

津軽海峡東部海洋短波レーダー観測について

～データの公開と検証の試み～

佐々木建一、渡邊修一、山本秀樹、脇田昌英、田中義幸
(国立研究開発法人海洋研究開発機構むつ研究所)

1. はじめに

国立研究開発法人海洋研究開発機構むつ研究所(以降、むつ研究所)では、地元漁業活動や防災減災に役立つ情報を公開するため、陸域周辺海域の環境変動を観測によって捉え、地球規模の環境変動との関わりを含めて解析する陸域周辺海域海洋環境変動研究を推進している。その観測網の一つとして津軽海峡東部に海洋短波レーダー(以降、HFレーダー)が導入され、2014年4月より準リアルタイム観測を継続的に行っており、この観測についての概要は2014年度の本報告会で紹介した通りである(佐々木ら 2015)。HFレーダーはリモートセンシング技術の一つであり、ほぼリアルタイムで流況が把握できる点で、周辺の漁業者や対象海域を航行する船舶にとっても貴重なデータとなり得る。一方で現場観測との比較によってデータを検証することも重要である。

本稿では、本 HFレーダーデータを公開する目的で2015年度に構築・運用を開始したWEBサイトについて紹介するとともに、流向流速の現場観測データとHFレーダーデータとの比較に着手したのでその概要について紹介する。

2. HFレーダーのデータ公開

むつ研究所のHFレーダーデータを公開するシステムは、「津軽海峡東部海洋レーダーデータサイト(MORSETS = MIO Ocean Radar data Site for the Eastern Tsugaru Strait、ここでMIOは、むつ研究所を表す Mutsu Institute for Oceanography の略)」と命名され、2015年9月17日より運用されて

いる(図1)。地図上に流向流速を矢印の向きと大きさおよび色で記した図で、30分毎に最新の流況が掲載される。また、過去48時間の流況を30分毎に確認することができる。この流況図は、インターネットを使用できるPC、スマートフォンおよび従来型の携帯電話(フィーチャーフォン)から通信料を除いて無償でアクセス可能となっている。PC版とスマートフォン版では、過去48時間の任意の時間帯を指定して連続再生する機能があり、流況の時間変化を容易に確認できる。また、PC版に限るが、研究や教育などの非営利目的の場合は、ユーザ

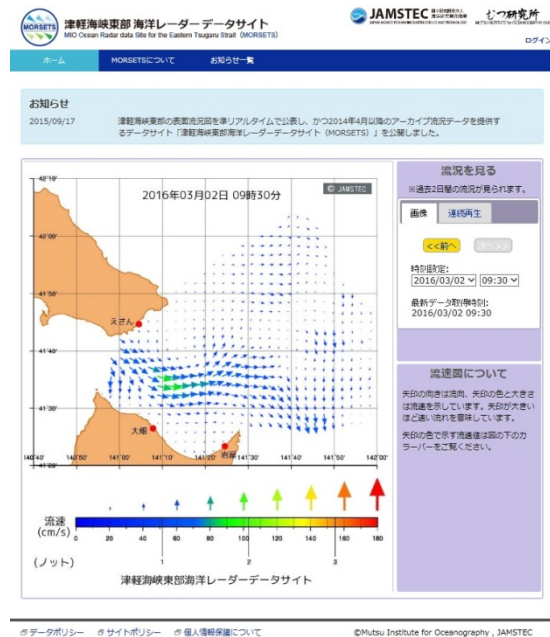


図1. MORSETS(津軽海峡東部海洋レーダーデータサイト)のページの例(PC版)。URLは下記で、PC、スマートフォン、フィーチャーフォン共通となっている。
<http://www.godac.jamstec.go.jp/morsets/j/top/>

