

台風時における湾内錨泊船の漂流予測手法に関する研究

A Study on drifting prediction method of anchored vessels in the bay during typhoon

都市人間環境学専攻 徳永 正吾

Civil, Human and Environmental Science and Engineering Course Shogo TOKUNAGA

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響で日本に災害をもたらす台風及び降水の強度や頻度が増大するとされており、将来の台風は強い勢力を保ったまま日本に接近する可能性がある。これにより沿岸地域では高潮災害リスクの増大とともに、それに伴う湾内での船舶の座礁・衝突事故も多く発生することが懸念される。

近年では、2018年9月4日に近畿地方に襲来した2018年台風21号(アジア名: JEBI)により、大阪湾では記録的な暴風雨や高潮による浸水のため甚大な被害が発生し、関西国際空港でも滑走路やターミナルビルが浸水した。さらに関西国際空港から南東に約1.6 kmの位置に停泊していた船舶が、錨を下ろしたまま強風により船舶が流される「走錨状態」に陥り、関西国際空港連絡橋と衝突する事故が発生している。また、2019年9、10月に東京湾を通過した台風15号(アジア名:FAXAI)、19号(アジア名:HAGIBIS)により、主に関東地方を中心に高潮・高波や降雨で甚大な被害が及び、東京湾では錨泊していた多くの船舶が走錨に陥っていたことが確認された。台風15号時には、横浜市南本牧のはま道路に、強風により走錨に陥った貨物船が衝突する事故も発生している。このような衝突事故を防ぐためには、錨鎖を使用した適切な錨泊方法や、例え走錨状態に陥っても衝突事故に至らないような適切な停泊位置をとっていることが重要である。船舶を走錨に至らせる外力として、風、波浪が挙げられる。笹ら¹⁾は、波浪と風の両方を外力として考慮したインパルス応答関数による運動方程式と錨鎖による外力も考慮した解析を行い、港外避泊船舶の走錨から座礁に至る海難状況が定性的に再現されることを示した。台風時の船舶の動向に関して、高橋ら²⁾は2007年台風9号通過時の、浦賀航水路の可能航行容量について検討を行っており、山本ら³⁾は2018年台風21号時の大阪湾を対象に、船舶の避泊実態だけでなく走錨についても分析を行っている。

一方で漂流物にはその漂流挙動に不確実性が伴うことが多くの研究で示されている。船舶を「漂流物」とすると、津波時における漂流挙動の不確実性には、その水流や漂流物の特性などが挙げられ、津波時における漂流挙動の不確実性に関する研究は実験・数値計算ともに多く検討がされている。しかし、台風時におい

ては水流だけでなく、「風」という外力が漂流挙動に大きく影響することが示されており⁴⁾、風による船舶への外力を考慮する上で、気象場予測精度も大きく船舶の漂流挙動に影響することが考えられる。

船舶の走錨についての再現解析や、津波時における漂流物の漂流挙動の不確実性に関する検討、また気象場の予測計算精度についての研究は多くされているが、これらを網羅的に検討した例、台風時における船舶のリアルタイム漂流予測についての検討例は無い。

よって本研究では、台風時における湾内全錨泊船のリアルタイム漂流予測手法を構築する。また、様々な不確実性を考慮した複数ケースの検討による漂流挙動のばらつきとリアルタイム予測手法の適用性について検討を行う。

2. 予測対象とする台風と湾内錨泊船の詳細

(1) 2019年台風15号と台風19号の詳細

対象とする台風は主に関東地方に甚大な被害を及ぼし、船舶の走錨が多く確認された2019年台風15号と2019年台風19号とし、対象とする湾は東京湾に所在していた全船舶とした。本検討では台風予測、高潮予測、船舶漂流予測いずれについても事後的に予測計算を行った。

