

タービンによる後流の津軽海峡流れへの広域影響評価

Large-Scale Evaluation of Turbine Wake Developed in the Tsugaru Strait

北海道大学工学院 ○学生会員 広田知也(Tomoya Hirota)
 北海道大学工学研究院 正員 猿渡亜由未(Ayumi Saruwatari)
 函館工業高等専門学校 正員 宮武誠(Makoto Miyatake)

1. はじめに

環境に優しいグリーンなエネルギー源として潮流や海流、波浪等の海洋再生可能エネルギーを利用して発電を行う為の研究、開発が進められている。中でも潮流発電はエネルギーポテンシャルの把握と将来予測が比較的容易な為、実用化に近い所まで研究が進んでいる装置やサイトが存在する。例えば北アイルランドの Sea Gen やフランスの Tidal Energy 社による潮流発電装置等が有名である。我国でも津軽海峡や関門海峡を始めとし各地で現地実験や調査が行われている。北海道函館沖においても津軽海峡を流れる潮流と海流を利用して発電を行う事が検討されている。

潮流タービンを設置すると流れのエネルギーがタービンの回転エネルギーへと変換されると共にその背後に後流が発生し、周囲の物理的環境が変化する。風車や水車の後流による流れ場の変化について調査した既往研究は数多くあるが、数値計算的手法を取るものの場合タービンブレードを十分に解像する計算条件で後流の構造を詳細に調べるものから、タービンの影響をマクロにモデル化して現地スケールの影響評価に利用するものまでである。

著者らはマクロモデル的手法を用いて潮流デバイスを設置した場合の流れ場への物理的影響を調べる為の方法を提案し、津軽海峡に設置されたタービンに潮流が作用した場合の影響を調べたが、本海峡内の流れは潮流だけでなく海流も共存している為その影響を考慮する必要がある。そこで本研究では潮流海流合成流下にタービンを設置したことによる海峡内全域への影響をマクロに評価する事を目的としている。

2. 計算方法

2-1 海洋流れモデル

本研究ではマサチューセッツ工科大学によって開発された非静力学三次元流れモデル、MIT General Circulation Model (MITgcm, e.g. Marshall et al., 1997a, 1997b) を用いて津軽海峡内の流れを計算した。本モデルは圧縮性流体の Navier-Stokes 式を有限体積法により解くものであり、外力として重力、粘性力、コリオリ力等が考慮される。本研究ではこれらに加え潮流タービンにより流れに作用する抵抗力を外力項に与える事によりタービンによる流れエネルギーの減衰を考慮する。抵抗力は stream tube method と blade element method を組み合わせた Blade Element Momentum (BEM) theory により見積もる。即ちタービンによる流れへの抵抗力をその周辺グリッドに分散させることによりその影響を考慮した。タービンによる

表-1 計算領域と諸領域

Domain	E140.00° - E141.38° N41.18° - N41.83°
Grid number	167×118×60(lon×lat×vert)
Grid interval	30"×20"(lon×lat), 1~14.96m(vert)
Timestep	10sec

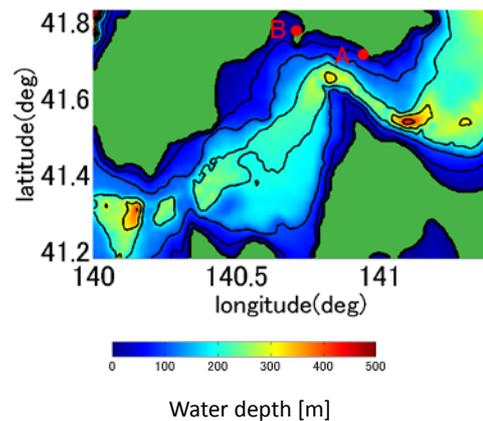


図-1 計算領域

表-2 各計算ケースで仮定したタービンの条件

Case	1	2
タービン半径(m)	-	8
ブレード数(枚)	-	10
TSR	-	5
Cord length(m)	-	0.3
Twist angle(deg)	-	80

