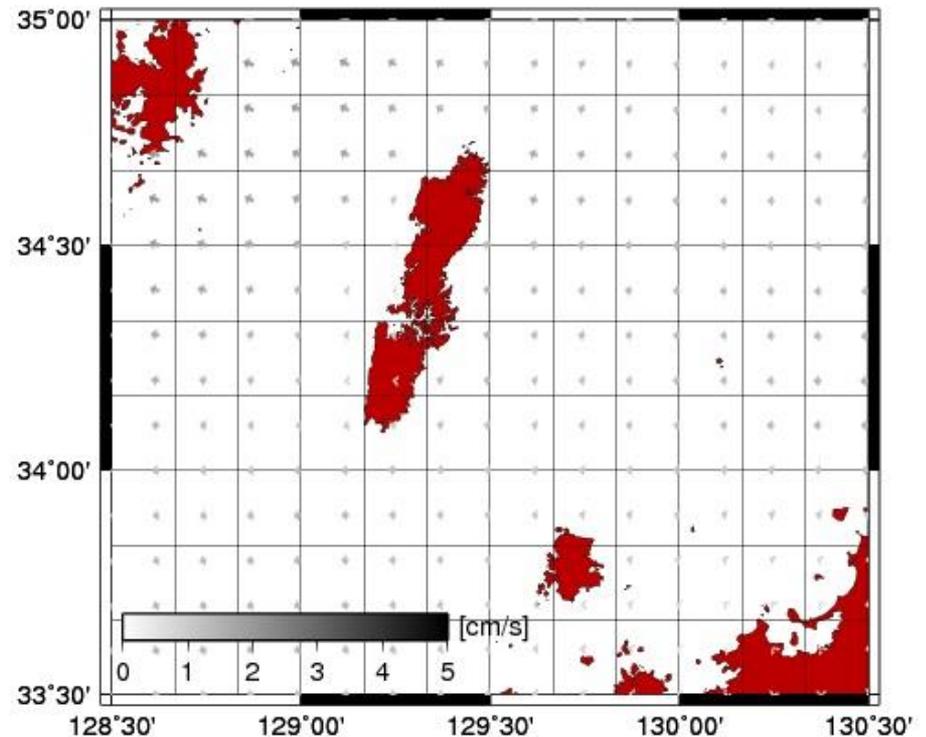
データ期間:2003~2016年

全期間の8月の風と吹送流

地衡流推定の妥当性を確かめるために風と吹送流の関係をプロット



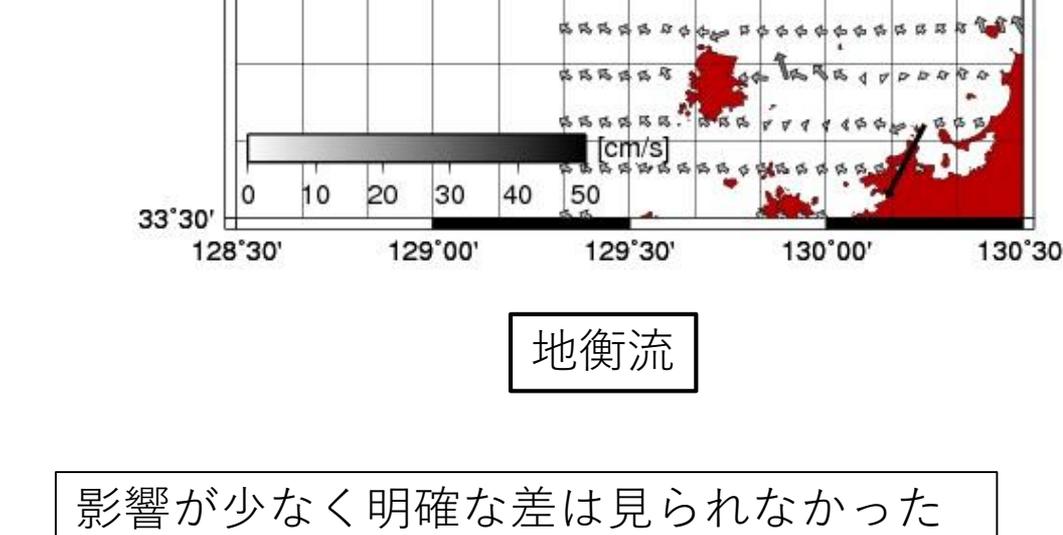
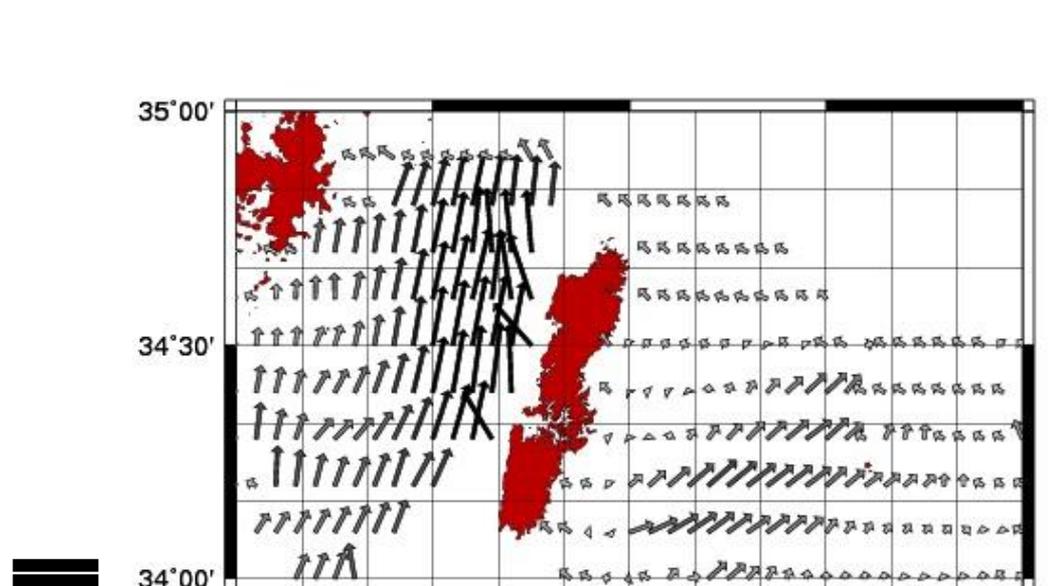
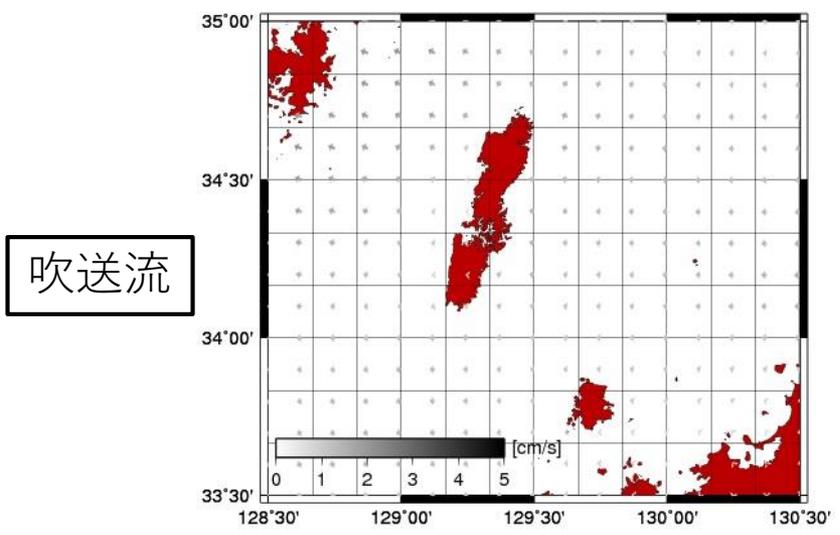
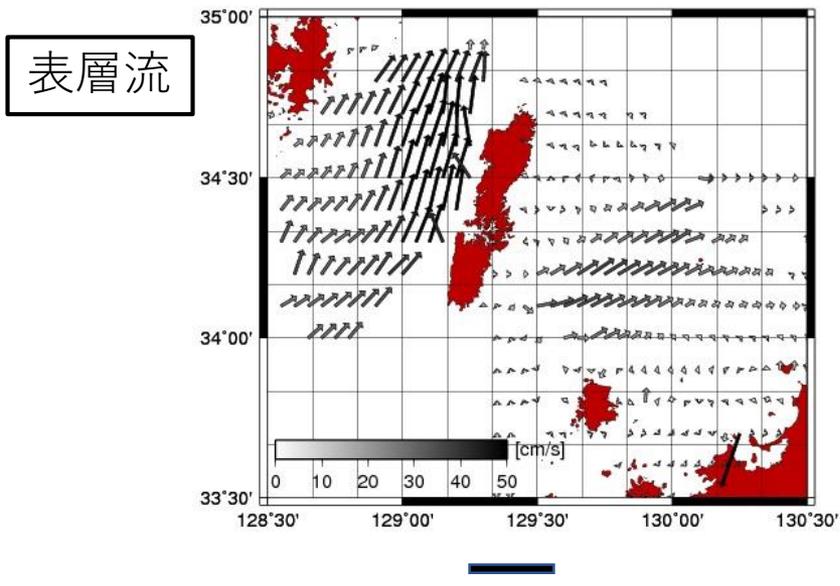
風速



