

平成 22 年度修士論文要旨

(東京大学大学院 新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻)

漂流船舶が着床式洋上ウインドファームに及ぼすリスクに関する研究

Research on the risk of offshore wind farm gravity based foundations caused by drifting ships

学籍番号 096642 岡山 真也

指導教員 鈴木 英之 教授

(平成 23 年 3 月 24 日修了予定)

Keywords: ウインドファーム 船舶 衝突 リスク 漂流

Keywords: ship, drift, windfarm, collision, risk

## 1 序論

地球温暖化や石油の枯渇, 日本のエネルギー事情から, 再生可能エネルギーが注目されている。その中でも風力発電は世界各国で導入が進められている。そのなかでも洋上における風力発電は風況の面で魅力的である。一方洋上には船舶も航行しており, 船舶との衝突が洋上風力発電において大きなリスクとなる。風車が大型化している現在, 事故によるリスクは大きくなっているのではないだろうか。そこで本研究では, 風や潮流, 波に流される漂流船舶と風車との衝突のリスクを定量的に評価した。

## 2 先行研究

日本には船舶と風車の衝突に関するリスク研究はなされていないものの, 漂流船舶の運動に関する研究が上野ら(2002)や原ら(2006)によって行われている。

海外ではヨーロッパで Henk ら(2005)により衝突を解析し, それを踏まえて船舶に損傷を与えにくい風車の形状を提案した。

## 3 本研究の目的

本研究では  $WF$  全体としてみたリスクを定量的に評価することを通じて, 洋上  $WF$  の配置に関する提言を行うことを目的とした。

## 4 想定するシナリオ

まず,  $WF$  を設置したことで, 海域に航路が決められると仮定する。この海域では多くの船舶が航行しており, 年間数隻の船舶が何らかの理由で漂流を開始する。船舶は風や波, 流れの影響で漂流をしてゆき, 漂流船舶の内ある船舶は  $WF$  に進入する事無く漂流を続け, ある船舶は  $WF$  に進入する。  $WF$  に進入したとしても必ず風車に衝突するわけではない。全く衝突せずに通り抜ける船舶もあれば, 何度も衝突を繰り返す船舶もあるだろう。

以上のシナリオを定式化すると船舶と  $WF$  の連鎖衝突リスク  $TOTAL\_RISK$  は以下ようになる。

$$TOTAL\_RISK [\text{円}/\text{年}] \quad (1)$$
$$= \iint_{v, \theta} N_{SHIP} \times C_{collision\_WF} (i, v, \theta) \times P_v(v) \times P_\theta(\theta) dv d\theta [\text{円}/\text{年}]$$

式中の  $N_{ship}$  は漂流し,  $WF$  に進入する年間船舶数,  $C_{collision\_WF}$  は衝突による  $WF$  全体の損害額

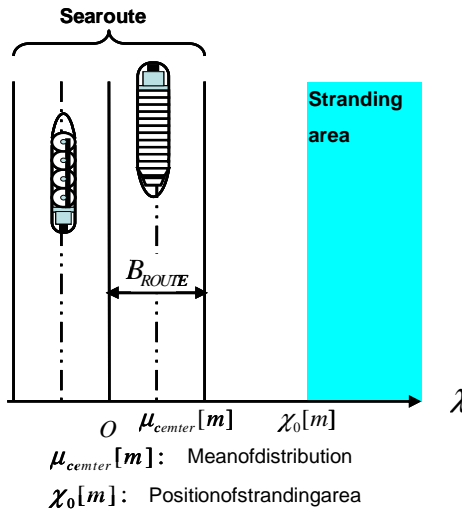


Fig.1 Kurushima model

Table.1 approach in WF probability

$\chi_{WF} / B_{ROUTE}$	Approachingprobability
1	$4.95 \times 10^{-2}$
1.2	$1.03 \times 10^{-2}$
1.4	$1.93 \times 10^{-3}$
1.6	$1.36 \times 10^{-4}$
1.8	$8.16 \times 10^{-6}$
2.0	$3.18 \times 10^{-7}$
2.2	$9.01 \times 10^{-9}$
2.4	$1.40 \times 10^{-10}$
2.6	$1.70 \times 10^{-12}$
2.8	$1.00 \times 10^{-15}$
3.0	$1.00 \times 10^{-15}$