一登録およびデータ利用申請をすることにより、HFレーダーによる計測を開始した2014年4月以降のすべての数値データを原則無償でダウンロードすることができる。

3. 流向流速の現場観測との比較

HFレーダーのデータを現場観測データと比較する試みは、国内でもいくつかの手法で行われており(たとえば Nadai et al. 1997; 木下ら 2004; 吉川ら 2004、2005)、船舶搭載の ADCP 観測データや流速計繫留観測データなどが比較のための現場データとして用いられる。本稿では、第二管区海上保安本部から提供して頂いた海上保安庁測量船「昭洋」の ADCP データ(2014年7月6日に津軽海峡を航行)およびむつ研究所が行った電磁流速計の係留観測データ(2015年9月3日-10月1日の約1ヶ月間)と HFレーダーデータとの比較を行った結果について概要を紹介する(図2にそれぞれのデータを取得した点を記載してある)。なお、これらの現場観測データを取得したいずれの期間も、北海道函館市に設置した HFレーダーえさん局が不調で停止していたため、下北半島に設置した大畑局と岩屋局の2局で得られたデータとの比較である。えさん局も含めたデータの検討は今後の課題である。

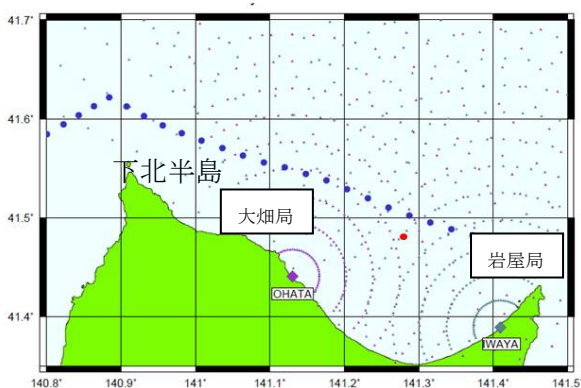


図2. HFレーダーの観測点(各局から同心円状に広がる点)と「昭洋」ADCP観測点(青丸)および電磁流速計繫留観測点(赤丸)。

3-1. 「昭洋」ADCPデータとの比較

「昭洋」の ADCP の機種は CI-35H(古野電気製)で、HFレーダーの計測範囲を北西方向に航走中の測点の最上部の測流データ(約10m深/船底下5m、対水モード)を用いた。これと比較する HFレーダーデータとして、各 ADCP 測流地点に直近の各地方局の視線方向測流データのうち、ADCPデータの取得時刻に最も近い時間帯の値を抽出した。ADCPデータと HFレーダーの視線方向データとを比較するため、ADCPデータを各 HFレーダー地方局データの視線角成分にベクトル分解して比較した(図3)。

津軽海峡に設置された HFレーダーは、概ね1~1.5m深での流速を計測しているのに対し、ADCPは10m深の測流であり、計測している深度には10m程度の差があるが、大畑局、岩屋局いずれの視線方向流速データも ADCP で得られた流速と時間変動パターン(昭洋の航走に沿った空間変動パターン)と比較的良く一致した(図3aとb)。細かく見ていくと、岩屋局のデータと ADCP データの比較(図3a)では、グラフの両端部分でパターンの不一致が見られる。この原因は定かではないが、これらのデータが得られた場所は HFレーダーによる計測範囲の縁に位置しており、HFレーダーの計測誤差が大きい可能性もある。ADCPデータに対する HFレーダーデータの XYプロット(図3c)でも、データ数が少なくばらつき気味ではあるが、岩屋局由来の数点の外れ値(図中の赤点線の丸で囲った点)を除けば、いずれの局のデータも ADCP による測流値と概ね1:1の関係となっている。

一方、現在解析中のため図表を掲載できないが、北海道大学水産学部附属練習船うしお丸による ADCP データとはそれほど良い一致が見られないようである。HFレーダー側の問題なのかうしお丸の ADCP データの問題なのかは不明である。今後その解析を進め、不一致についての原因を検討することとしたい。

