外洋を対象とした不規則波による 波・流れ相互作用の表層流について

今井優樹¹・森 信人²・二宮順一³・間瀬 肇⁴

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒 615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: imai.yuki.84z@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: mori@oceanwave.jp

³正会員 金沢大学助教 理工研究域 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: jnino@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: mase.hajime.5c@kyoto-u.ac.jp

波による流れ (Stokes drift) の影響を正確に考慮することは、海洋流動解析を行う上で重要である。そこで本研究では、不規則波浪場に適用した Stokes drift の表現を提案する。具体的には、波の方向スペクトルを考慮した Stokes drift の計算を行い、これを組み込んだ数値モデルを用いて外洋の海洋流動の過去再現計算を行った。高周波の波により駆動する Stokes drift の鉛直分布は、表層から下層にかけて著しく流速が低下するが、このような現象をとらえる数値モデルを開発した。Stokes drift 流速の鉛直分布や、単純地形を対象としたテスト計算を通してモデルの精度検証を行い、実地形を対象とした一様風による Stokes drift の感度解析を実施した。実地形を対象とした過去再現計算を行い、表層流の解析を行った。

Key Words : Stokes drift, random wave, coupled ocean-wave model, the two-dimensional wave spectra

1. 序論

海洋流動解析を行う際、計算領域のスケールに応じた様々な物理過程を考慮することが重要である。オイラー型の支配方程式を採用した海洋モデルで Langmuir turbulence や Coriolis-Stokes 力を考慮する際は、Stokes drift のシアや流速の正確な推定が重要である。Kenyon¹⁾ は、2次元エネルギースペクトルを用いてあらゆる水深に適用した不規則波に対する Stokes drift の鉛直流速を定式化している。しかし、これまで計算コストの観点から、数値モデルにおける Stokes drift の表現は有義波高・代表波高などを用いて不規則波を規則波で近似した簡略的なものが一般的であった。Breivik et al.²⁾ は、不規則波浪場における Stokes drift の新たな表現とその影響について議論している。一方で、これまで外洋から沿岸域までを統一的に対象とした不規則波浪場における Stokes drift の表現は、上述のような簡略的なものが多かった。領域海洋モデル ROMS(Regional Ocean Modeling System) では、波動場から流れ場への非保存的な運動量輸送を表現するような vortex force 型の WEC(Wave Effects on Current) の提案がなされ (Uchiyama et al.³⁾)、沿岸域を対象とした波・流れの相互作用の評価が可能になった。

そこで本研究では、外洋から沿岸域までを対象として、不規則波浪場における波・流れ相互作用の影響につ

いて検討を行う。特に、海洋表層における流動解析に主眼を置き、不規則波浪に対する Stokes drift の表現による影響について述べる。具体的には、スペクトル型波浪モデル SWAN を用いて波浪の解析を行い、波の方向スペクトルを計算する。得られた方向スペクトルから周波数分散・方向分散パラメータを算出し、これを用いた近似的な方向スペクトルの再現を行う。この手法で近似的に表現する方向スペクトルから不規則波浪場に対する Stokes drift を計算するようなソースコードを領域海洋モデル ROMS の vortex force 型の WEC に組み込む。スペクトル型波浪モデル SWAN と領域海洋モデル ROMS の双方向結合には Warner et al.⁴⁾ を用いる。不規則波浪に対する理論的な Stokes drift 鉛直流速の確認および単純地形を対象とした結合モデルのテスト計算を行うことで、結合モデルの精度検証を行う。構築した結合モデルを用いて和歌山県太平洋沖から紀伊水道内湾部までを対象とした水平解像度 2.5km の過去再現計算を実施し、海洋流動解析を行う。

2. 数値モデルの概要

(1) 不規則波に対する Stokes drift の表現

線形不規則波の水面変位は以下のように記述される。

$$\eta = \int \hat{\eta}(\vec{k}) e^{i(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)} d\vec{k} + c.c. \quad (1)$$

$$\omega = gk \tanh kh \quad (2)$$

$$\rho g \eta_{rms} = \int E(\vec{k}) d\vec{k} = \int F(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad (3)$$