影響の評価法については猿渡ら (2014) を参照のこと。

2-2 計算条件

表-1 と図-1 に計算領域と諸条件を示す。緯度経度方向の計算解像度は 30sec×20sec (約 0.67km×0.67km)、鉛直方向のグリッドは水面に近付く程細かく 1.0-14.96m 間隔で水平に分割した。水深データは Gebco(解像度:30sec)によって与え、潮流速の境界条件は TPXO tidal solution 7.2

(Egbert・Erofeeva, 2002) のオホーツク, 日本海上の局所解 (解像度 1/30°) の主要 8 分潮分 (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1) から得られる流速を補間して与えた。

また, 潮流と同じく境界条件として海流流速を与えている。海流流速は独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) によって衛星データ及び現場水温塩分データを海洋循環モデルに同化することにより作成された水平 1/12 度格子の再解析データ (FRA-JCOPE2) (Miyazawa et al., 2009) を与えた。

計算期間は 2013 年 10 月 16 日 0:00 (UTC) からの 49 日間であり, 本間ら (2014) の行った函館市汐首岬沖の実測調査と同期間とした。本研究では図-1 中の点 A において表-1 に示す条件の潮流タービンによる抵抗力を与えた流れ場を求めた。初期条件は静水状態としており, 計算開始からの 4 日間は流れ場を安定させる為の助走計算期間とし, 解析には含まない。

3. 三次元流れモデルの再現性

海峡内の流れ場の再現性の確認のために気象庁が公開する函館港(図-1 の点 B)における実測潮位及び天文潮位 (60 分潮) と本研究の計算結果を比較した。実測潮位からの逸脱が見られるのは気圧変化による海面の吸い上げ