吹送流

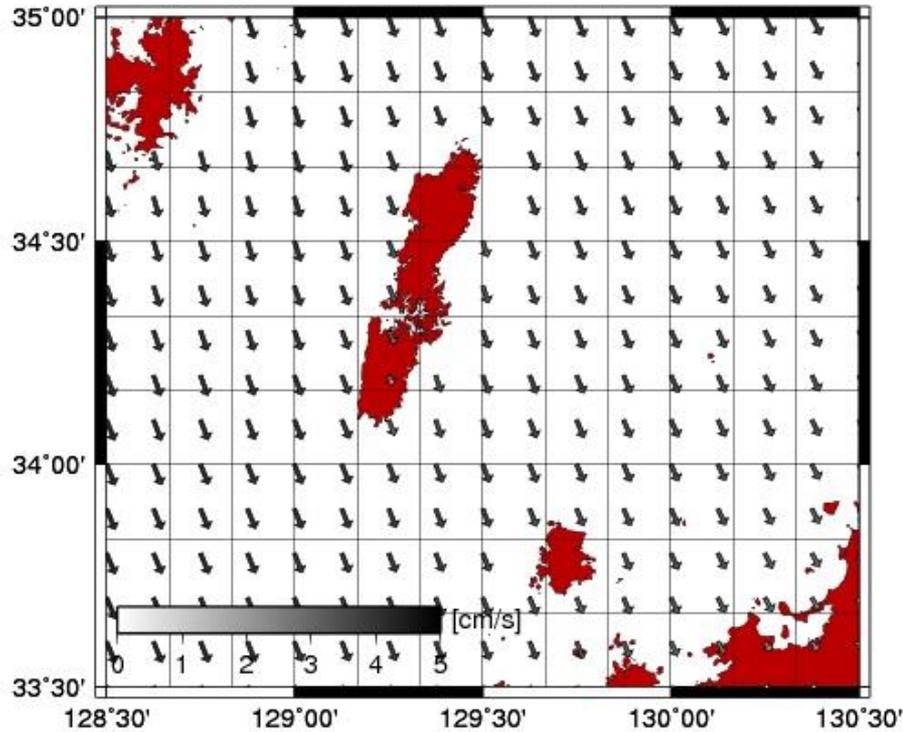
8月は風の影響が少ないことを確認

全期間の8月の表層流と地衡流

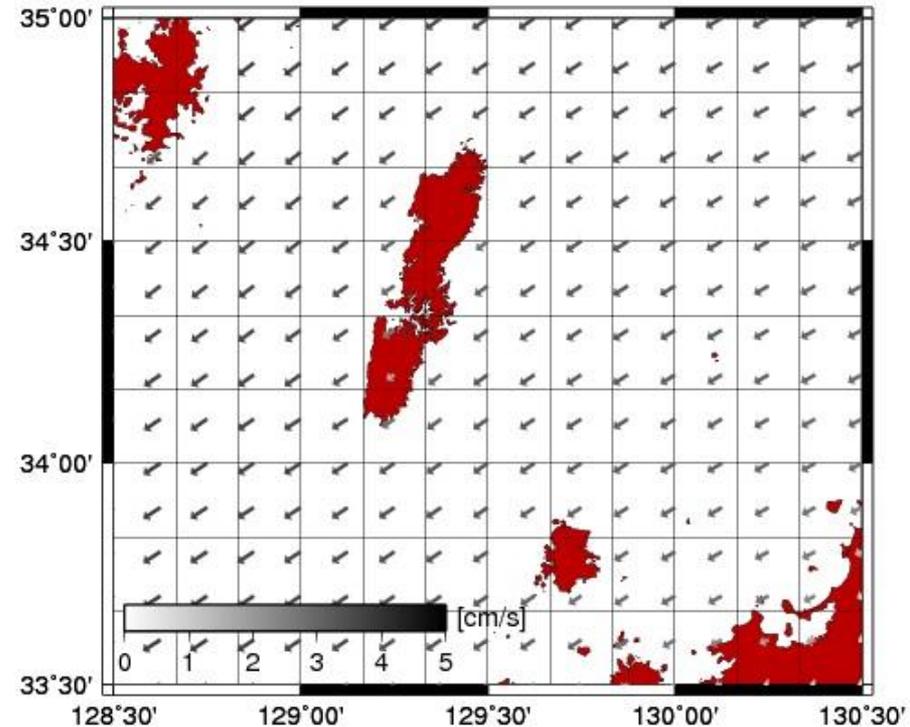


影響が少なく明確な差は見られなかった

全期間の2月の風と吹送流



風速

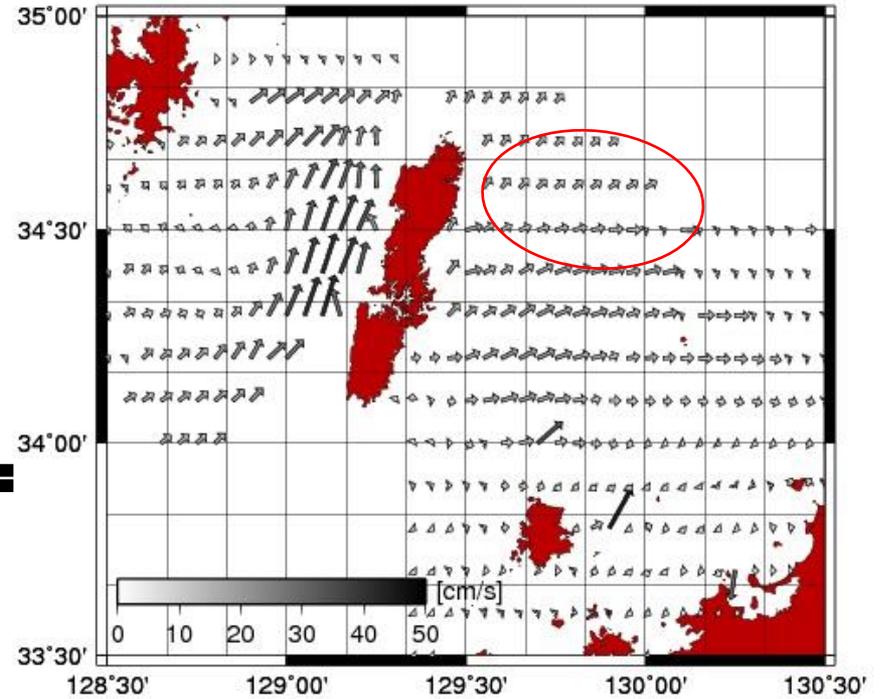
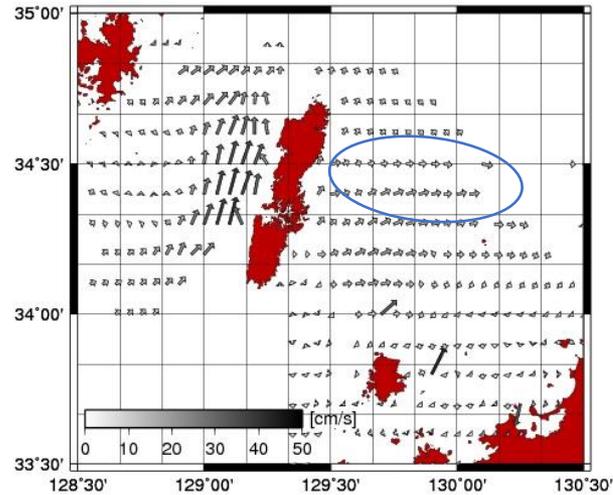