η は水面変位, $\hat{\eta}(\vec{k})$ はフーリエ振幅, $\vec{k} = (k_x, k_y)$ は波数ベクトル, $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$, ω は角周波数, *c.c.* は前項の複素共役, $E(\vec{k})$ は波数スペクトル, $F(\omega, \theta)$ はエネルギースペクトルである. 全エネルギー $\mathcal{E}$ と波高は以下の関係を持つ.

$$\mathcal{E} = \rho g \eta_{rms}^2 = \frac{\rho g}{4.004^2} H_{m0}^2 = \left(\frac{\rho g}{4.004^2} H_{1/3}^2 \right) \quad (4)$$

ここで H_{m0} はスペクトルで定義される有義波高, $H_{1/3}$ はゼロクロス法で定義される有義波高である.

Stokes drift 鉛直流速はエネルギースペクトルにより定義される (Kenyon et al.¹⁾).

$$\vec{u}_{st}(z) = \frac{1}{\rho} \int E(\vec{k}) \frac{\vec{k}}{\omega(k)} \frac{2k \cosh 2k(z+h)}{\sinh 2kh} d\vec{k} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{\rho} \int \int F(\omega, \theta) \frac{2k(\omega)}{c(\omega)} \frac{\cosh 2k(z+h)}{\sinh 2kh} \times (\cos \theta, \sin \theta) d\omega d\theta \quad (6)$$

c は波速である. 本研究で用いる領域海洋モデル ROMS では, 短周期の自由表面の変動を考えていないので, z の積分区間は $[-h, 0]$ までである. 離散化には Arakawa C グリッドを用いた.

(2) 波のエネルギースペクトル

スペクトル型波浪モデル SWAN では, 各格子において波浪の方向スペクトルが計算される. 波浪場と循環場の情報伝達において, これらのスペクトル型を関数として授受することは計算負荷が非常に大きい. 先行研究⁸⁾ 同様に, 方向スペクトルを2次元ガウス分布で近似して, 式(6)により Stokes drift 流速を計算した.¹⁰⁾ ピーク周波数近傍に着目すると, 方向スペクトルに2次元ガウス分布を次式のように近似的に表すことができる.

$$F(\omega, \theta) = \frac{m_0}{2\pi\sigma_\omega\sigma_\theta} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma_\omega} \right)^2 + \left(\frac{\theta - \theta_p}{\sigma_\theta} \right)^2 \right] \right\} \quad (7)$$

ここに, m_0 は水面変位の分散, ω_p , θ_p はそれぞれピーク周波数, 波向き, σ_ω , σ_θ はそれぞれ周波数分散, 方向分散である. 周波数分散 σ_ω は, 既往研究の JONSWAP 型の周波数パラメータ γ や Goda の提唱する周波数スペクトル幅パラメータ Q_p と次式のような関係がある.

$$\sigma_\omega = \frac{1}{\sqrt{\pi}Q_p} \quad (8)$$

$$Q_p = -0.015\gamma^2 + 0.60\gamma + 1.37 \quad (9)$$

図-1 Stokes drift の鉛直流速分布 (周期 10s, 波高 0.5m, 黒点線: 規則波 (wave1d), 赤線: 不規則波 (wave2d), 緑線: 周波数分散のみ考慮 (1D Freq.), 青線: 方向分散のみ考慮 (1D Dir.)

同様に, 方向分散 σ_θ は, 既往研究の Mitsuyasu 型の方向分散パラメータ S を用いて次式のように近似できる.

$$\sigma_\theta \simeq \sqrt{\frac{2}{1+S}} \quad (10)$$

このように, ROMS 内の波の方向スペクトルは, 周波

数分散, 方向分散を表す 2 つのパラメータを用いて近似的に表現される. 結合モデル間においてこの 2 つのパラメータを授受することで, 海洋モデル内において不規則波を考慮した波による流れの影響を組み込むことができる. 上述のような近似を用いない場合, SWAN 内で計算された方向スペクトルを直接 ROMS に受け渡すことになり, その定量的な情報量としては 1 グリッドあたり (周波数軸の離散化数) $\times$ (方向軸の離散化数) となる. このため, モデル間通信は近似により 2 オーダー程度効率化が図られる.

