

津軽海峡における水温と塩分濃度の鉛直構造

Vertical Structure of the Temperature and Salinity in the Tsugaru Strait

北海道大学大学院

○学生会員

本間 翔希 (Shouki Honma)

北海道大学大学院工学研究院

正会員

猿渡 亜由未 (Ayumi Saruwatari)

函館工業高等専門学校

正会員

宮武 誠 (Makoto Miyatake)

1. はじめに

近年海洋再生可能エネルギーが脚光を浴びている中、日本周辺海域における潮流や海流の流況特性やエネルギー賦存量を現地観測や数値解析により評価する研究が活発化している¹⁾²⁾。新エネルギー・産業総合開発機構(NEDO)が推定した日本周辺海域における潮流に関するエネルギー賦存量³⁾によれば、津軽海峡は他の海域の中でも高い流れエネルギーを有していることが示されている。しかし、上記の検討は津軽海峡全域での流速の代表値を用いた概略値であり、実際に津軽海峡を流れる海流や潮流を利用して発電を行うための適地選定や計画策定を行うためには、津軽海峡を流れる海流・潮流のより詳細な流況特性を把握することが重要である。潮流・海流発電を念頭に置いた津軽海峡の流況特性やエネルギー賦存量の推定に関しては、既に数多くの研究が行われており、例えば、猿渡ら⁴⁾は非静水圧3次元モデルであるMIT General Circulation Model⁷⁾⁸⁾(以下、MITgcmと略す)を用いて、津軽海峡における潮流エネルギーリソースに与える海流の影響を数値解析を主体に考察している。これを受けて本間ら⁵⁾⁶⁾は海峡内の流れエネルギーポテンシャルについて、現地観測並びに数値解析を実施して、流速・流向の四季的な変動特性およびエネルギー賦存量を検討しているものの、風、波、塩分、水温など流動場に対する擾乱の影響が考慮されておらず、季節的に変化する流況特性と気象擾乱の相互作用は評価されていない。

本研究は流動場と水温塩分場に着目し、MITgcmによる津軽海峡の海流、水温、塩分に関する数値計算を行った。また、数値計算結果に加え、海峡内において年間を通じて実施した流況観測結果を勘案することで、季節的な擾乱成分の鉛直構造や変動特性について検討する。

2. 津軽海峡における流況のレビュー

津軽海峡内における流況特性を把握するため、図-1(a)に示す地点において現地観測を実施したが、ここでは流況の概要を説明する。詳細は本間ら(2015)を参照のこと。

観測は、ADCPを用いた多層流速・流向観測であり、サンプリング間隔1秒、測定間隔60分、測定時間20分で測定している。また、観測層数は1m刻みで全20層となっており、海底から最も近い層を下層(海底より3.2m)、平均中央水深付近を中層(海底より12.2m)としており、上層は水面近傍で発生する乱れの影響を考慮し、最上層より1m下の層(海底より21.2m)を定義している。

これまでの検討より、津軽海峡の流れは冬春期と夏秋期の二期構成であることが明らかになっている⁹⁾。冬春期は北西-南東方向へ流軸を有する日周期分潮の潮流に支配的な流れであり、恒常的に南東方向へ向かい流れる恒流と合成することで全層ともに南東方向へ向かう周期的な変動を持つ流れが卓越する流況となっている。また、この期の流れには鉛直構造が殆どみられない。一方、夏秋期では、全層ともに冬春期に比べ潮流が弱まるとともに、水面付近において恒流と潮流の流向が相違することで、両者の流れが必ずしも相殺されなくなり、結果として冬春期のような単純な一方向往復流ではなく、より複雑な流れが形成される。

3. MITgcmによる津軽海峡の流況解析

(1) 計算方法および条件

津軽海峡の流れは、年間を通じて潮流・恒流を主成分とする流れであるものの、水面方向へ向かって潮流・恒流以外の流れの変動成分が増大する傾向がみられており、特に夏秋期において顕著にその傾向が顕著に現れている。この変動成分は、上層と下層の流速差が小さく、流速場の時系列変動パターンがよく一致する冬春期より、流れの鉛直構造を有する夏秋期で台頭していることから、密度成層の強化に伴う内部潮汐が、季節的な変動成分を構成する一つの要因である可能性がある。そこで、津軽海峡東部海域における季節性の乱れ成分を解明するため、3次元流れモデルMITgcmを用いて塩分・水温の再現計算を行った。