吹送流

2月の風は表層流に影響を与えると考えられる

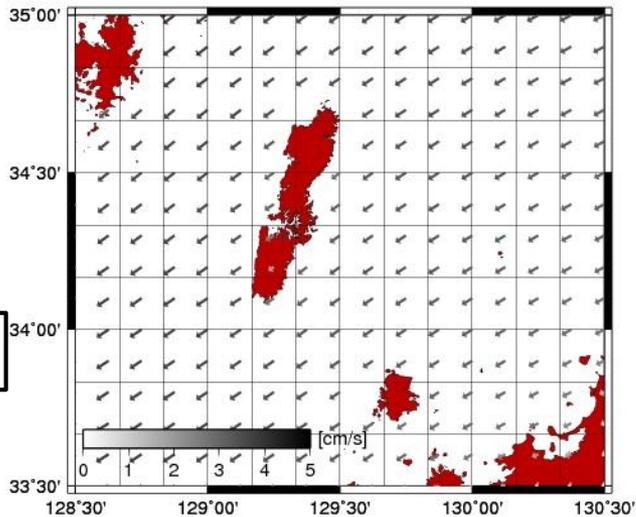
全期間の2月の表層流と地衡流

表層流



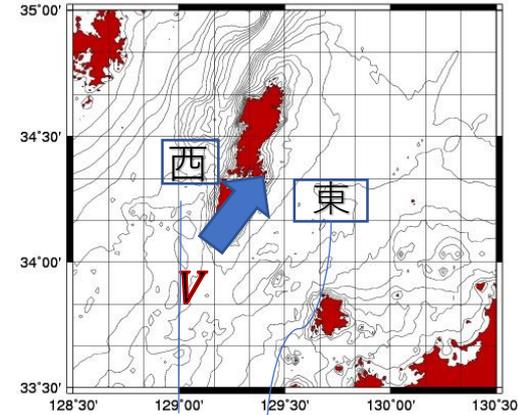
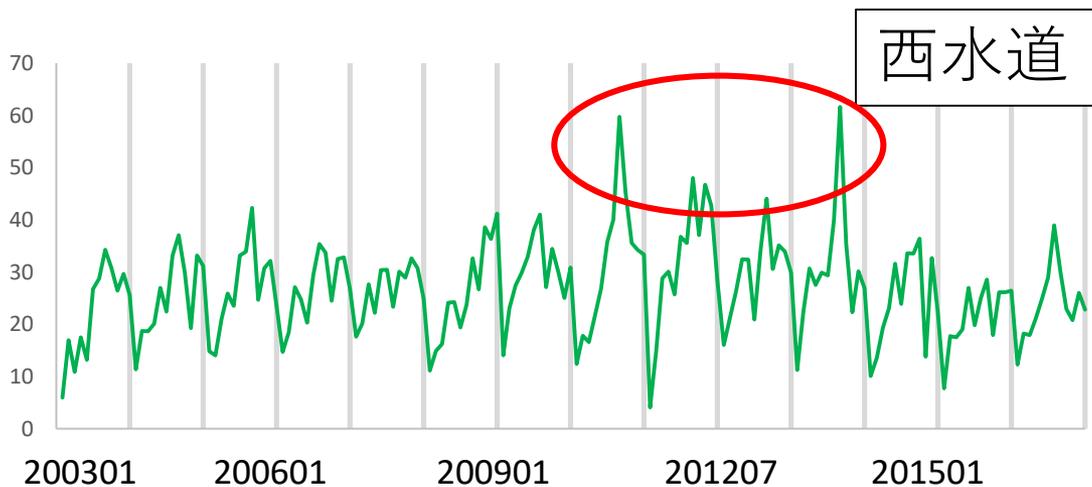
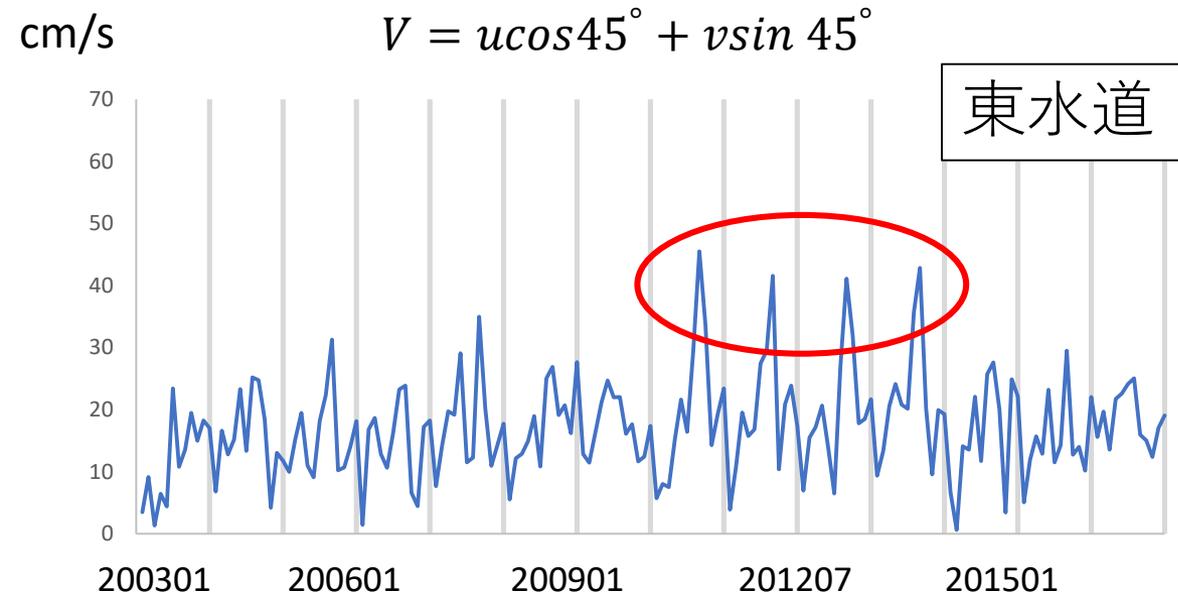
地衡流