計算の安定化のため, 先行研究⁸⁾とは異なり, 流速 c を用いずに, 以下により Stokes drift 流速を計算する.

$$\vec{u}_{st}(z) = \frac{1}{\rho} \int F(\omega, \theta) \frac{2k^2(\omega)}{\omega} \frac{\cosh 2k(z+h)}{\sinh 2kh} \times (\cos \theta, \sin \theta) d\omega d\theta \quad (11)$$

また, 離散化には Arakawa C グリッドを用いた.

3. 数値実験によるモデルの特性の把握

本研究では, 外洋から沿岸域を対象とした海洋流動解析を行う. 本章では, 外洋を対象とした不規則波を考慮した Stokes drift の特性について, 規則波近似の場合との違いについて, 数値実験を実施し, 考察を行う. 沿岸域を対象としたモデル検証については今井ら⁸⁾を参照されたい.

(1) Stokes drift の鉛直分布

まず始めに, 代表的な水深と不規則波の方向スペクトルパラメータでの Stokes drift 流速についてまとめる. ここでは, 波高 0.5m, 周期 10.0s の条件下で, 周波数分散, 方向分散をそれぞれ片方のみを考慮した場合 (以下それぞれ 1D Freq., 1D Dir.) と, どちらもすべて考慮 (不規則波: wave2d と表記) もしくはすべて考慮しない場合 (規則波: wave1d と表記) について前章で定式化した Stokes drift 鉛直流速の特徴をまとめる. 一般に, 外洋における Goda の周波数スペクトル幅パラメータは $1.0 \leq Q_p \leq 10$, Mitsuyasu 型の方向分散パラメータは $5.0 \leq S \leq 90$ の範囲で値が変動する⁹⁾. うねりについては, 周波数分散と方向分散は概ね反比例の関係にある. 一方, Q_p は高周波のスペクトルとピーク周波数付近のスペクトル形状に影響を受けやすく, 特に風波における変動が大きいことが知られている. そこで, Stokes drift 流速について, 水深毎に不規則波の特性を変化させて違いを調べた.

まず, 水深 $h = 500\text{m}$ ($k_p h = 20.0$, k_p はピーク波数) における Stokes drift 鉛直流速について, 方向分散が大きい条件下で ($S = 7.0$) 周波数分散を変動させた (図-1(a)). 周波数分散が大きく, 高周波成分が多い場合 ($Q_p = 1.0$) では, wave1d に比べて wave2d の Stokes

drift 鉛直流速は表層から下層に向かって減少が早い. 先行研究の Breivik et al.²⁾ も高周波の波の影響は Stokes drift 鉛直分布の表層部分にのみ寄与することを指摘している. 一方で, 周波数分散が小さい場合 ($Q_p = 5.9$) では, wave2d と wave1d が互いに類似した鉛直分布を示す. この波浪条件で Stokes drift が有意に存在する水深は約 25m ($z/h=0.05$) であり, これより深い領域では不規則波の影響は大きくない. 図-1(b) は, 水深 $h = 100\text{m}$ ($k_p h = 4.0$) で方向分散が小さい条件下で ($S = 50.0$) 周波数分散を変動させた例である. この条件では, 水深の影響は殆ど関係なく, 方向分散の影響が支配的である. 水深 $h = 500\text{m}$ の方向分散が大きい条件下の時と同様に, 高周波の波が表層付近でのみ Stokes drift 流速に影響を及ぼしており, 下層にいくに従い極端な流速の低下が見られる. このような大水深域では, 周波数分散より方向分散の影響が支配的であり, 方向分散は外洋における Stokes drift に大きな影響を及ぼす.

水深が浅くなると, 浅水変形が卓越する極浅海までは不規則波の影響は顕著になる. 図-1(c) は, 水深 $h = 50\text{m}$ (水深を $k_p h = 2.0$) における Stokes drift 鉛直流速について, 方向分散が大きい条件下 ($S = 7.0$) で周波数分散を変動させた例である. 周波数分散が大きい場合, wave2d と wave1d の差は大きく, 表層ではその差は 14 % であり, $z/h = 0.2$ でも 58 % 差が見られる. 方向分散が小さい場合は, 両者の差は小さいが, ほとんど差が見られなかった図-1(a) および (b) 大水深の場合と比較して, 10 % の差が見られる. これらの結果をまとめると, Stokes drift 流速において, 方向スペクトルの考慮の有無により表層での流速差と鉛直方向の減衰の差がある. 方向分散を考慮した場合の影響は, 大推進よりもある程度水深が浅い ($k_p h < 3.0$) 海域で顕著に見られることがわかる.

