# 潮流エネルギーの平面及び鉛直分布の特徴

#### Horizontal and Vertical Characteristics of the Tidal Energy Distribution

北海道大学大学院工学研究院	完 正会員	猿渡亜由未(Ayumi	SARUWATARI)
北海道大学大学院工学院	○学生員	田島悠(Yu TAJIMA)	)

# 1. はじめに

世界的に太陽光や風力など環境負荷の小さな再生可 能エネルギーの利用が進んでいる.海洋においても欧米 をはじめ世界各地で潮力,波力などの海洋エネルギー発 電の実用化に向けた研究,技術開発等が進められている (e.g. Rouke ら, 2010). 日本は海岸線の延長が長く, 潮力,波力等の海洋エネルギーを容易に利用できる為, 特に1980年代から90年代にかけて海洋エネルギー発電 に関する研究が活発に行われたが (e.g. 経塚, 2009), 日本では世界に比べて潮力・波力エネルギーのポテンシ ャルが小さい事などからここ数年は活発に研究がなさ れてこなかった.近年では実海域における大規模な現地 実験も行われている欧州各国に比べ,日本における海洋 エネルギーの利用技術の開発と普及は遅れている.しか し近年の再生可能エネルギーへの注目と必要性の高ま り,また潮流,波力エネルギー発電デバイスの性能の向 上の中,国内でも再び海洋エネルギーが注目され始めて いる. その中でも本研究では予測が比較的容易で, より 研究,開発の進んでいる潮流エネルギー発電に注目して 研究を行う.

潮流エネルギー研究において発電サイト候補における リソース評価は発電デバイスの開発,発電装置設置後の 環境への影響評価と並び,重要なフェーズの一つである. リソース評価は多くの場合,観測と数値計算とを併用し て行われるが,現地観測と比較して容易に長期間且つ高 解像度のデータを得ることができる数値計算が手法と して力を発揮している.数値計算により潮流場を再現す る際,海底地形が比較的一様であると仮定して静水圧近 似がしばしば適用されてきた.しかし沿岸域等の浅海域

における急峻な地形変化に対応した流れ場を正確

表-1 計算条件



に再現する為には,動圧を考慮した上で三次元的に流れ場 を求める必要がある.

そこで本研究では三次元非静水圧海洋流れモデルを用 いて日本近海における潮流場を再現すると共に、流速、流 向等の三次元的な特徴について明らかにすることを目的 とする.また計算結果を基にエネルギー賦存量についても 評価する.

### 2. 計算方法

### 2.1 三次元非静水圧流れモデル

本研究では大気及び海洋における数 km スケールから グローバルスケールまでの流れ場を計算する為に Massachusetts Institute of Technology において開発 された三次元流れモデル MIT General Circulation Model (MITgcm, e.g. Marshall ら, 1997a, 1997b)を用 いて潮汐流の計算を行う. MITgcm は圧縮性流体の Navier Stokes 式を有限体積法により解く事で流速, 圧



図-2 実測潮位又は天文潮位(灰実線)及び本計算により
求められた潮位(黒破線)の時間変化の比較.(a)函館,
(b)むつ小川原.

カ、水位変動、また温度や塩分濃度等を求めるものである。本モデルは静水圧近似又は準静水圧近似モデルとしてだけでなく非静水圧モデルとして計算を行うことができる為、急激な地形変化により発生する鉛直流速場などを正しく再現する事が可能である。運動方程式の外力としては重力、粘性力、コリオリカ等が考慮される。

#### 2.2 計算条件

本研究では、日本海 - 太平洋間の大きな潮位差により 速い潮汐流が発生する津軽海峡において計算を行った. また、他にも沖縄周辺、北海道千島列島周辺でも計算を 行なっている.計算領域や計算グリッド幅などは表-1 及び図-1 に示す.ここで鉛直方向のグリッドは 1-200m 間隔で 60 グリッドとしており、水深の浅い領域も 鉛直方向のグリッド数を十分確保する為にグリッド幅 は水面直下で最も小さく、鉛直下方に向かい徐々に増加 する様に設定した.ここで、計算領域4方向から潮流流 速、海流流速を境界条件として与える事により潮汐流を 発生させているが、汀線で反射した波を計算領域境界で 吸収する為に境界付近に5/1x 幅のスポンジレイヤーを 設定している.境界条件として与える潮流流速は、海面



図-3 津軽海峡における潮位及び潮流分布の時間変化

高度測定衛星 TOPEX/Poseidon の測定データによる調和解 析とデータどうかを組み合わせることにより得られた海 洋潮汐モデル TPX07.2(解像度は全球解1/4°,日本周辺の 局所解1/30°-1/12°)の解を補間することで与えた.本 研究ではM2,S2,N2,K2,K1,01,P1,Q1の8分潮成分について 考慮した.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)を与えた.

計算期間は大潮と小潮の時期を共に含むように設定され、 本研究では2011年11月23日00:00(UTC)からの30日間と した.本研究では静水位且つ流速ゼロの状態を初期条件と している.初期条件から流れ場が完全に安定すると共に気 象庁が提供する実測潮位及び天文潮位を再現するまでには 計算開始から12-48時間を要した.本論文ではt>48h以 降の結果について着目する.

#### 3. 計算結果の検証

本計算により得られた潮位の計算結果と気象庁により公開されている実測潮位又は天文潮位と比較した.本論文で示すのは図-1に示す2地点(函館,むつ小川原)における 比較である.図-2にそれぞれの地点における潮位の時間 変化を示している.ここで実測,天文潮位は大潮時の平均



図-4 津軽海峡における最大潮流流速分布

水位がゼロとなるように補正している.津軽海峡周辺の 4 地点(函館,むつ小川原,江差,下北)で相関係数は,R =0.856,0.88,0.82,0.84と高い相関を示した.これら により本計算結果は潮汐場を妥当に再現していると考 えられる.