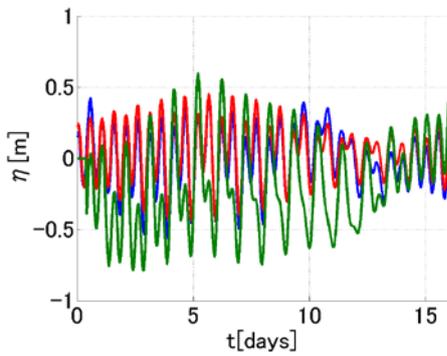


図-2 点 B における潮位の時間変化。緑：本研究の計算結果, 赤：気象庁による天文潮位, 青：気象庁による実測潮位。

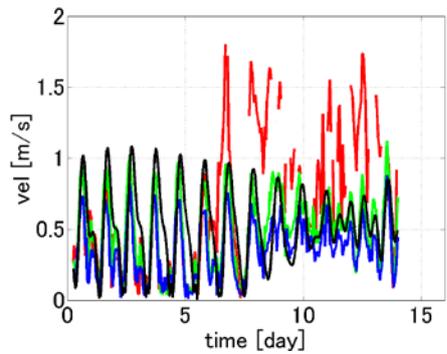


図-3 点 A の上層, 中層, 下層における合成流流速の時間変化 黒：本研究の計算結果. 赤, 緑, 青：本間らによる実測値(上層, 中層, 下層)。

等を考慮していない為である。天文潮位については振幅, 周期共によく再現している。

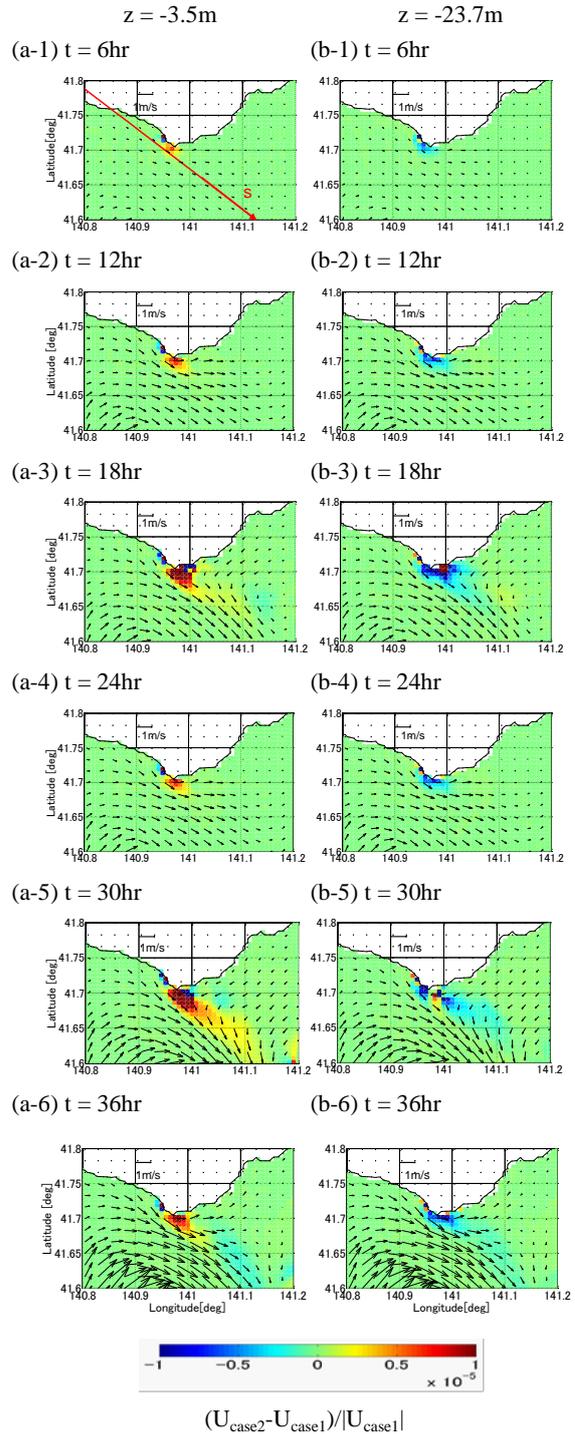


図-4 $z = -3.5\text{m}$ (左) 及び $z = -23.7\text{m}$ (右) 平面上的流速変化率分布. ベクトルは同平面上における Case1 の流速分布。