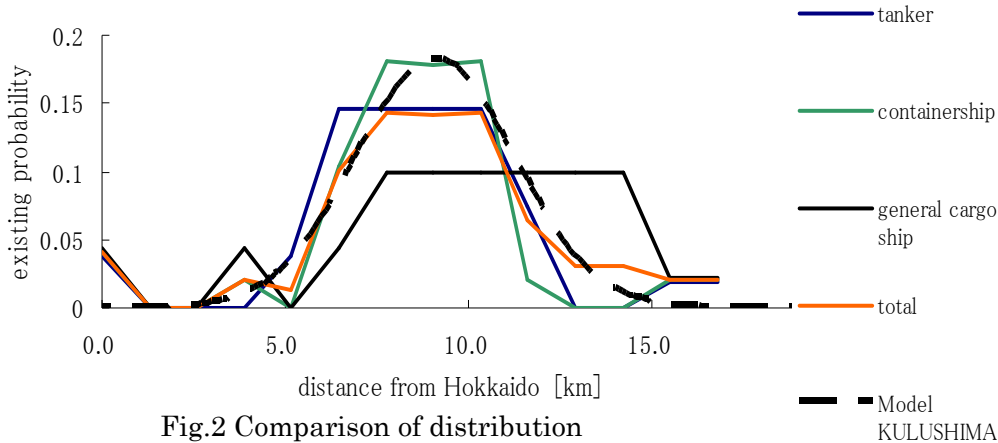


Fig.2 Comparison of distribution

である。  $P_v$  と  $P_\theta$  は風速と風向の発現確率である。

### 5 漂流確率モデル

航路を設定されている場合の船舶の分布モデルを輻輳海域である来島海峡を元に作成した(来島モデル)。また、来島モデルを津軽海峡にスケーリングし、その結果と AIS(自動船舶識別装置)データから得られた船舶の分布を比べた。結果は図のようになり、津軽海峡のコンテナ船に関しては分布が来島モデルとは異なるが、タンカーとコンテナ船、一般貨物船の合計した分布は来島モデルに類似することが分かった(Fig.1)。このことから、航路幅を設定した場合の海域では来島モデルを用いて  $WF$  に進入する船舶の割合を推定することは妥当といえる。来島モデルを航路幅  $B_{ROUTE}$  と  $WF$  までの距離の関係から  $WF$  に進入する船舶の確率を求めると Table.1 となる。

### 6 漂流衝突シミュレーター

船舶が漂流すると、風速や風向により船体の動きが変化する。そしてそれは衝突時の風車の損害額にも影響を及ぼす。この影響を考えるに当たり、漂流衝突運動のシミュレーターを作成した。船舶の運動は2次元平面のみを考慮した方程式(式(2))を、風車の運動については2要素モデルの運動方程式(式(3))を作成した。どちらの運動方程式もルンゲクッタ4次精度法を用いて解いた。式中  $F_{x,y}, N_G$  は

船体固定座標における外力と外力によるモーメント,  $m_{x,y}, I_G$  は付加質量を考慮した船体の質量と慣性モーメント, 船体固定座標の X 方向 Y 方向の速度を  $u, v$ , 加速度を  $\dot{u}, \dot{v}$  とした. yaw 方向の角加速度は  $\ddot{\phi}$  である.  $I_{t,c}$  はタワーとケーソンの慣性モーメント,  $M_{t,c}$  はタワーとケーソンのモーメント,  $F, F_{xt,xc,yc}$  はそれぞれ衝突による外力と, タワーとケーソンの水平方向に加わる力, ケーソンに働く垂直方向の力となっている. 外力は波漂流力<sup>[3][4]</sup>, 風圧<sup>[1]</sup>, 流体力<sup>[2]</sup>を考慮し, 衝突時の外力は切り裂き実験<sup>[5]</sup>のモデルを用いた.