(2) 一様勾配地形を対象とした数値実験

前節では単純に水深一定での理論解を用いた検討を行った. ついで, 結合モデルを用いて, 沿岸域を模した単純地形 (図-2) を対象とした波により生じる流れの影響の感度解析を行った. 計算は東西 15.4km $\times$ 南北 14.4km, 水平解像度 200 m, 鉛直 20 層, 対象領域中央には幅 1.2km のスリットが設けられており, 一定海底勾配 (1/641) の沖側と水深 4m の岸側の海域に分かれている. 計算は連続した 60 時間で, wave2d および wave1d について行った. 前者については, JONSWAP の周波数分散パラメータ $\gamma = 3.3, 10$, 方向分散角 $\sigma_\theta = 10, 50$ の組み合わせ, 計 4 パターンについて実施した. なお $\gamma = 3.3$ および 10 は, $Q_p = 3.2$ と 10 に相当する. 初期条件は波・流れ共にない状態で, 北側境界より波高, 周期及び周波数・方向分散を設定し, 沖波の流入を再現

図-2 一様勾配地形を対象とした波による流れの感度解析で用いた水深データ

図-3 一様勾配地形を対象とした波による流れの感度解析：空間分布，上段：Stokes drift（左：wave1d，右：wave2d），左下：周波数パラメータ Q_p ，右下：周波数分散 σ_θ ，1時間平均（26～27 時間），最上層， $\gamma = 3.3, \sigma_\theta = 50^\circ$

した。また、境界条件として南側は閉鎖境界条件，東西境界は自由境界条件，波の入射条件として北側境界は固定境界条件とした。

ここでは、例として周波数分散が大きく ($\gamma = 3.3$)，方向分散が大きい ($\sigma_\theta = 50^\circ$) 条件下の結果を示す (図-3)。潮汐・海流の影響を考慮していないため，ここで示す流速は純粋に Stokes drift のみとなる。計算ドメイン上方から伝播する波に対して，ドメイン中央部に位置するスリット後方では最上層，下層共に wave2d において Stokes drift の方向的な広がりが見られる。これは方向分散 σ_θ の空間分布からもわかる。一方，周波数分散から空間分布はスリット周辺で周波数分散が大きくなっていることがわかる。下層の wave2d における Stokes drift では，最上層に比べスリット周辺で流速が小さくなっており，周波数分散が大きい場合，Stokes drift の鉛直流速は表層から下層に向かって極端に低下するという前節と整合性のとれる結果も確認できた。

図-4 計算領域の概要と水深データ

4. 外洋を対象とした海洋流動解析

海洋・波浪結合モデルを用いて，和歌山県太平洋沖から紀伊水道内湾部までを対象とした一様風による Stokes drift の感度解析計算と過去再現計算を実施した。計算対象海域は東西 200km × 南北 200km であり，図-4 に示す地形データを用いて水平解像度 2.5km，鉛直 20 層の条件で，計算を行った。

(1) 一様風による感度解析

ここでは，波浪の影響を明確に見るため，海上に一定風速を与え，波浪の発達と Stokes drift の関係について感度解析計算を行った。Nautical 座標における $\theta = 180^\circ$ （デカルト座標で u 方向）に 10m/s の風を吹かせた場合と， $\theta = 270^\circ$ （デカルト座標で v 方向）に 10m/s の風を吹かせた場合の 2 ケースを行った。