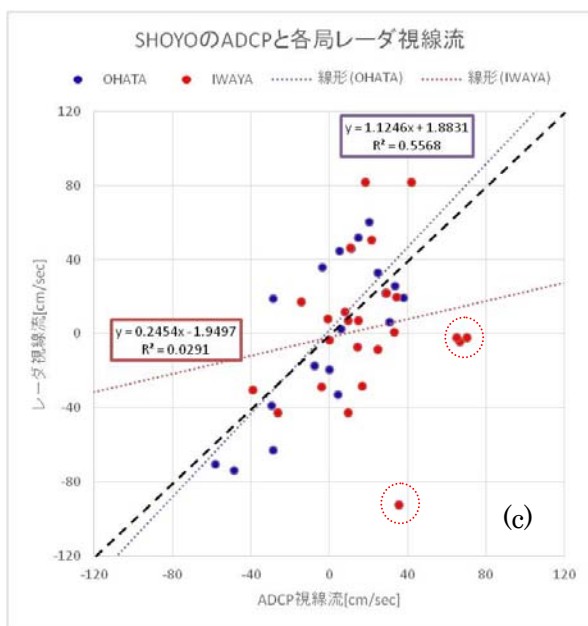
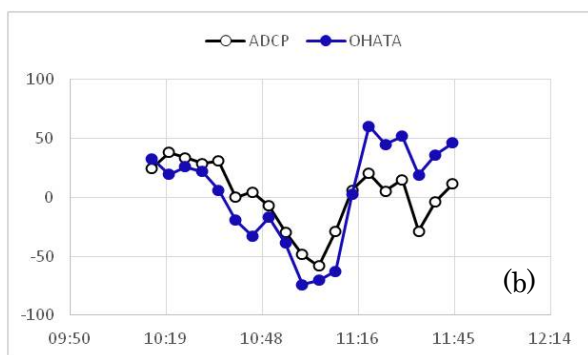
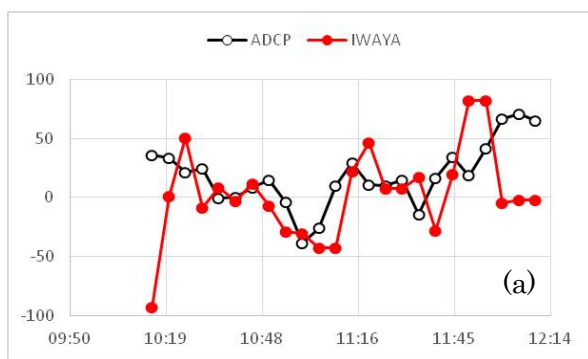


図3. 海洋短波レーダー岩屋局および大畑局の視線方向データと海上保安庁測量船昭洋によるADCPデータ(比較対象のHFレーダー地方局の視線角にベクトル分解)との比較。(a) :岩屋局データとADCPデータの時間(空間)変動パターン、(b) :大畑局データとADCP、(c) :ADCPに対するHFレーダーデータのXYプロット。太い点線が1:1を示す。

3-2. 電磁流速計繫留観測との比較

繫留系を設置した地点(図2の赤丸)の水深は約220mである。繫留系の構成を図4に示す。トップブイは常に海面に出た状態で、海面下2m、5m、および15mに電磁流速計(JFEアドバンテック製AEM-USB)と小型CTD(JFEアドバンテック製ACTD-CMP)を設置して流向流速とCTDデータを取得した。先にも述べたがHFレーダーは概ね1-1.5m深の流速を計測しているため、比較には最上部に設置した海面下2mの流向流速計によるデータを利用した。また、バッテリー容量と観測期間(約1ヶ月)との兼ね合いで、流向流速計による計測は10分間隔とした。HFレーダーによる計測は、前後37.5分間(合計75分間)の平均値となっているので、流向流速データを前後40分間(合計80分間)に得られた9データで平均して比較することとした。