吹送流



北東向きの地衡流が強化された

海峡方向の地衡流の変動



この辺りが主流域

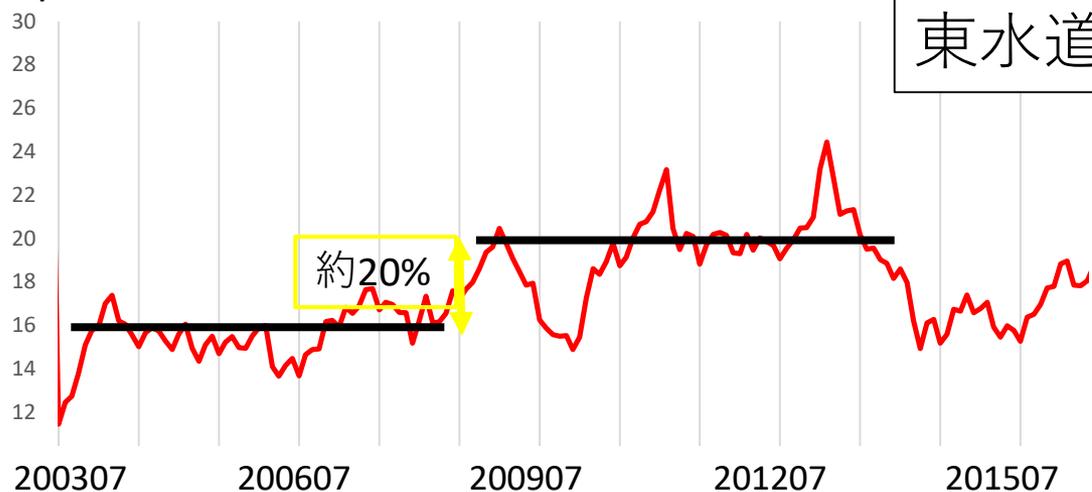
2010年辺りから強い値が頻出している



変動のパターンを明確にするために移動平均をとる

海峡方向の地衡流の変動

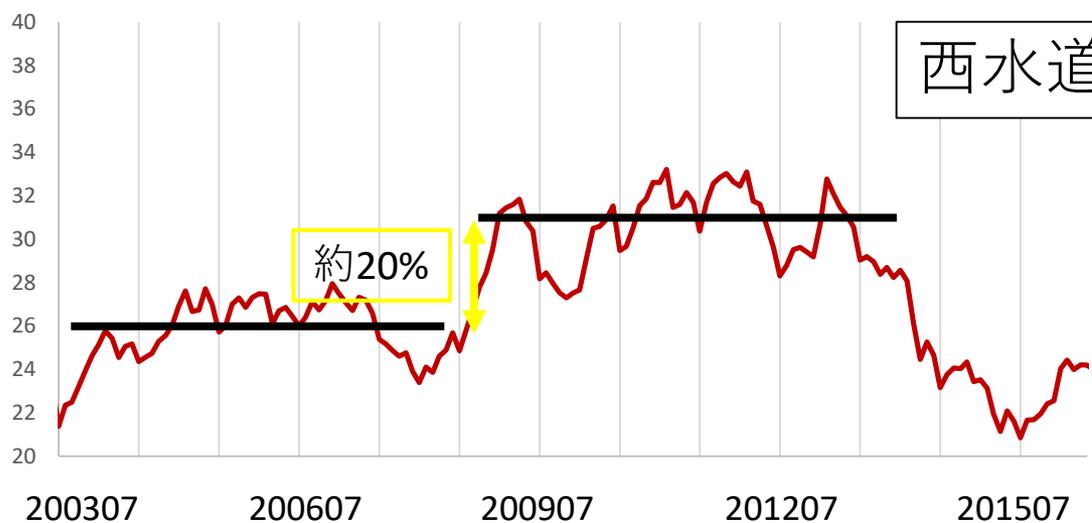
cm/s



東水道

EC

夏	流速	冬	流速
2004~2008	19.04	2004~2008	16.02
2009~2014	15.89	2009~2014	19.76
比	19.83	比	23.34



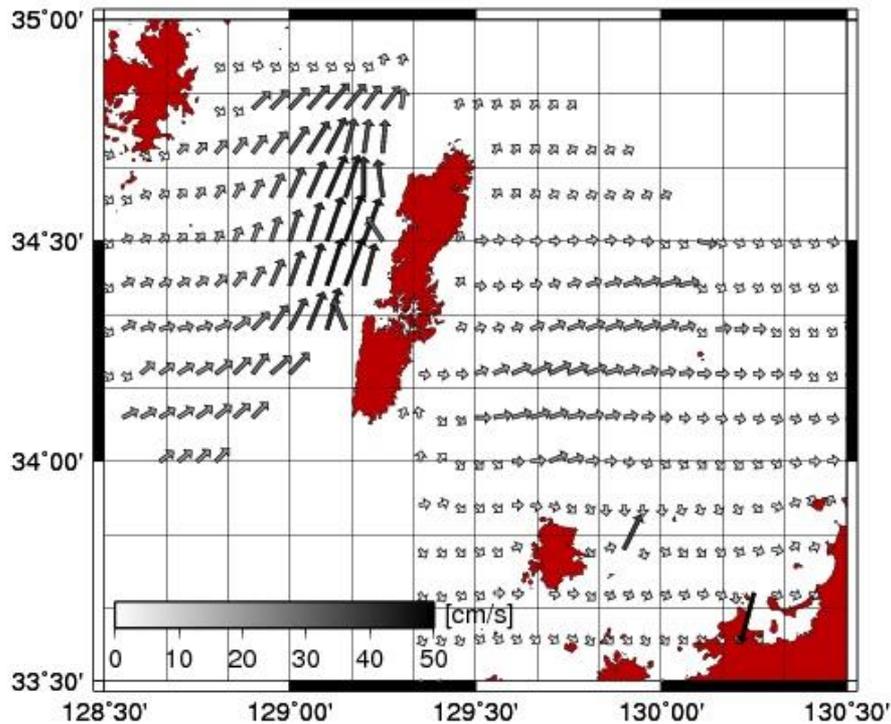
西水道

WC

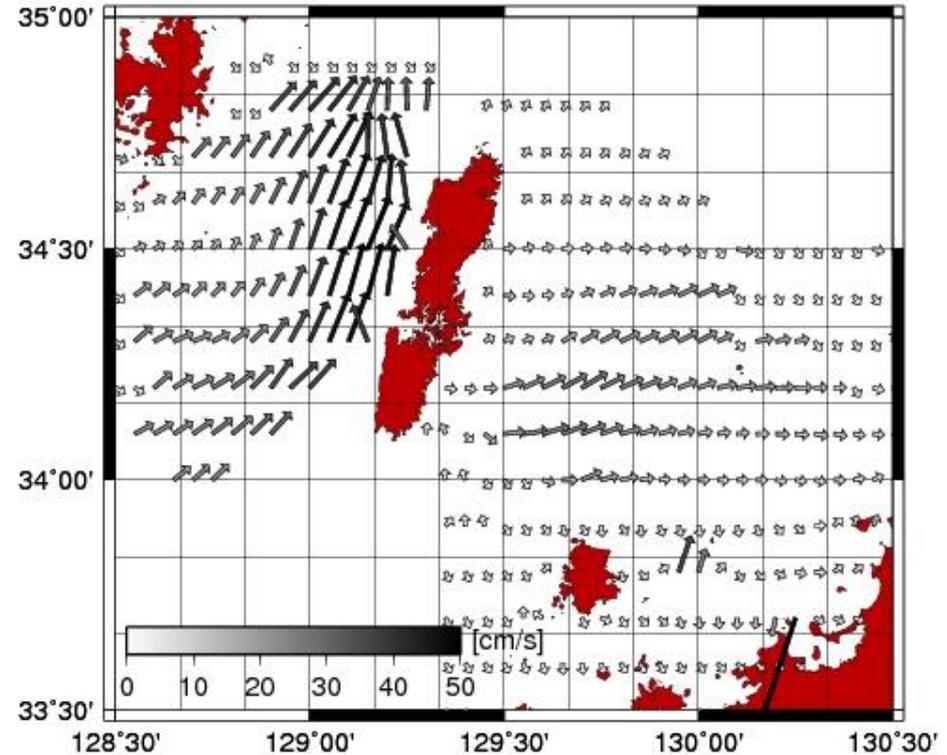
夏	流速	冬	流速
2004~2008	25.12	2004~2008	26.15
2009~2014	29.79	2009~2014	30.58
比	18.59	比	16.94