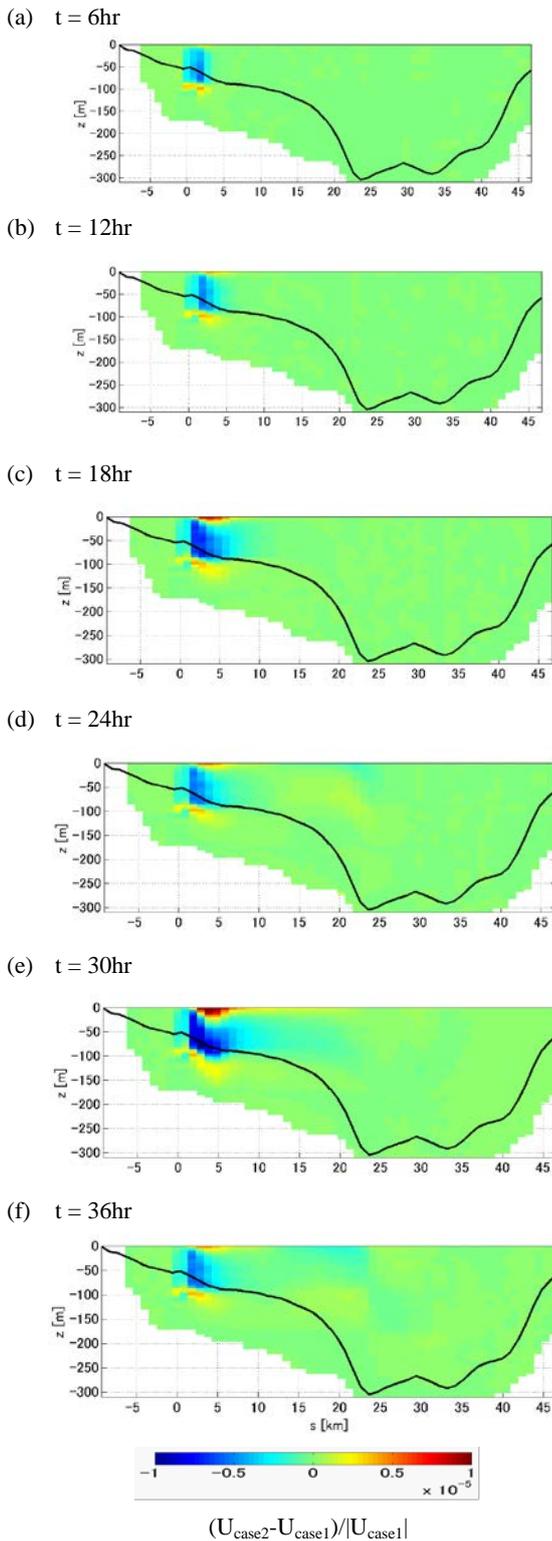


図-5 s 軸方向の流速変化率プロファイル.

また本間ら (2014) は津軽海峡函館沖において流速の現地観測を行い本地点における流れ場の特徴を調査したが、彼らの観測結果と本研究の計算結果を比較することで流速の再現性を検討した。本研究の計算結果は中層及び下層におけるの実測値を計算結果は概ね再現している。また本研究では波浪や吹送流の影響を考慮していない為、上層の乱れは再現しない。

4. 計算結果

タービンの影響を考慮したことにより現れた流速変化率を次式のように定義し、その分布を調べた。

$$\text{流速変化率} = (U_{\text{case2}} - U_{\text{case1}}) / |U_{\text{case1}}|$$

図-4 はタービンの上方の $z = -3.5\text{m}$ 及び底面近傍である $z = -23.7\text{m}$ での流速の局所変化率の分布を示す。s 軸 (図-4 (a-1) 参照) に沿った縦断面上における流速変化率を図 6 に示す。通常潮流タービンによる wake はタービン背後 20D (D はタービン直径) 程度で概ね回復すると言われているが、本研究で示しているのはその更に背後にあらわれる 10^5 オーダーの変化率である。

タービンに流れを作用させた直後からタービンの背後において流速の低下が生じる (図-4(b-1), 図-5(a)). 抵抗力として働くタービンを避ける流れが生じることで上方やその側方において流れが集中し、流速が増大する様子が見られた (図-4 (a), 図-5 水面近く). 海峡内を流れる津軽暖流の影響により、これ以降タービンによる影響領域がより東へと拡大していく可能性がある。

5. おわりに

非静水力学三次元流れモデルを用いて潮流タービンを津軽海峡内の函館沖に設置した場合の流れ場の変化を計算した。タービンを設置したことによる流速の減衰、増幅の影響はタービンから離れた地点に及び、やがて津軽暖流の影響によって東へと拡大していき、潮流速の成分のみを考慮した場合と異なる結果が導かれた。海流成分を考慮することでより現実に近い流れ場を再現することができ、潮流タービンを設置したことによる物理的影響も評価することができた。

参考文献

- 1) A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, and C. Heisey: A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. *J. Geophys. Res.*, 102(C3), 5753-5766, 1997a
- 2) C. Hill, L. Perelman, and A. Adcroft, : Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling. *J. Geophys. Res.*, 102 (C3), 5733-5752., 1997b
- 3) Egbert & Erofeeva: Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19, pp183-204. ,2002
- 4) Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *J. Oceanogr.*, 65, pp.737-756., 2009.
- 5) Marshall, J., C. Hill, L. Perelman and A. Adcroft : Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling, *J. Geophys. Res. Oceans*, 102, C3, pp5733-5752., 1997a.
- 6) Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman and C. Heisey: A finite-volume, incompressible Navier Stokes

model for studies of the ocean on parallel computers, J. Geophys. Res. Oceans, 102, C3, pp5753-5752., 1997b.

7)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, pp1291-1295, 2014.

8)広田知也, 猿渡亜由未, 宮武誠: 三次元モデル内における潮流タービンの評価, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol70, pp67-72, 2014.

9)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, pp.1296-1300, 2013.