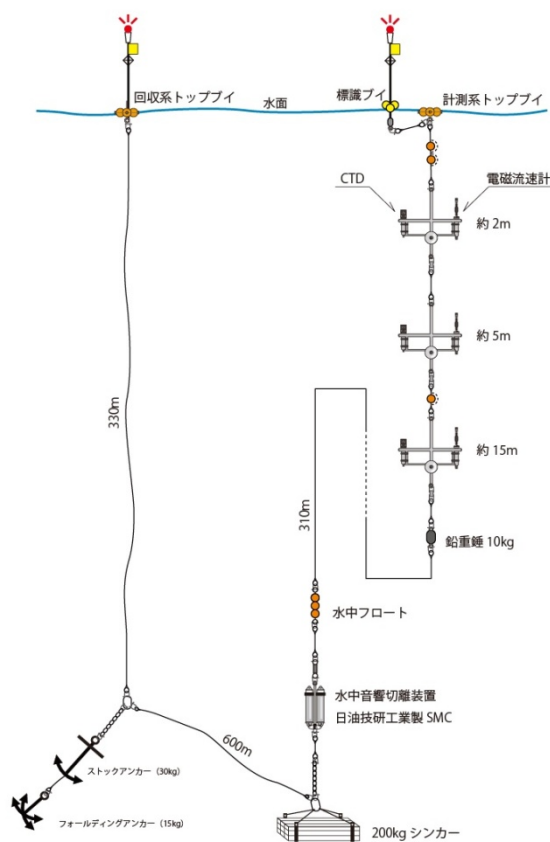


図4. 津軽海峡に設置した繫留系の構成図

電磁流速計繫留観測データ(繫留点:北緯41.477度、東経141.287度)とその点に最も近いHFレーダーによる表面流計測データ(計測点:北緯41.485度、東経141.291度)との比較を図5に示す。南北流成分(V成分)の1ヶ月間の時系列変動を重ねると、変動パターンも強度も非常に良い一致を示している(図5a)。電磁流速計データに対するHFレーダーデータのXYプロットでも、概ね1:1の直線の周囲に点が分布しており、両計測値がよく合っていることがわかる(図5b)。一方で東西流(U成分)の時系列変動を見ると、変動パターンや周期は一致しているが、電磁流速計による計測値の変動幅に比べてHFレーダーデータのそれが小さい(図5c)。両データのXYプロットでも1:1の直線から外れてHFレーダーデータの絶対値が小さく、

電磁流速計の計測値に比して半分程度の流速となっている(図5d)。数値モデルによる津軽海峡のシミュレーションとの比較でもHFレーダーの流速が過小評価ではないかとの指摘もあり(石川ら2014)、HFレーダー側に何らかの原因があるかもしれない。

3-3. データ品質評価・向上への今後の方針

HFレーダーによる流向流速データは、複数の地方局から得られる視線方向流速をベクトル合成することによって得られる。地方局それぞれが正常に稼働し、定量的に信頼できる視線方向流速を取得できているか、また、ベクトル合成の手法や設定が適切かなど、検討事項は多い。