(2) AISデータ

AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置)はすべての旅客船、300総トン数以上の国際航海に従事する船舶、500総トン数以上の国際航海に従事しない船舶への搭載が義務付けられている。AISデータとは、AISから発信された情報であり、船舶の船名、位置、針路、速力、目的地などの情報を自動的に識別することが可能である。それぞれの台風時におけるAISデータを用いた東京湾における船舶の動向について図-1に示す。また、本検討で行う船舶漂流計算に用いる船舶の情報はAISデータから入手した。

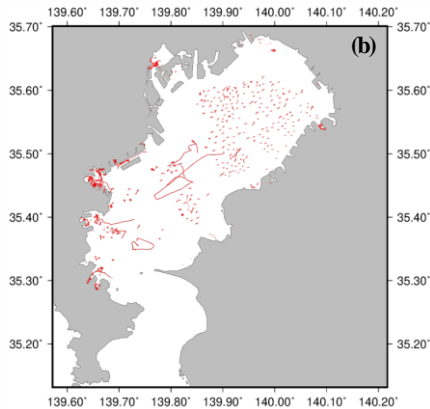
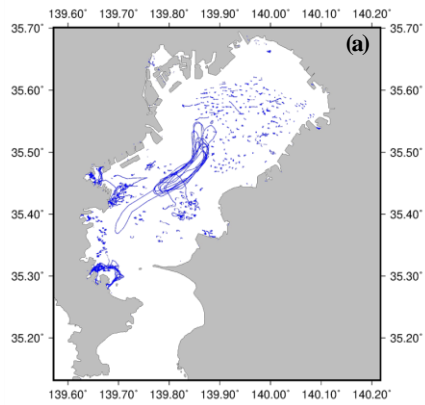


図-1 (a) 2019年台風15号の船舶動向図
(b) 2019年台風19号の船舶動向図

3. 数値モデルと研究手法

(1) 数値計算モデル

a) 台風予測方法

本検討では、台風予測に WRF(Weather Research and Forecasting model)を用いる。WRF は米国大気研究センター(NCAR)と米国環境予測センター(NCEP)を中心として開発され、学術研究と天気予報の両方に対応している領域気象予測モデルである⁵⁾。

b) 高潮推算方法

本検討では、高潮推算を富田ら⁶⁾が開発した高潮津波シミュレータ STOC(Storm surge and Tsunami simulator in Oceans and Coastal areas)のうち、鉛直方向に静水圧近似を用い、連続式と運動量方程式を連立して解く方法である多層海洋モデルSTOC-MLを用いて潮位偏差を推算する。

c) 船舶漂流計算方法

船舶の漂流解析には、高潮津波シミュレータ(STOC)のうち漂流物移動解析モデルSTOC-DM⁷⁾を用いた。このモデルは池谷ら⁸⁾を参考にモリソン式を拡張したものであり、漂流物長軸方向の力、長軸垂直方向の力およびヨウモーメントの3成分を評価する。本研究では、船舶

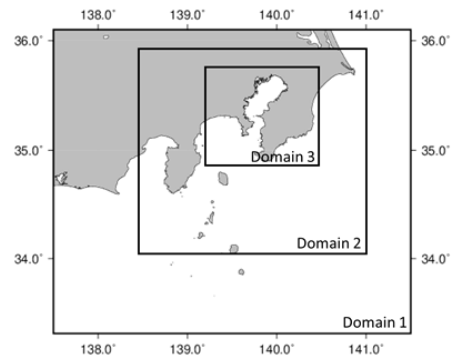


図-2 高潮推算領域

表-1 各台風における予測計算ケース

2019年台風15号		2019年台風19号	
	予測開始時間		予測開始時間
case.1	9/5 0:00	case.5	10/8 12:00
case.2	9/6 0:00	case.6	10/9 12:00
case.3	9/7 0:00	case.7	10/10 12:00
case.4	9/8 0:00	case.8	10/11 12:00

表-2 高潮推算と船舶漂流計算の計算条件

領域	Domain1	Domain2	Domain3
格子数	200×200	360×360	360×360
格子サイズ	2430m	810m	270m
時間刻み幅	1.0s	1.0s	1.0s

