# MITgcm による沿岸域三次元潮流エネルギー分布の見積り

Estimations of three simensional tidal energy distribution in the coastal area

北海道大学大学院工学院	○学生会員	田島	悠	(Yu Tajima)
北海道大学大学院工学研究院	正員	猿渡	亜由未	(Ayumi Saruwatari)

### 1,はじめに

世界で環境負荷の小さな再生可能エネルギーへの機運 が高まっている.日本は海に囲まれているので潮力,波 力等の海洋エネルギーを容易に利用できる.国土は狭い が排他的経済水域は広大で,海の持つポテンシャルは極 めて大きい.1980年代以降,日本で海洋エネルギー発 電利用の為の研究が活発に行われた (e.g.大熊ら (1992), 経塚ら (2009))が,日本では世界に比べて波力潮力エネ ルギーが弱く,近年では実海域における現地実験も行わ れている.欧州に比べ海洋エネルギーの利用技術の開発 普及は遅れた.しかし,近年再生可能エネルギーへの注 目が集まる中で,日本における海洋エネルギー利用の為 の研究が再び活発になってきている.本研究は日本近海 における潮流エネルギーの分布の特徴を調べるものであ る.

海洋エネルギー発電に分類される潮力発電は、海洋の 潮汐・海流のエネルギーを利用して発電を行うものであ る. 大きく 2 種類に分類でき、(a) 沖合の海中に設置し たプロペラを潮流により回転させることにより発電を行 うもの (図 1) .このデバイスの場合, 2m/s 程度の潮流流 速があれば、実用に供する程度の電力が得られるといわ れている. また (b) 潮汐による海面変動をせき止め, 低落差で水力発電を行うもの(図1).このデバイスによ り発電するには一般的に 5m 以上の潮位差が必要といわ れているが、より小潮位でも発電を有意に行う為のデバ イスの開発も行われている.日本は世界で比較的潮位差 が小さく、潮流発電に不利だと予想されてきた.しかし、 特に細い水路状の地形が形成されているところ等では大 きな潮流流速が得られる可能性がある.また,近年では発 電装置の開発・改善も進められている.そこで本研究で は三次元非静水圧海洋流れモデルである MITgcm によ り日本近海における潮流場を計算し,潮流エネルギーの 分布を特徴化することを目的とする.



図 1: 潮流・潮汐発電の例 (a)出典 http://ameblo.jp/ghostripon/entry-10299954785.html

### 2, 計算方法

#### 2-1, 三次元非静水圧海洋モデル

海洋流れモデルとして、大気・海洋の流れを計算する ためにマサチューセッツ工科大学において開発が進めら れている数値モデル、MITgcm (MIT General Circulation Model)を用いる.海洋の流れを求める際、しばしば静 水圧・Boussinesq 近似した方程式系が基礎式として用い られてきたが、この場合動圧の効果が含まれない為、特 に沿岸域において発生する鉛直運動を伴う流れ場につい ては正しく再現することができない.一方、MITgcm で は非静力学過程を近似することなく流れを計算すること ができるため、鉛直流速を含む沿岸域の地形変化に応じ た流れ場を適切に再現することが可能である.

本研究では、東方向を x, 北方向を y,水面から鉛直下方 向を z と定義すると,基礎方程式を次式のように表せる.

$$\frac{Du}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times u) + \frac{\partial\phi}{\partial x} = F_u \dots (1)$$
$$\frac{Dv}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times v) + \frac{\partial\phi}{\partial y} = F_v \dots (2)$$
$$\frac{Dw}{Dt} + (2\vec{\Omega} \times w) + \frac{\partial\phi}{\partial z} + b = F_w \dots (3)$$
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots (4)$$

(1)(2)(3)式はそれぞれ x 方向  $\cdot y$  方向  $\cdot z$  方向の運動方 程式であり、(4)式は連続式である. u, v, w は、x, y, z 方向流速.  $\phi$ は圧力、 $\vec{\Omega}$  は地球の自転速度、b は浮 力,(1)~(3)式の各右辺は forcing/dissipation 項であり,本研 究では重力,コリオリ力,粘性力等を考慮した.