視線方向流速については、各局のアンテナパ

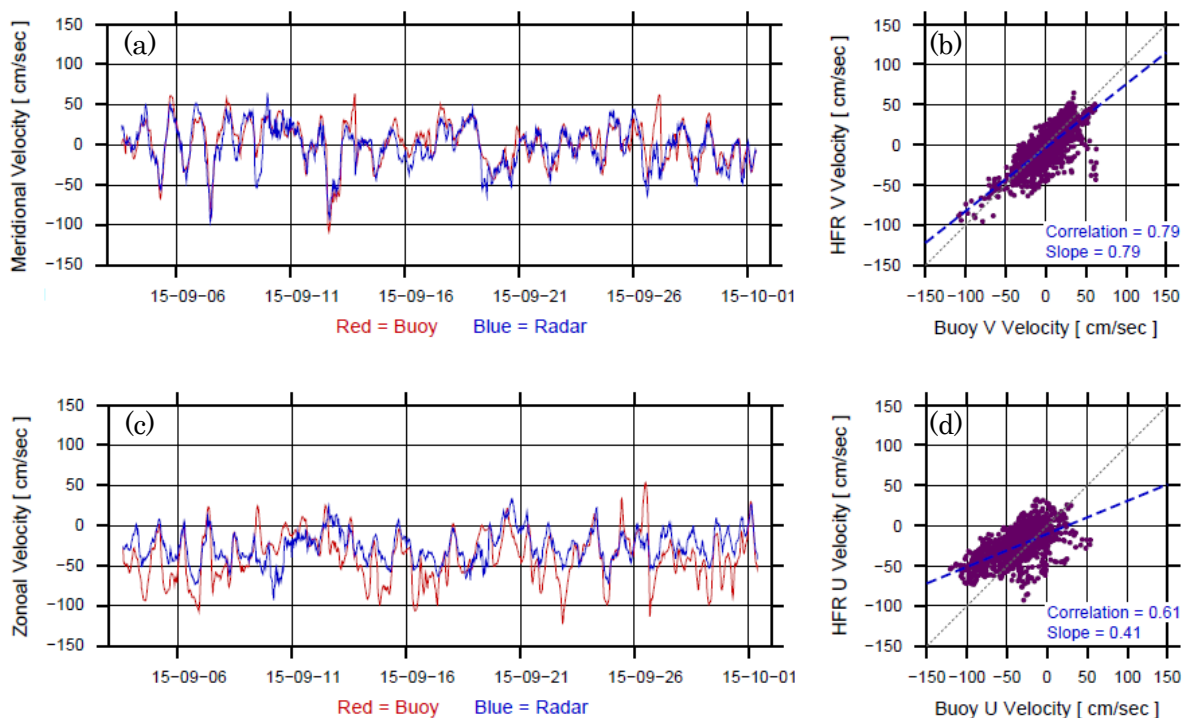


図5. 2015年9月3日から10月1日の約1ヶ月間繫留した電磁流向流速計による観測と同期間にHFレーダー観測によって得られた北緯41.48度・東経141.29度付近の流向流速の比較。Aは南北流成分(V)の時系列変化で、赤線と青線はそれぞれ電磁流向流速計とHFレーダーで得られたデータである。Bは南北成分の電磁流速計データに対するHFレーダーデータのプロットで、薄い点線は1:1、太い線は回帰直線で切片と傾きをグラフ内に記載してある。Cは東西成分データのグラフでAと同じ様式のグラフ。Dは東西成分データでBと同じ様式で作成したもの。

ターンがそのデータの質を大きく左右する。アンテナから発射される電波強度の空間分布のようなものであり、各地方局周囲の状況(地形や建造物など)によって変化する。また、地方局(アンテナ)の周囲を小型船舶で航行して計測されるため、計測時の天候や海況などの状況によっても影響を受ける可能性がある。本稿に掲載したHFレーダーデータは、本システムを導入した2014年春に計測したアンテナパターンを基に計算したものである。そのアンテナパターンが正しく、これまで不変であるという仮定の下で計算していることになる。当然、不適切なアンテナパターンが現場観測との不一致を導いている可能性は否定できない。これを明らかにするため、2016年2月に全局のアンテナパターンを再計測するとともに、船舶自動識別装置(AIS)情報とHFレーダーに映る船舶の陰影からアンテナパターンの自動補正を行うシステムも導入した。データ品質の評価と向上に向け、この新しいアンテナパターンを適用した再計算結果と現場観測データとの比較・検討を今後行う予定である。

また、今回は繫留観測とHFレーダーで得た合成流との比較を中心に紹介したが、合成前の視線流速と比較することによって、地方局それぞれのデータ品質を評価することもできる。その試みはすでに一部行われており、大畑局のデータに若干の不備がある可能性も浮上している。これは上述のアンテナパターンの検討によってさらに浮き彫りになってくるかもしれない。

さらに視線方向流速からのベクトル合成手法についての検討も必要であろう。現在は、メーカー標準のソフトウェアにより自動的にベクトル合成計算がなされ、それを公開している。図5に掲載したHFレーダーデータも同様である。ベクトル合成は、対象とする観測点を中心とした一定の半径に入る一つの地方局のデータを内挿して得た視線方向流速ベクトルと、同じ範囲内で同様の処理によって得た他の地方局の視線方向流速ベクトルとを合成し

て二次元の流向流速を算出するという手順で行われている。ここで特に筆者が注目しているのは、各々の地方局データを内挿する方法である。具体的な内挿法については取扱説明書などでは明かされておらず、現在メーカーに問い合わせ中である。また、内挿処理のパラメータとして、現在はメーカー推奨の半径6km範囲の内挿を採用している。津軽海峡の南北の幅は、広い場所でも40km程度であり、その中に津軽暖流の流軸や渦構造などがあるため、半径6kmのデータを用いた内挿ではデータ抽出範囲が広すぎて、この海域の特性に合っていないのかもしれない。ただ、データ抽出の半径をいたずらに小さくすると、データ数の不足によりスパイク的な外れ値などが多発するようなことも起き得るだろう。ベクトル合成計算のパラメータの検討は重要課題の一つと言える。