東西水道共に同位相で2010年を境に約20%程度のレジームシフト的な、有意な速度上昇が見られた

海峡方向の地衡流の変動



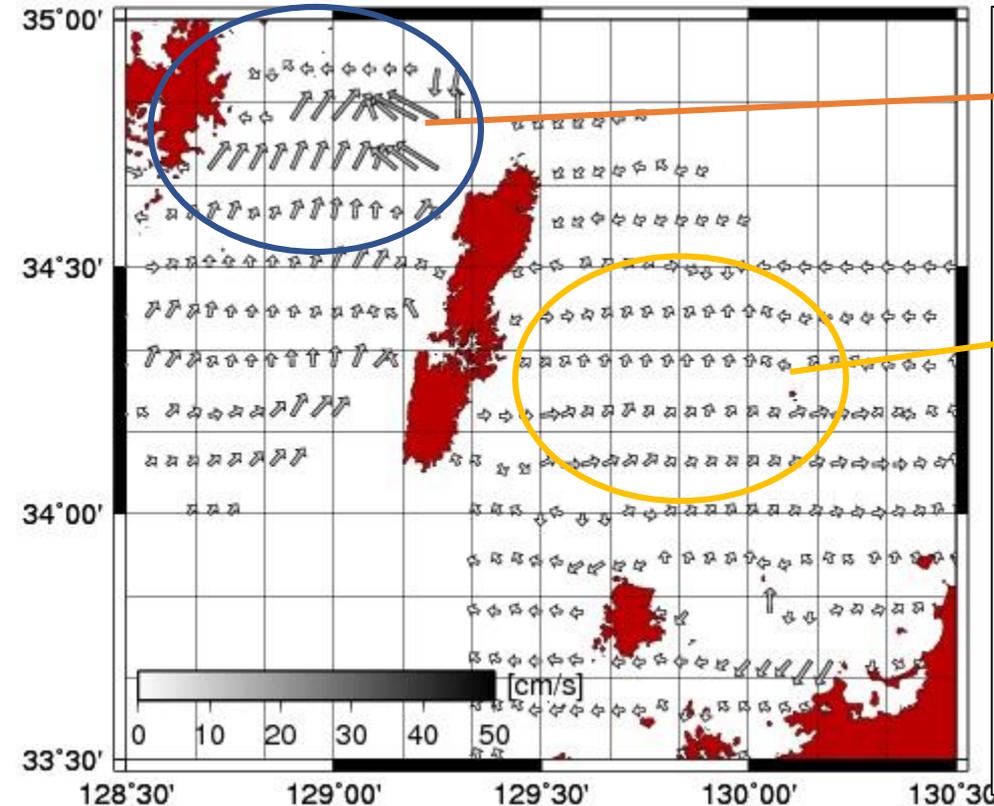
流速が弱い期間
(2003~2008)



流速が強い期間
(2009~2014)

局所的な顕著な差は見られなかった

期間の差



- 西水道の方が流速の差が顕著に見られる
- 東水道は概ね北東向きの差が現れた
- 東西水道共に北東向きの速度の差が見られるので対馬暖流自体が強くなった可能性あると思われる