### 2-2, 全球潮汐モデル

MITgcm で計算を行う際の潮流の境界条件は,全球潮 汐モデル TPXO により求めた.TPXO では,潮位,潮流につ いての主要な 8 種類(M2,S2,N2,K2,K1,O1,P1,Q1),長周期 の 2 分潮(Mf,Mm),非線形成分の 3 分潮(M4,MS4,MN4) の計 11 成分潮の調和解析を求めることができ,またそれ らを元に任意の日付・時刻の潮流場を計算することがで きる.

図 2-1 は,TPXO を用いて計算した潮位変動と,気象庁 のホームページ(http://www.jma.go.jp/jma/index.html)で公 開されている潮汐観測資料を比較したものである.



図 2-1: TPXO による計算結果と気象庁の潮汐観測資料 の潮位変動比較(沖縄県那覇西(北緯 26°13″,東経 127°40″ 2011/8/1-2011-8/30)) 赤いグラフが,TPXO を用い て計算した潮位変動.青いグラフが気象庁の潮位観測資 料を示している.

TPXOによりほぼ正確に潮位変動を再現できることが 確認できる.

#### 2-4, 計算条件

表 2 - 1,表 2 - 2 に計算条件,図 2-2 に計算領域内にお ける海底地形を示す.これらの地形は NOAA(米国立海 洋大気圏局)が提供する 1min×1min 解像度のデータ ETOPO1 を補間して与えた.本研究では,潮流エネルギ 一分布の基本的な特徴を調べるために,M2 成分の潮汐の みを境界条件として与えた (Run1).一方,大潮時にはその 2 倍程度の潮位差が表れると考えられるため,それに対応 させるために,M2 分潮の 2 倍の潮流流速を境界に与えた ケースも計算した (Run2).

表	2	-	1	:	計算領域	•	計算条件
---	---	---	---	---	------	---	------

計算領域	計算領域	水平グリッド幅
(北緯[度])	(東経[度])	$(\Delta X \times \Delta y)$
128.008~128.568	26.032∽26.944	0.016°×0.016°

グリッド数	タイムステップ	計算期間
$(X \times Y \times Z)$	(秒)	(日)
60×60×60	360	2011/11/23-11/30



3, 検証

MITgcm を用いて計算した潮流場の妥当性を確認する ために,Run1 の計算結果を気象庁のデータと比較する (図 3-1).



図 3-1: MITgcm による計算結果と気象庁の潮汐観測資 料の潮位変動比較(沖縄県那覇西(北緯 26°13",東経 127°40" 2011/11/23)) 青いグラフが MITgcm による計算 結果,赤いグラフが気象庁の潮位観測資料を示している.

MITgcmで計算した潮流場はM2成分のみを与えているため,単純な比較はできないが,潮位差変動周期が実際の潮汐から大きく逸脱しないことが確認できた.

## 4, 計算結果

## 4-1, 流速

図 4-1 は Run1 における計算開始から t=15h,18h,21h,24 の流速分布を表す.これらは,それぞれ沖縄本島に対して 上げ潮・下げ潮時を含む3時間おきの位相に対応してい る.





図 4-1:沖縄本島周辺の海表面潮流流速の時間変化.赤線 は水深 100m を示す等高線である.

図 4-1 から,島の地形に応じて回り込むように,流速が 大きくなっていることが分かる.特に水深 100m 以下の 島と島との間の狭窄部において大きな流速が発生する.

### 4-2, 潮流エネルギー密度

図 1 (a)の発電方法を想定する場合,プロペラ付近の局 所的な潮流流速が分かれば取得し得るエネルギーや発電 量を見積もることが可能である.そこで,MITgcm により 求めた流速から,単位面積の断面を通過する潮流エネル ギー密度を次式により算出した.

### $P = 0.5 r^{3} V^{3}$

ここで *P* は潮流エネルギー密度[W/m<sup>4</sup>2], ρは海水の密 度[kg/m<sup>4</sup>3], V は潮流流速[m/s]である.潮流エネルギー 密度は,単位面積の断面を通過する潮流エネルギーを表 す.