4. まとめ

国立研究開発法人海洋研究開発機構むつ研究所では、東部津軽海峡におけるHFレーダーデータに一定の品質があるとして、得られたデータを即時にインターネット上で公開している。これらのデータはすでに周辺の漁業者の間で利用され始めており、また一部の研究機関などへのデータ提供も行われている。

HFレーダーで得られた流向流速データの品質評価を目的として、現場観測データとの比較を試みた。船舶 ADCP データとの比較では、データ数がまだ少ないため十分な解析ができていないわけではないが、変動パターンは概ね一致していた。より定量的な評価のため、約1ヶ月間の電磁流速計繫留観測を行った。まだデータ解析の途上であるが、現時点での概要を纏めると、流れの変動パターンはよく一致しているが、流速の東西成分(U成分)に現場観測とHFレーダー観測との間で不一致が見られ、HFレーダーデータの流速の変動幅が小さめに計測される傾向があった。この要因を探るため

の今後の検討事項としては、各地方局のアンテナパターンの検討、視線方向流速の質の評価、データ内挿法の手法検討やパラメータのチューニングなどが挙げられる。今後の課題として順次検討していく予定である。

このように、むつ研究所では今後もHFレーダーデータの検証を進め、公開データの品質向上に努めることとしている。それには、現場観測データが必要不可欠である。時空間的に密な現場データセットがあれば、データ検証はより進むが、むつ研究所のみでは遂行できる現場観測に限りがある。提供可能なデータをお持ちの方は筆者まで是非ご連絡を頂きたい。

また、残念ながら本稿で議論した現場観測時には、HFレーダーえさん局が停止していた。平成28年3月現在は復旧し、全3局が稼働している。この状態で得られたデータと現場データを比較しなければ真のデータ品質評価とはならないであろう。これを達成するため、平成28年度に再度繫留観測を行う計画があることを申し添えておく。

5. 謝辞

東部津軽海峡HFレーダー観測にあたり、地方局の設置について北海道函館市えさん漁業協同組合、青森県むつ市大畑町漁業協同組合、青森県東通村岩屋漁業協同組合の関係者各位にご理解とご協力を頂いた。データ公開システム(MORSETS)の構築にあたり、海洋研究開発機構地球情報基盤センターの齋藤秀亮グループリーダー代理にはご尽力を頂いた。比較検証用の現場データとして海上保安庁第二管区海上保安本部には測量船昭洋丸のADCPデータを提供して頂いた。また、北海道大学水産学部練習船「うしお丸」の船長並びに乗組員の方々と大畑町漁業協同組合および同組合所属の「第58八王丸」の船長および乗組員の方々のご協力のおかげで電磁流速計繫留観測データを取得することができた。HFレー

ダーデータと現場観測データの比較に際し、データベース化や作図について株式会社マリン・ワーク・ジャパンの橋向高幸氏のご協力を頂いた。ここに深く感謝申し上げる。

6. 参考文献

- 石川洋一、渡邊修一、佐々木建一(2014) 津軽海峡 HF レーダーデータのデータ同化にむけて: レーダーデータの基礎的な解析結果、九州大学応用力学研究所共同研究会「海洋レーダーを用いた海峡監視システムの開発と応用」。
- 木下秀樹、寄高博行、高芝利博、伊藤友孝(2004) 海洋短波レーダーによる海流計測データの検証. 海洋情報部研究報告、40、93-101.
- Nadai, A., H.Kuroiwa, M. Mizutori, S. Sakai (1997) Measurement of ocean Surface current by CRL HF ocean surface radar of the FMCW type. Part 1. Radial current velocity. J. Oceanogr., 53, 325-342.
- 佐々木建一、渡邊修一、脇田昌英、田中義幸、山本秀樹、津幡圭介、吉川泰司(2015) 海洋短波レーダーによる津軽海峡東口表面流観測. 東北海区海洋調査技術連絡会報、64、16-19.
- 吉川裕、増田章、丸林賢次、石橋道芳、奥野章、山下義幸(2004) HF レーダーによる対馬海峡表層海流観測—計測精度の検証—。沿岸海洋研究、41、109-117.
- 吉川裕、増田章、丸林賢次、石橋道芳、奥野章、(2005) 対馬海峡に設置されたHF レーダーの計測精度再検証. 沿岸海洋研究、43、69-75.