表-1に示す計算条件のもと、図-1(a)および(b)、(c)の領域において、それぞれグリッド解像度を9.25km、1.85km、0.6kmとして計算している。境界条件および初期条件として、海洋研究開発機構(JAMSTEC)が短期気候変動応用予測研究プログラムの中で計算した再解析データFRA-JCOPE2による海流流速・塩分濃度、水温を与え、気圧に際してはEuropean Center for Medium-Range Weather Forecastsが提供する再解析データERA-

表-1 各計算領域における計算条件

領域	計算領域サイズ [km × km]	計算グリッド数	時間ステップ
1	2775 × 1665	301×181×100	30 秒
2	555 × 333		10 秒
3	111 × 66.6		5 秒

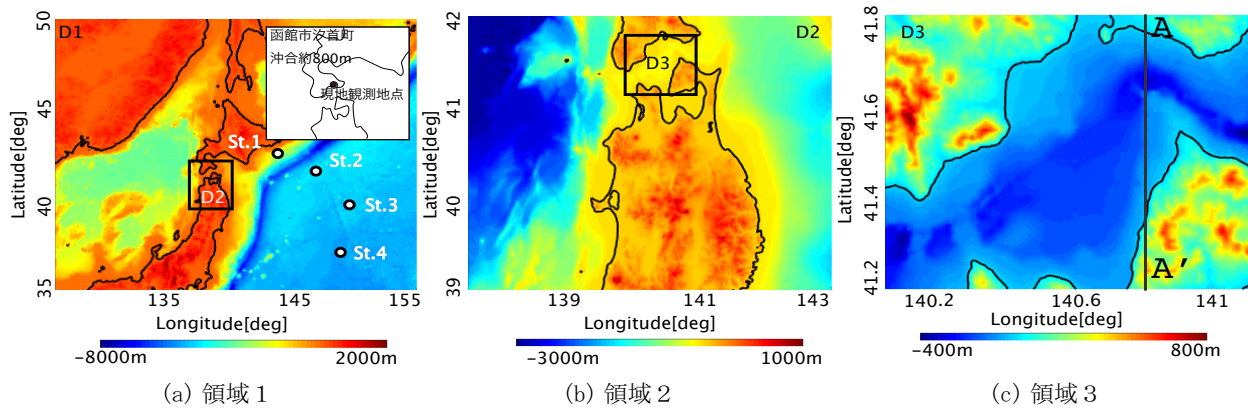


図-1 本計算で用いた計算領域.

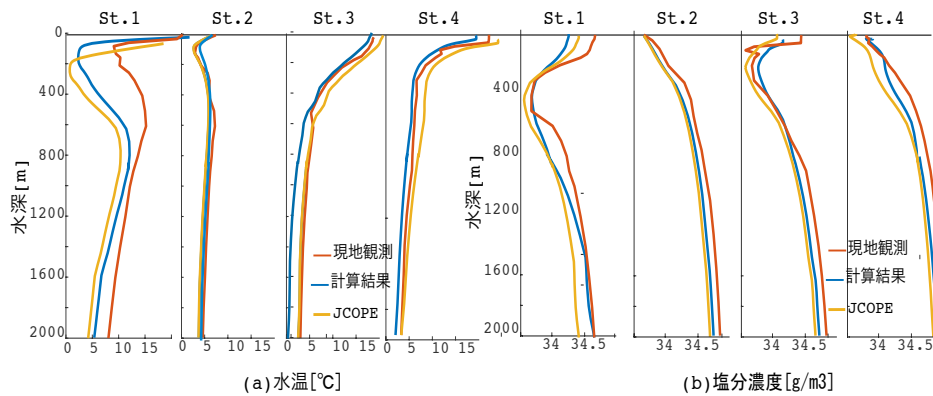


図-2 現地観測結果と再現計算結果との比較（観測地点は図-1(a)を参照）

Interiumを使用した。計算期間は、現地観測を行った2013年中で気温が高く密度成層の形成が期待できる7月～8月、海面冷却に伴う鉛直混合が発生しやすい11月～12月を対象としている。