図 4-2,4-3 は,図 2-2 で示した P-P'断面における潮流エネルギー密度分布を表す.位相は,図 4-1 と同じである.P-P'は沖縄本島から沖へと向かう斜面と平行且つ流速の最大値が現れる点を通るように選んだ.





図 4-2:沖縄本島周辺の潮流エネルギー密度分布 (Run1)





図 4-3:沖縄本島周辺の潮流エネルギー密度分布 (Run2)

潮流エネルギー密度は,鉛直方向にほぼ一定であり,潮 汐の位相に応じて水深 0m~100m の間の領域で特に大 きくなる.水深 100m~1000m の領域では,ほとんど大き な潮流エネルギー密度はみられない.

次に Run1 と Run2 での点 Q (図 2-2 参照) における潮 流エネルギー密度を水深方向に積分した水深積分潮流エ ネルギー密度の時間変化を図 4-4 に示す.潮汐の位相に 応じて,水深積分潮流エネルギー密度が時間変化してい ることがわかる.



図 4-3: Run1 と Run2 での水深積分潮流エネルギー密度 (対数表示) の時間変化.赤いグラフが Run1,青いグラフ が Run2 を表す.

グラフから,中潮時である Run1 に対し,大潮時を想定 した Run2 は約 100 倍の水深積分潮流エネルギー密度を 持つことがわかる.

### 4, 結論

- 全球潮汐モデル TPXO による潮流場の再現性が確認できた。
- ・ 全球潮汐モデル TPXO で計算した潮流流速を境界 条件として三次元非静水圧海洋モデル MITgcm に 代入し,求めた潮流場の再現性を確認できた.
- 流れが回り込むような地形に対応し,流速が大きくなることが確認できた.また,特に水深の浅い島と島の狭窄部で大きな流速が発生した.
- 潮流エネルギー密度は,鉛直方向にほぼ一定で,潮汐
  に応じて水深 100m 以下の領域で大きくなった.
- 中潮時よりも、大潮時の水深積分潮流エネルギー密度は100倍ほど大きくなる可能性があることがわかった。

本研究では,M2 成分のみを計算した潮汐条件を境界条件 として潮流場を求めた.今後は,11 成分潮を考慮した境界 条件を与え,潮流場を求めることで,より精度の高い大潮 時・小潮時の潮流エネルギー分布の比較を行う予定であ る.

### 参考文献

- 1) Roger Bedard (2007): Power and Energy Waves and Tides: A Primer ,1-7
- Antonio F.de O.Flcao(2010): Wave energy utilization: A review of the technologies
- 3) Clive Baker(1991): Tidal power
- 4) Muhammad Abudur ROUF, Eizo NAKAZA, Ryutarou KUDAKA and Liliane KOTKER(2010): CHARACTERISTICS OF THE INTERNAL TIDE AND ITS ASSOCIATED COOLING SYSTEM IN GENKA BAY, OKINAWA, JAPAN
- Roger Bedard(2007): Power and Energy from the Ocean Energy Waves and Tides: A primer
- R. Carballo, G. Iglesias, A. Castro(2009):Numerical model evaluation of tidal system energy resources in the Ria de Muros(NW Spain)
- David A. Brooks(2011): The hydrokinetic power resource in a tidal estuary: The Kennebec River of the central Maine coast
- Ken Mohri, Toshiyuk Hibiya, and Nobuyuki Iwamae(2009): Revisiting internal wave generation by tide-topography interaction
- Fergal O'Rourke, Fergal Boyle, Anthony Reynolds(2010): Tidal current energy resource assessment in Ireland: Current status and future update
- 10) M. J. Khan, G.Bhuyan, M. T. Iqbal, J.E.Quaicoe(2009): Hydrokinetic energy convention systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review
- 11) 経塚雄策 (2009): 潮流発電の研究開発の現状
- 12) 大熊九州男,竹之内和樹,古川明徳,瀬戸口俊明 (2005): 波力発電用に開発されたタービンの潮汐発 電への応用