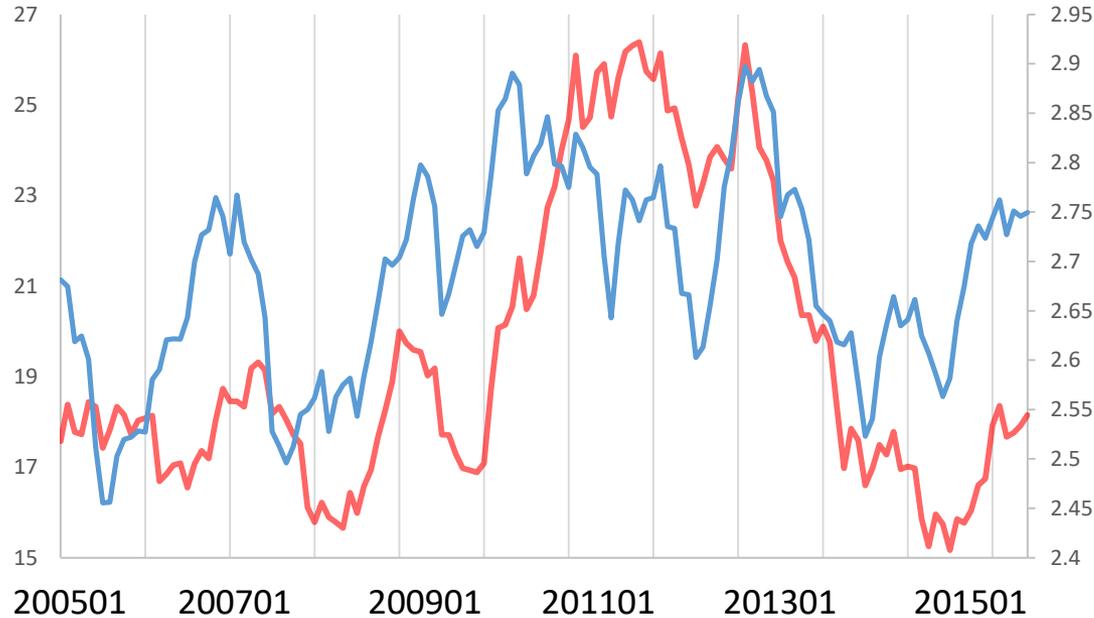
対馬暖流の強さの指標の一つである潮位差と流量を調査

対馬海峡の流量

cm/s

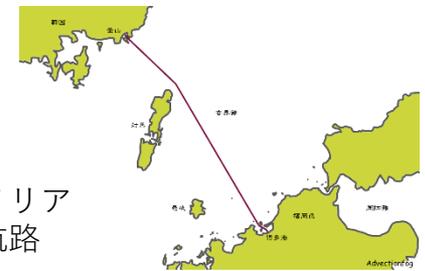
$10^6 m^3/s$

By camera



表：対馬暖流の流量比

(流量比)	全体
2005-2008	2.61
2009-2013	2.76
増分(%)	6.04



カメラの航路

引用：Advectionfog

全体では増加したがレジームシフト的な上昇ではなかった