(2) 計算結果の検証

図-2は、図-1(a)中において○で示す地点で実施された気象庁の海洋気象観測船による温度および塩分の実測値と、再現計算結果の比較を示す。観測データはそれぞれ2013年5月15日、17日、19日、21日に取得されたものである。再現計算は、観測値を逸脱するときもあるものの、実測値を概ね良好に再現している。同じ図には、JCOPE再解析データの水温と塩分の鉛直プロファイルを合わせてプロットしている。本計算では初期条件及び境界条件としてJCOPEのデータを用いており、この入力条件が観測結果から外れていることがプロファイルの逸脱の原因となっている。

(3) 津軽海峡における密度成層の鉛直構造

図-3, 4は、領域3のA-A'断面における水温と塩分濃度である。7月から8月にかけて浅海域において海水面が加熱されることによって成層化した、夏期の典型的な温度、塩分のプロファイルが形成された。気温の上昇する8月の後半にかけて成層が強化されることで、内部潮汐と考えられる成層界面の振動が確認された。一方、11月は気温の低下に伴う海面冷却のため鉛直混合が進行し、水温、塩分ともに水深方向へ一様な分布に近づいていく冬期の典型的なプロファイル

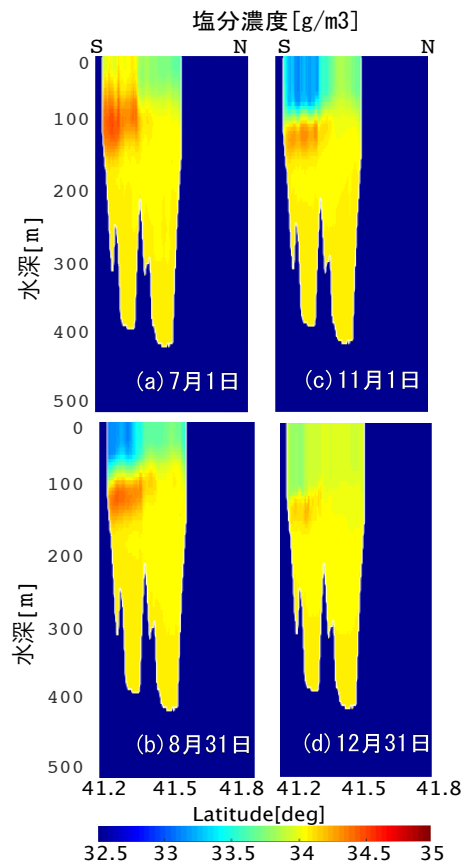


図-3 夏期、冬期における塩分濃度の断面分布

が確認できる。また、12月末においては、水温と塩分は鉛直方向に更に均一化され、特に著者らが現地観測を行ってきた海峡北側においては、ほぼ鉛直方向に一樣な分布となった。結果として冬期においては密度界面の振動は確認されず海峡内には潮流と海流のみにより駆動される流れ場が形成されていると推察される。