図-5 に示すのは，一様風を吹かせた時の最上層における Stokes drift 流速ベクトル，波高， Q_p ， σ_θ の 1 時間平均値の空間分布図である。 $\theta = 180^\circ$ および 270° の場合は共にドメイン内北部の水深の浅い海域で Stokes drift 流速が大きい。これは前節までの， $k_p h$ で定義される代表水深が，ある程度小さくなると Stokes drift 流速が大きくなり，不規則波と規則波の差が顕著になるという結果と同じである。但し，不規則波の Stokes drift 流速は，規則波よりも大きく，これは方向スペクトルでの高周波数の自由波の扱いによる差である。南風 $\theta = 180^\circ$ のケースでは，方向スペクトル特性の空間分布については，方向分散は 5～20 の範囲で変化するものの，岸沖の違いは見られない。一方で， Q_p はフェッチの短い沖波で大きく（集中大），波の伝播方向に従い小さく（集中度が低く）なる。西風の $\theta = 270^\circ$ のケースでは， Q_p は全般的に大きく，Stokes drift 流速もこれに対応した結果となっている。

図-6 は，wave2d の計算結果における最上層の Stokes

(a) $\theta = 180^\circ$

(b) $\theta = 270^\circ$

図-5 風速 10m/s 一様風による Stokes drift の感度解析，空間分布，1 時間平均（10 月 7 日 06 時 00 分-07 時 00 分），左上：wave1d：Stokes drift（ベクトル）：波高（シェード），左上：wave2d：Stokes drift（ベクトル）：波高（シェード），左下：wave2d： Q_p ，右下：wave2d： σ_θ ，最上層（20/20）

drift 流速ベクトル，波高， Q_p ， σ_θ の時系列である。代表点として，図-4 における P1 の結果を示している。低波高時 Stokes drift 流速は非常に小さく，また Q_p および σ_θ の変化がそれぞれ 3.0 ~ 5.1 および 4 ~ 20 の範囲と小さいため，Stokes drift の変動もゆっくりとしたものとなっている。 Q_p と σ_θ を比較した場合， Q_p の時間変動の方が激しく，これはスペクトル型波浪モデルのスペクトル形状，特に高周波側の変動が大きいためである。以上の結果，今回用いたモデルにおける不規則波の Stokes drift の影響は，波高が大きく変化しない場合でも，方向スペクトル形状の変化を大きく受け，方向分散および周波数分散の評価が重要であることがわかった。

図-6 風速 10m/s 一様風による Stokes drift の感度解析，時系列（10 月 7 日），wave2d，赤：Stokes drift 流速，黒：波高，青： Q_p ，マゼンダ： σ_θ

図-7 再現計算結果，空間分布，1 時間平均（10 月 7 日 05 時 00 分-06 時 00 分），左上：wave1d：Stokes drift（ベクトル）：波高（シェード），左上：wave2d：Stokes drift（ベクトル）：波高（シェード），左下：wave2d： Q_p ，右下：wave2d： σ_θ ，最上層（20/20）

(2) 紀伊水道沖を対象とした再現計算

最後に紀伊水道沖を対象とした海洋流動再現計算を行った。計算対象期間は 2009 年 10 月 7 日から同年 10 月 10 日である。10 月 9 日には台風 18 号 (Melor) が接近しており，計算範囲において強風・高波のイベントが生じた。気象条件は基本的に気象庁 MSM-GPV データを与えた。海洋の側方境界条件として，自由表面は Sommerfelt 境界条件，3 次元流速には放射条件を与え，潮汐には TPXO7.2 のデータを用いた。

今回は，詳細な計算結果の解析は行わず，前節と対応する Stokes drift 流速の空間分布と波浪スペクトルの関係について議論を行う。図-7 は，10 月 7 日 6 時の表層における Stokes drift 流速（ベクトル表示），波高 H_s ， Q_p ， σ_θ の 1 時間平均値の空間分布図である。有義波高は最大で 2.8m であるが，四国・紀伊半島の間では 1.5m 以下である。このときの方向分散は最大で 45 度であり，

狭い範囲で 15 度程度のゆらぎを持つ。一方、 Q_p の空間変動は非常に大きく、波高変化の大きい北緯 33.25 度付近で局所的な周波数分散の集中がみられる。外洋よりも沿岸部における Q_p の空間変動は細かく、これは地形の影響と風向きの局所変化の影響を受けている。