に作用する抗力として、水流による抗力に加え、風による抗力を考慮したモデルを用いる。

(2) 予測計算手法

WRFで予測された風場・気圧場をSTOC-MLに受け渡し、水位・流速場を計算する。最終的な船舶の漂流予測は、STOC-DMに風場・水位・流速場を受け渡し計算を行う。尚、WRFで予測された風場をSTOC-DMの空間解像度に応じて時間・空間的に線形内挿し、船舶に作用させる風場とした。また、本来ならば錨鎖による抵抗を考慮した手法により、外力が錨鎖による抵抗を上回った時点を実用上漂流開始とするのが最適であると考えられるが、本検討ではリアルタイム予測を想定し、計算時間短縮のため各船舶位置で設定した任意風速以上になった場合、漂流を開始する手法を用いる。

(3) 計算条件

台風予測、高潮推算共に計算領域は各台風で同様に検討を行った。

a) 台風予測計算条件

日本全体を取り囲む計算領域で全球計算を行い、その後2段階ネスティングにより、予測計算を行った。本検討では、予測開始時間を台風上陸約4日前から1日前まで1日毎に予測開始時間をずらした各台風4ケース毎の計算を行った。各台風の予測ケースを表-1に示す。

b) 高潮推算条件

高潮推算における計算領域、計算格子間隔は内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の地形・水深データに基づいて作成した。最外側の計算格子間隔は2430 mで設定し、計算領域外周部において透過境界とした。1/3ずつ2段階のネスティングを行い、最小領域は東京湾を覆う様に設定し、計算格子間隔は270 mで設定した。海底面の粗度係数はマンシングの粗度から計算を行った。計算条件、計算領域をそれぞれ表-2、図-2に示す。

c) 船舶漂流計算条件

船舶漂流計算は高潮推算の最小領域のみで計算を行う。計算条件を表-2に示す。台風15号、19号の計算対象とする船舶数はAISデータから情報を得ることができたそれぞれ292隻、270隻とした。船舶の漂流開始条件においては荒天時において錨鎖の把駐力が外力に抵抗しうるとされている風速である20, 25, 30, 35 m/sの4ケース設定した。また、漂流計算で用いる入力データとして、船舶の長さ・幅・喫水・高さ・初期船首角が必要だが、船舶の高さについてはAISデータからは得られないため、船種・総トン数・長さ・幅から船舶の海面上高さを推定する方法を用いた。

4. 気象場・高潮予測結果

(1) 気象場の予測結果

各台風の台風強度を図-3に示す。台風15号は、最も予測長さの長い case.1 が強度の観測値と比較すると整合性が低く、case.2 の精度が最も高い。その他のケースは過小傾向が見られるものの、各ケース毎の傾向が見られない結果となった。台風19号においては上陸までの予測期間が長いほど、その影響を大きく受け、予測上で台風が上陸するとされる時間は遅くなる。この影響で地点気象場・高潮ともにピーク値が発現する時間は遅く評価される。台風強度の予測結果に関しては、case.6 の精度が最も高く、また、ケース毎のばらつきが小さく、過小評価傾向にある。

(2) 高潮推算結果

東京港における各台風の高潮推算結果を図-4に示す。どちらの台風時も WRF の計算において、台風速度が過小評価されている影響で台風の上陸が遅れ、潮位偏差のピーク時間にも遅れが見られる。台風15号においては、case.4 が最も精度が高いことがわかる。その他のケースはピーク時刻が早く、ピーク値は過小評価の傾向が確認できる。台風19号においては全体的な傾向としてピーク時刻は上陸の遅れから遅く、ピーク値は過小評価の傾向が確認できる。