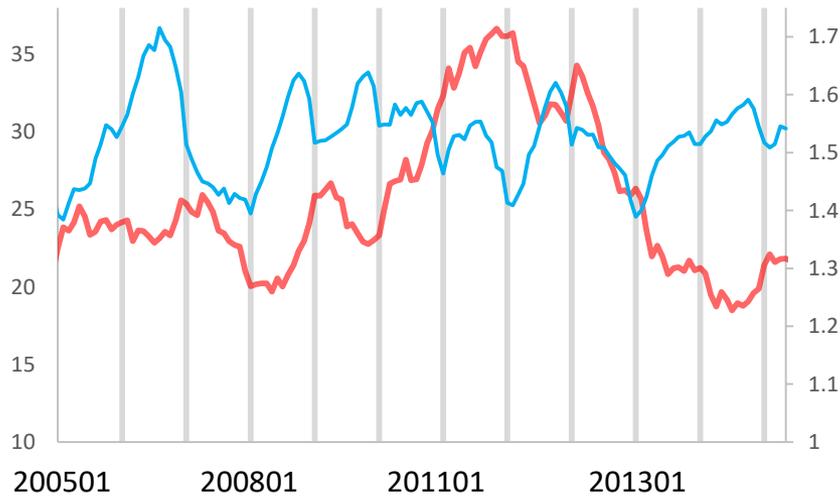


東西水道に分けてそれぞれ調査する

対馬海峡の流量と流速の比較

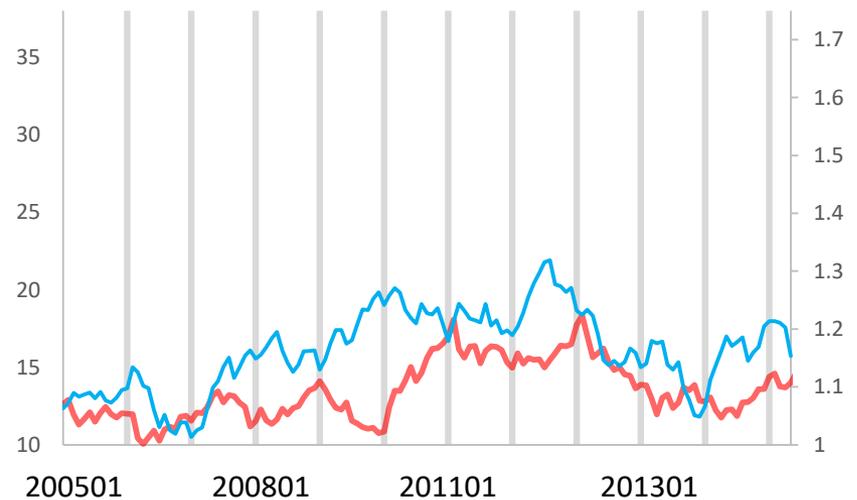
西水道

cm/s $10^6 m^3/s$



東水道

cm/s $10^6 m^3/s$

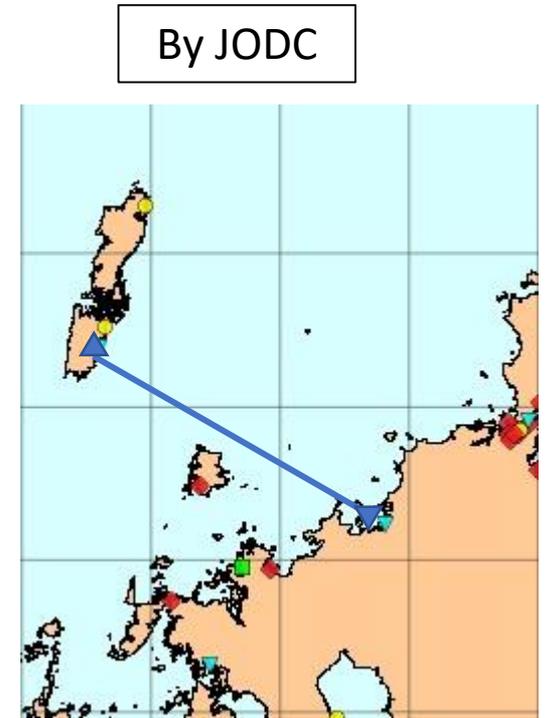
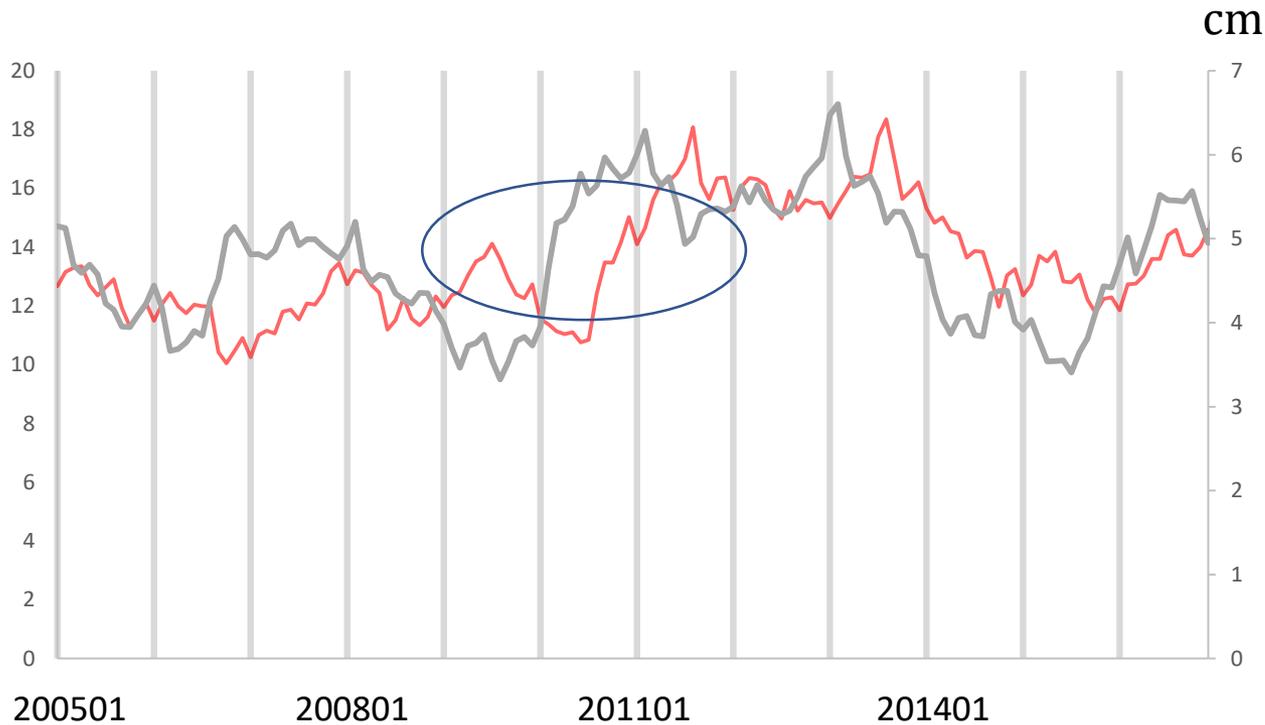