図-7 に示す Stokes drift については、主波向は同じ値を与えているため、wave2d, wave1d 共に同様の空間パターンを示している。しかし、計算ドメイン南部の周波数分散の比較的大きい (Q_p の小さい) 海域では wave2d の Stokes drift 流速が大きい。また、これらの海域で Q_p は 4 以上の値を示しており、下層に向かって Stokes drift 流速の減少は大きく、25m 以下の水深では、両者の差は大きくない。また、方向分散の空間分布の不均一性も小さくなく、水深の浅い海域でも方向分散よりも周波数分散の影響が顕著である。

5. 結論

本研究では、不規則波に対する Stokes drift 流速について、幾つかの数値実験を行った。理論的な検証の後に、領域海洋モデル ROMS に不規則波の Stokes drift 流速を考慮した計算を実施した。得られた結果としては、周波数分散および方向分散の影響は大水深よりも kh がある程度小さい水深で顕著であることがわかった。得られた数値モデルを用いて、紀伊水道沖を対象とした理想計算と過去の気象条件の計算を行った。不規則波を考慮することにより、水深の浅い海域で高周波成分により Stokes drift 流速が大きくなり、規則波との違いが表れた。

以上の結果、今回用いたモデルにおける不規則波の Stokes drift の影響は、波高が大きく変化しない場合でも、方向スペクトル形状の変化を大きく受け、方向分散および周波数分散の評価が重要であることがわかった。

謝辞：本研究は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラムおよび科学研究費補助金による成果である。

参考文献

- 1) Kenyon, Kern E.: Stokes Drift for random gravity waves. *J. Geophysical Research*, Vol.74, No.38, pp.6991-6994. 1969.
- 2) Breivik, O., Janssen, P. A. and Bidlot, J. R.: Approximate Stokes drift profiles in deep water. *Journal of Physical Oceanography*, Vol.44, No.9, pp.2433-2445, 2014.
- 3) Uchiyama, Y., McWilliams, J. C. and Shchepetkin, A. F.: Wave-current interaction in an oceanic circulation model with a vortex-force formalism: Application to the surf zone. *Ocean Modelling*, Vol.34(1), pp.16-35, 2010.
- 4) Warner, J. C., Armstrong, B., He, R. and Zambon, J.: Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (COAWST) modeling system. *Ocean modelling*, 35(3), 230-244. 2010.
- 5) McWilliams, J. C., Restrepo, J. M., and Lane, E. M.: An asymptotic theory for the interaction of waves and currents in coastal waters, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.511, pp.135-178, 2004.
- 6) Uchiyama, Y., McWilliams, J. C. and Restrepo, J. M.: Wave-current interaction in nearshore shear instability analyzed with a vortex force formalism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol.114(C6), 2009.
- 7) Mellor, G.: The three-dimensional current and surface wave equations. *Journal of Physical Oceanography*, Vol.33, No.9, 1978-1989, 2003.
- 8) 今井優樹, 森信人, 二宮順一, 安田誠宏, 間瀬肇: 不規則波浪の Stokes Drift を考慮した海洋・波浪結合モデルを用いた沿岸流の解析. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I.511-I.516, 2016.
- 9) 森 信人・山口 翼・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇: 風波の方向スペクトル幅の現地観測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I.091-I.095, 2012.
- 10) Mori N., Onorato M., and Janssen P. A. E. M.: On the Estimation of the Kurtosis in Directional Sea States for Freak Wave Forecasting. *J. Phys. Oceanogr.* Vol.41, pp.1484-1497, 2011.

(2017.3.15 受付)

OCEAN SURFACE CURRENT UNDER WAVE-CURRENT INTERACTION ON RANDOM WAVES IN OPEN OCEAN

Yuki IMAI, Nobuhito MORI, Junichi NINOMIYA and Hajime MASE

It is important to accurately estimate the wave-induced current, Stokes drift, in analysis of the ocean circulation. This study proposes a novel expression of Stokes drift on random waves for open ocean. Specifically, the Stokes drift could be calculated from wave directional spectra and that was inserted to a numerical model for performing a simulation of open ocean circulation. The Stokes drift velocity profile calculated by the numerical model could express high-frequency contribution that the Stokes drift could not penetrate deeper. The developed numerical model was validated through theoretical and experimental simulation. Finally we tried to perform simulation with the model on real bathymetry and analyze ocean surface current.