図-5では、夏期において温度勾配が最も大きくなる面をプロットしたものである。密度界面の空間的な振動がここからも確認できる。

参考文献

- 1) 井内国光・中村孝幸・安井孝・二宮一成：来島海 周辺海域における潮流エネルギー賦存量の推定，土木会論文集 B3(海洋開発),vol.67,No.2,pp.I_1901-I_1905, 2011.
- 2) 小牧祐幸・山城徹・城本一義・仁科文子・中村啓彦・広瀬直毅：海流発電適地選定のためのトカラ海峡周辺海域における黒潮潮差，土木学会論文集 B3(海洋開発),vol.69,No.2,pp.I_109-I_113, 2013.
- 3) 猿渡亜由未・田島悠・米子佳広・齊藤樹：津軽海峡の潮流エネルギーリソースに海流が与える影響，土木学会論文集 B2(海岸工学),vol.69,No.2,pp.I_1296-I_1300, 2013.
- 4) 猿渡亜由未・田島悠：潮流エネルギーの平面及び鉛直分布の特徴，土木学会論文集 B2(海岸工学),vol.68,No.2,pp.I_1271-I_1275, 2012.
- 5) 本間翔希・宮武誠・猿渡亜由未：潮流・海流発電に向けた津軽海峡の流況特性及びエネルギー賦存量に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学),vol.70,No.2,pp.I_1291-I_1295, 2014.
- 6) 本間翔希・宮武誠・猿渡亜由未・広田知也：津軽海峡の潮流・海流発電に向けた流況特性及びエネルギー賦存量の四季的変動特性，土木学会論文集 B2(海岸工学),vol.70,No.2,pp.I_1291-I_1295, 2014.
- 7) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成 22 年度成果報告書 風力等自然エネルギー技術研究開発 / 洋上風力発電等技術研究開発 / 海洋エネルギーポテンシャル把握に関する業務，pp.23-26, 2010.
- 8) Marshall,J.A.Adcroft,C.Hill,L.Perelman and C.Heisy:A finite-volume,incompressible Navier Stokes model for studies of the oceanon parallel computers, *J.Geophys.Res.Oceans*,102,C3,pp.5753-575, 1997.
- 9) Marshall,J.,C.,Hill,L.Perelman and A.Adcroft:Hydrostatic quasi-hydrostatic,and nonhydrostatic ocean modeling, *J.Geophys.Res.Oceans*,102,C3,pp.5733-5752, 1997.

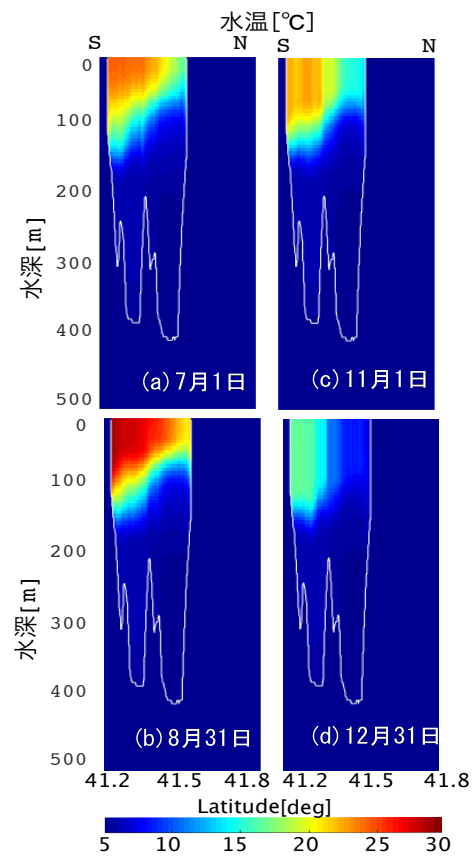


図-4 夏期，冬期における水温の断面分布

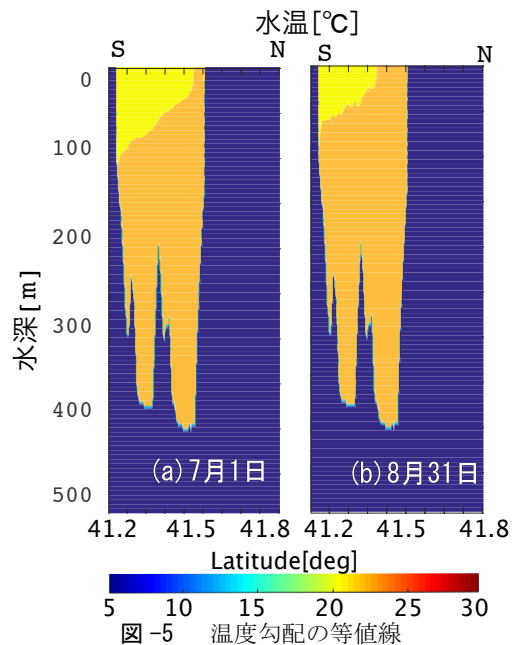


図-5 温度勾配の等値線