風は日野スペクトルを, 波はブレットシュナイダー・光易スペクトル<sup>[6]</sup>を用いてモデル化した. また平均風速により有義波高, 有義波周期が決定されるとした.

$$\begin{cases} F_X = m_x(\dot{u} - v\dot{\phi}) \\ F_Y = m_y(\dot{v} + u\dot{\phi}) \\ N_G = I_G\ddot{\phi} \end{cases} \quad (2)$$

$$I_t\ddot{\theta}_t = M_t + F_{yt}L \quad (3)$$

$$(I_c + m_c l^2)\ddot{\theta}_c = F_{yc}H + F_{zc}\frac{B}{2} - M_c + M_0$$

$$F = F_{yt} + F_{yc}$$

## 7 結果

### 7.1 損害の期待値 $C_{collision\_WM}$ と衝突隻数.

2MW 風車で 9km×9km の領域に総発電量 200MW 程度の **WF** を作成する(**WF1**). 一辺に10基, 一基ごとの間隔が1kmである. この **WF** に対して総試行回数 2880 回のシミュレーションを行った. 2MW 風車は1基あたり 8 億円/基とした. また, 漂流船舶は 6000ton 級のタンカーとした.

この時の平均衝突数と損害額の期待値は Fig.2 のようになる. 船体の初期位置により, 損害額に 5 倍程度の違いがある. これは船舶を **WF** の100m 手前から漂流開始させており, 正面の風車と衝突する確率が高くなるためである. 下図を平均すると, 損害額は 21,532,408 [円/隻]となる. 船舶が一隻漂流すると風車 0.07 基分の損害を出すことになる.

### 7.2 TOTAL\_RISK

具体例として, 銚子港周辺の情報を元に仮想海域を設定し, 2MW 風車を用いた **WF** のリスクを算出する. 銚子には年間約 3 万隻の船舶が入港している. また, 銚子港と利根川を挟んで反対側に鹿島港があり, 年間約 1 万 5 千隻が航行している.

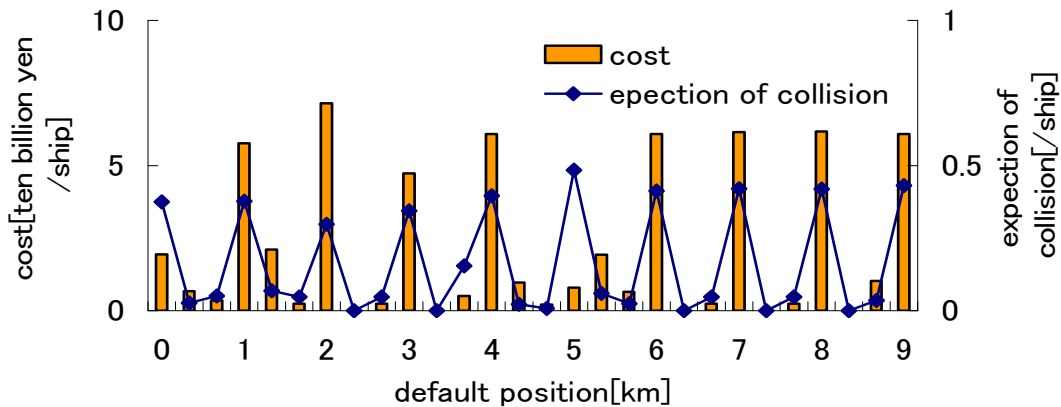


Fig.3 ship default position and cost relationship

この合計 4 万 5 千隻が通る航路を片側 1km で設置し、WF は航路から 1km の地点に設置されたとする。この時、船舶が WF に進入する船舶数  $N_{ship}$  は Table.1 から約 0.014 隻/年となる。これらの船舶が、WF に与える損害の期待値は、Fig.2 を平均した 21,532,408[円/隻]であり、式(1)から **TOTAL\_RISK** は約 33[万円/年]とできる。耐用年数を 20 年とすると、この期間に衝突による損害額は 658 万円となる。20 年間で風車 0.007 基分の損害額となった。次に比較のために 9km×9km の領域に総発電量 200MW 程度の風車群を 5MW の風車を用いて作成する (WF2)。5MW 風車の形状は 7×6 基とし、風車の衝突による最大費用を 20 億円/基とした。2MW の損害額期待値と 5MW の損害額期待値は Fig.3 のようになった。