5. 船舶漂流予測結果

(1) 漂着地点の実測値と予測結果のばらつき

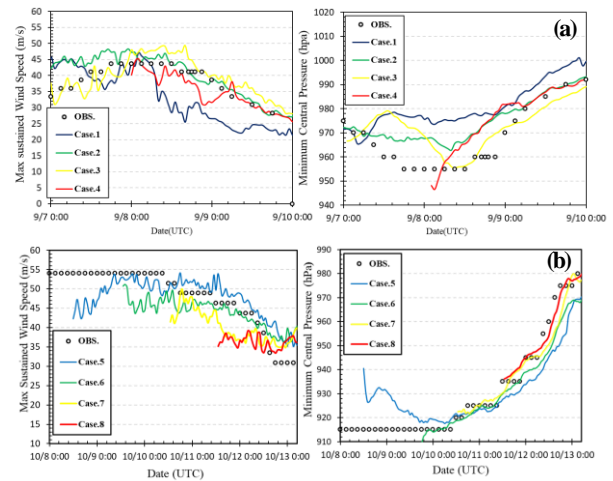


図-3 (a)台風15号、(b)台風19号の台風強度

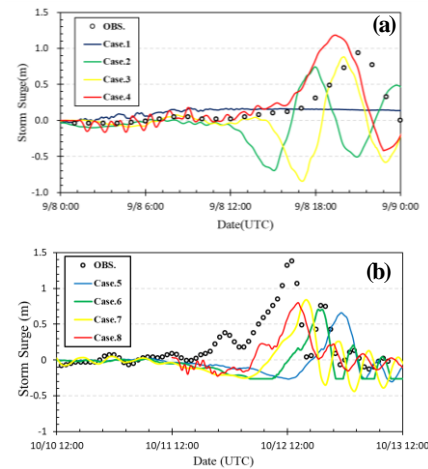


図-4 東京港における(a)台風15号、(b)台風19号の観測値と予測値の潮位偏差比較

図-5は全船舶漂着地点の予測計算結果と実測値のX方向の差分とY方向の差分が各台風で最も小さかったケース(case.3, case.6)のヒストグラムを示している。台風15号においては、X方向、Y方向共に平均的に5 km程、実測値と差があることが確認できる。台風15号時の当時の風向きとしては北東から北方向であり、予測値も同様の風向きであった。予測値と実測値を比較すると多くの船舶は風下方向に差がある、つまり実測値より過大気味に流されていることがわかるが、20~30隻程X方向、Y方向共に正の方向に実測値と差がある船舶がどのケースでも確認できた。これらの船舶は計算結果が過小評価であることを示している。台風19号においては、MAEがX、Y共に台風15号時より小さい結果となった。また、正の方向に差分がばらついていることがわかる。これは台風19号時の風向きは平均的に南から南西方向であり、予測値も同様である。そのため、風下方向に計算値の方が過大評価であることが確認できる。計算上、船舶の漂流挙動は水流による流向より風向きに大きく依存する。また、case.2とcase.6共に風場の精度が最も良く、高潮推算精度より風場の精度が重要であることが