西水道：長期的流量の上昇もなくピークも不一致
東水道：流量は上昇したが緩やかである

流量にはレジームシフト的な上昇は存在しない

表層流速のみの変動の可能性？

潮位差(博多 - 厳原)



(潮位比)	博多	厳原	博多 - 厳原
2005-2008	179.62	175.06	4.56
2009-2013	183.62	179.80	5.13
増分(%)	2.23	2.71	12.63



対馬暖流の流速と同様な長期変動が潮位においても発生している

長期変動

これまでの流速や潮位は対馬海峡周辺においては4~5年周期の長期変動が発生

流量には見られなかった



その原因は

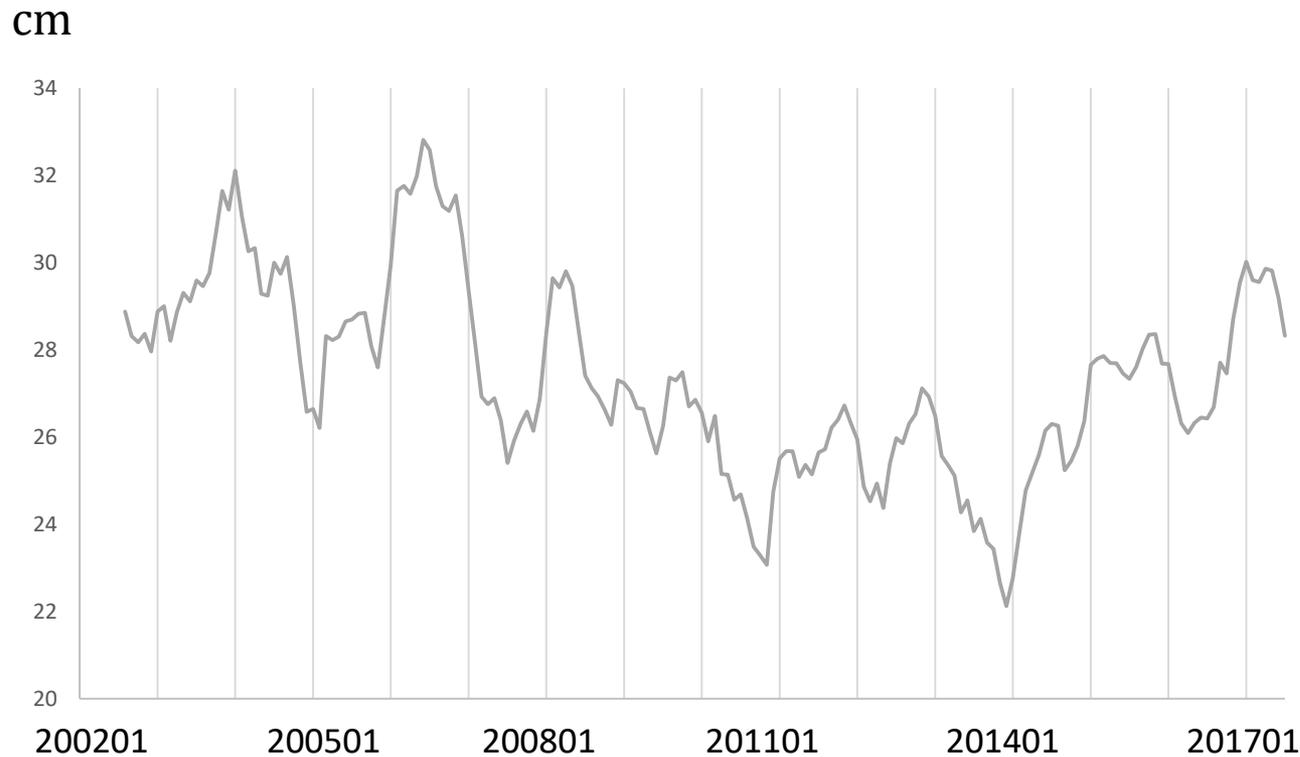


対馬暖流の元である黒潮の潮位等の変動を調査

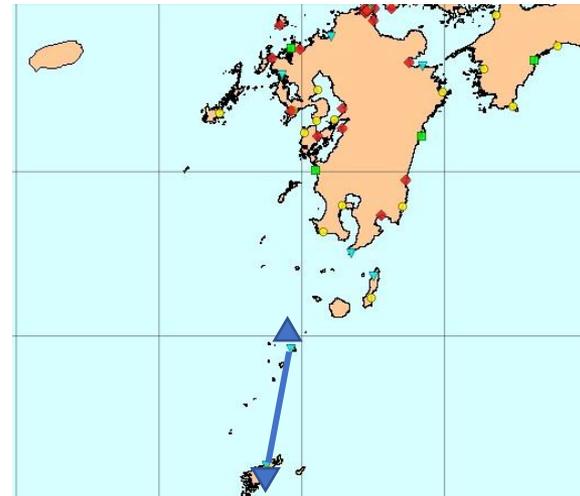


引用：海上保安庁海洋情報部
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KA/N8/sv/teach/kaisyo/stream4.html>

潮位差(名瀬一中の島)



By JODC



年が経るにつれて減少傾向？



対馬海峡の長期変動と同様であるといえない



黒潮とは関係無く対馬暖流が変動している可能性が高い



レーダで見た変動は局所的？

まとめと展望

まとめ

- Yoshikawa et al.(2009)の手法に基づきHFレーダによって測定した表層流から吹送流を取り除き地衡流を推定した。
- 東西水道共に同位相で2009~10年辺りで約20%程度のレジームシフト的な速度上昇が見られたが流量には同様な現象は見られなかった
- 発生した速度上昇は黒潮とは関係がない可能性が高い

展望

- 東西水道共に発生した速度上昇の原因や起源をローカルな現象であるものと考え、その変動のもとを調査する

ご清聴ありがとうございました