## 8 考察

Fig.3 において、位置が 0km,1km,2km,⋯9km の時に損害額が大きいのは、目の前に風車があるからである。このことにより目の前の風車に衝突をするケースが多くなり、位置における平均をとると 0km,1km,2km,⋯9km での衝突による損害額期待値が高くなる。

また Fig.4 では WF2(5MW×42)の損害額が WF1(2MW×100)の 0.88 倍、衝突期待値は WF2 が WF1 の 0.61 倍である。このことから風車一基の出力を上げ、WF 内の風車数を少なくすることにより WF 全体の衝突期待基数が下がり、その結果損害額期待値も下がると言える。

また、航路を設定した場合にだが、リスクを下げる方法としては航路から遠ざけることが Table.1 から有効であるといえる。航路から WF までの距離と航路幅の比を 2 とした場合には 20 年間のリスクは風車 0.007 基分であり、単純に大型火力発電設備クラス(1000MW)の WF を設置した場合にも、そのリスクは風車 0.04 基分である。

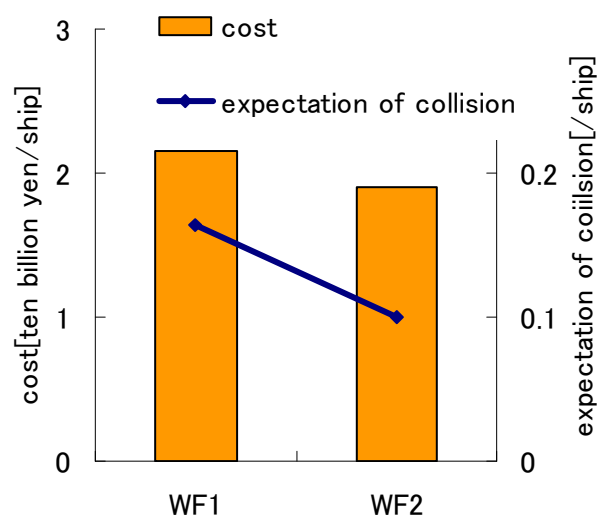


Fig.4 cost comparison of 2 class windfarm

## 9 結論

本研究では着底式洋上 WF の連鎖衝突リスクを定量的に扱う手法を提案した。そして洋上 WF は、風車を大型化し、基数を減らした WF の方が小型で基数の多い WF よりもリスクが小さくなることが分かった。また航路の脇に 200MW の WF を設置する場合には、航路の中心から WF までの距離と航路幅の比を 2 とするとリスクは 20 年間で風車 0.007 基分であることが分かった。

## 参考文献

- [1] 藤原 敏文, 上野 道雄, 二村 正: 船体に働く風圧力の推定 The Society of Naval Architects of Japan 1998
- [2] 吉村 康男: 浅水域の操縦運動数学モデルの検討 (第 2 報) The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers
- [3] 谷澤 克治, 南 真紀子: 非線形シミュレーションによる波漂流力の推定, 第 72 回船研研究発表 講演会集, 1998, pp181-185
- [4] 上野 道雄, 二村 正, 宮崎 英樹: 航行不能船舶の定常漂流運動について, Journal of the Society of Naval Architects of Japan (192), 103-111, 2002-12
- [5] 大坪 英臣: 衝突・座礁事故と船体強度, 船の強度と災害防止シンポジウム, 1993
- [6] 光易 恒: 海洋波の物理, 岩波書店, 1995
- [7] 社団法人日本鋼構造協会: 構造物の耐風工学, 東京電機大学出版局, 1997