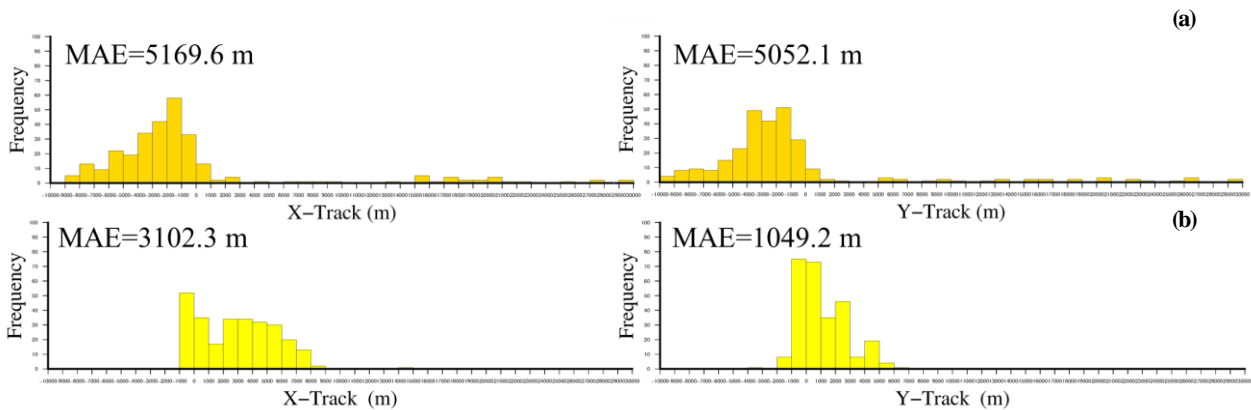


図-5 最も精度の良かった(a)台風15号、(b)台風19号の漂着地点誤差

わかる。しかし、台風の上陸時間については、case.2は実際の上陸時間より早く上陸しており、case.6は遅く上陸しているため、漂流の時間帯としてはずれが生じている。

(2) リアルタイム予測への適用性

本検討では、リアルタイム予測計算開始から台風が実際に上陸するまでの期間と台風・高潮・船舶漂流予測の計算時間の兼ね合いについて検討を行った。case.1,2,3とcase.4,5,6についてはいずれも実際の上陸までに計算が終了しており、台風15号、19号共に日本の海岸線から900~1000 kmの位置に台風が到達した時点で開始した予測で、漂流誤差が最も小さかった。この条件で計算時間が上陸されるとした時間を超えないよう計算手法の改良、計算資源の確保をすることが重要である。

6. まとめ

本研究では、台風時における船舶の漂流予測計算手法を構築し、予測開始時間、船舶の漂流条件を複数ケース設けることで、船舶漂流挙動のばらつきについて検討を行った。また、リアルタイム予測の適用性において計算時間と精度の兼ね合いについて検討を行った。主要な結論を以下に示す。

- ・台風予測モデルの風場を船舶に作用させ、また、漂流開始条件を風速で設定する手法を用いることで複数船舶の漂流予測計算手法を構築し、また計算時間の短縮を可能にした。

- ・実測値における船舶の漂着位置はばらつきが大きく、予測値と比較すると、実測値と比べ殆どの船舶が過大評価であり、船舶漂流の最悪想定ケースが可能である。

- ・船舶の漂流挙動は風場の精度に大きく依存し、本検討では気象場の予測精度が最も高かった予測値が船舶の漂着位置の実測値と誤差が小さい結果となったため、風場の予測精度が船舶の漂流予測精度に大きく依存することを確認した。

- ・計算時間と精度の兼ね合いについて検討を行い、船

舶のリアルタイム予測は可能であることを確認した。

今後の課題として、格子サイズの差による漂流挙動の違いや不確実性の検討、また様々な外力を考慮した漂流挙動について検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 笹健児, 永井紀彦, 白石悟, 米山治男, 水井真治: 荒天時の観測波を用いた船体運動による港外避泊船の安全性評価, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1246-1250.
- 2) 高橋宏直, 後藤健太郎: NILIM-AISによる東京湾避泊実態(平成19年台風9号)に関する分析—浦賀水道航路の航行可能容量に関する考察—, 国土技術政策総合研究所資料, No.431, December 2007
- 3) 山本康太, 江本翔一: AISデータを用いた2018年台風21号時の大阪湾内船舶の避泊実態に関する分析, 国土技術政策総合研究所資料, No.1052, December 2018
- 4) 徳永正吾, 有川太郎: 経験的台風モデルを用いた2018年台風21号による船舶漂流の再現解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第75巻, p.L301-L306, 2019.
- 5) NCAR, UCAR, <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>, アクセス 2020/4/17.
- 6) 富田孝史, 柿沼太郎: 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波の数値シミュレータSTOCの開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, Vol.44, No.2, June 2005.
- 7) 本多和彦, 富田孝史, 西村大司, 坂口章: 多数の津波漂流物を解析する数値モデルの開発, 土木学会論文集B3(海洋開発), 第25巻, pp.39-44, 2009.
- 8) 池谷毅, 朝倉良介, 藤井直樹, 大森政則, 武田智吉, 柳沢賢: 浮体に作用する津波波力の実験と評価方法の提案, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.761-765, 2005