## 4. 潮流流速, 潮位変動の特徴

計算期間中最も潮位差の大きかった位相を含む期間に おける潮位及び水深平均潮流流速の水平面分布を図-3に 示す.また図中,境界付近のスポンジレイヤーは除いて 表示している.津軽海峡の太平洋側では太平洋側では最 大1m以上の潮位変動が表れる一方,日本海側では常に 数十cm程度の潮位変動しか表れないという特徴が表れ た.この海峡東西での大きな水位差が駆動力となり,海 峡間の水路,特に海峡東西の狭窄部において速い潮流(図 -3 丸印)が発生している.また下北半島北東部の尻屋崎 沖で見られる流速場は海峡に形成される潮流が陸棚によ る急激な地形変化によって鉛直方向に集中させられる事 により発生したものである.

図-4 に示すのは計算期間中,各地点におけるピーク 潮流流速の平面分布である.表れた最大流速は点Q1 で 2.72m/s であり,また水深方向平均流速の最大値はそれ ぞれのケースで1.74 m/s であった.

流れ場の鉛直方向の分布について調べる為に,計算開 始から14 日目までの点Q1,Q2 における潮流流速の絶対 値及び流れの向きの鉛直プロファイルの時間変化を示す (図-6).流れ場の鉛直方向の分布について調べる為に, 計算開始から14 日目までの点Q1,Q2 における潮流流速 の絶対値及び流れの向きの鉛直プロファイルの時間変化



図−5 潮流流速及び流れの向きの鉛直プロファイル の時間変化. (a-1,2)点Q1, (a-1,2)点Q2

を示す(図-6). ここで流れの向きは東向きを基準としそこ から反時計回りに表している. 点Q1,Q2 では24間周期で 流れの向きと流速が変化している. 津軽海峡内では半日周 期よりも日周期の方が2-3 倍卓越し,また最狭部における 最大流速は150 cm/s 以上になる事が知られているが(例え ば磯田・馬場,1998), これらは本研究の結果と一致する. いずれの地点においても流向に鉛直方向への大きな変化 はなくQ1,Q2でそれぞれ東西方向の流れは24 時間周期で 表れた.また海底面では流速が小さく水面へ向かうに従い 流速が増加するという典型的な流速場を示していた.底面 近傍よりも上層の方がエネルギー的に有利である.

# 5. 潮流エネルギー分布

単位時間中にある断面積A [m2] を通過する潮流のエネ ルギー,即ち潮流がもつ電力のポテンシャルP [W]は次式 により求められる.

$$\mathbf{P} = \frac{1}{2}\rho |U|^3 A$$

ここでは海水の密度であり本研究では1030 kg/m3とした. U [m/s] は潮流流速である.本研究で対象とした領域のう ち特に速い流速が得られる3 地点の近傍で,流路そのもの がもつ潮流エネルギーのポテンシャルについて調べる.点 Q1,Q2 を含む様に南北断面Lq1-Lq1' Lq2-Lq2' を図-1 中に示すように定義し,それぞれの鉛直断面を通過する潮 流エネルギーフラックスの時間変化を求め図-6に示した. ここで,それぞれの鉛直断面における面積は2.72,3.12 km2 である. ピーク時においてはそれぞれの流路で最大



図-6 (a-1) 点Q1, (a-1) 点Q2を含む鉛直断面を通過す る全潮流エネルギーフラックスの時間変化.

1.34, 1.69 GW の潮流エネルギーが賦存していた.また 大潮時と小潮時ではピークエネルギー量に10 倍程度の 差が生じる事が明らかとなった.

エネルギー賦存量の水深方向の分布について調べる. 潮流エネルギー密度をD = P=A [W/m2] と定義し,図-7 にその時間変化を底面付近から水面まで鉛直方向のレベ ル毎に示した.潮流エネルギー密度に発電装置の流れに 対する断面積,発電効率,装置の設置個数を乗じる事に より潮流発電により得られる電力を見積もる事ができる. 底面近傍と水面とでは潮流力に常に2-3 倍程度の差があ る事が確認される.また,エネルギーのピークとなる位 相が高さ毎に一致しておらず,水面よりも底面近傍の方 が30 分から2 時間程度早くピークが訪れる事が明らか となった.

## 6. 結論

三次元非静水圧流れモデルであるMITgcm を用いて,津 軽海峡周辺における潮流場を再現すると共に,エネルギー が集中するポイントにおける潮流流速及びエネルギーの 分布の特徴について調査した.領域内のいくつかのポイン ト(Q1,Q2)において最大1.5 m/s 以上の速い潮流が発生 する事が示された.津軽海峡周辺ではそれぞれ最大1.69





GW のエネルギー賦存量があると見積もられた.また大潮 時と小潮時ではピークエネルギー賦存量に10 倍程度の差 が生じる得る事が示された.潮流エネルギー密度の分布を 鉛直方向に比較し,エネルギーのピークが表れる位相に30 分から2 時間程度のタイムラグが生じる事が確認された.

# 参考文献

- (1) 磯田豊,馬場和美(1998):津軽海峡の潮汐・潮流,北大 水産彙報,49,3,pp.117–130.
- 経塚雄策(2009): 潮流発電の研究開発の現状,日本エネル ギー学会誌,88,7,pp.539-545.
- Marshall, J., C. Hill, L. Perelman and A. Adcroft (1997a): Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling, J.Geophys. Res. Oceans, 102, C3, pp. 5733–5752.
- Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman and C. Heisey (1997b): A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers, J. Geophys. Res.
- 5) Rourke,F.O.,F.Boyle and A.Reynolds(2010):Tidal energy update 2009, Applied Energy,87,pp.398-409.