

AIS データを用いた石油コンビナート周辺海域における船舶の沖待ち状況解析

高 欣佳 神戸大学院海事科学研究科
牧野 秀成 大阪大学
古荘 雅生 神戸大学

Analysis on The Situation of Waiting Ship Anchor around Coastal Industrial Zone

Xinjia GAO Department of Maritime Sciences, Kobe University
E-mail: 123w324w@stu.kobe-u.ac.jp
Hidenari MAKINO Osaka University
Masao FURUSHO Kobe University

Abstract

This study has focused on disaster prevention of coastal industrial zone from a point of view in the maritime safety. A maritime accident may cause that maritime transportation is at a standstill and the environment is polluted by oil spills from ships. The damage may even influence in the coastal industrial zone when the disaster occurs in coast. However, the study is to analyze the ships anchor offshore before entering the port. Because the anchor ships commonly crowded together offshore. This causes numerous maritime accidents, including collisions and grounding offshore, especially when ships anchor at the mercy of the wind and current.

The method of this study is to utilize automatic identification system (AIS) data, which make it much easier to conduct studies involving a large number of observations. According to the analysis of AIS data, the situation of anchor ships is determined, and the ships dragging in particular have been understood when anchor in the stormy weather. This study also presents the results of an analysis of how the anchor ships affect the traffic

1 緒言

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では、臨海の石油コンビナートで重大事故が多数発生した¹⁾。特に岩手県や宮城県の沿岸域ではタンクが爆発、炎上し長時間にわたり延焼した。さらに、流出した油は海及び沿岸域を汚染した。今後の地震や津波に対応すべく、臨海コンビナートにおける防災対策が進んでいる。一方、そうした港湾の資源貯蔵基地に資源を輸送するために重要な役割を担っている船舶についてそれら個別の防災対策は昔から講じられてきているが、近年の世界経済の急速な発展により大量物資輸送機能としての船舶はその船体が巨大化し、かつ船舶の交通量も増加しているため、それらに見合った防災対策の再考が必要となる。特に危険物を積載する船舶は、大量の原油や化学物質などを運搬し、混雑時などはそれら船舶が連続して航行しているため、まるで大きな石油タンクが移動する石油コンビナートのように海上や沿岸域に分散している。また、船舶自身の航行は気象・海象や海上の交通状況に影響されやすく海難発生のリスクが高い。航路上やその付近で海難が発生した場合、海上交通がストップし、海上輸送機能が失われる。こうした状況下では、他船も巻き込みでの同時事故が多発的に発生する可能性も考えられる。さらに油流出により、海上火災が発生し環境汚染も起こるため重大な問題を引き起こす可能性がある。

本研究では、上述の様々な海上リスクの起因となる船舶について航行安全及び海難防止の点から船舶が入港する際に港外で入港の順番を待つ所謂“沖待ち”船舶に着目した。この沖待ち船舶は各港の周辺海域に停泊しているため、それらの存

在が多い場合は海上交通の航行安全を阻害するリスクがある。というのも、長時間の港湾付近での停泊は、海上に巨大でしかも若干の漂流を伴う障害物が存在していることと同様であるため、沖待ち船舶が原因となる錨泊待機中の船舶の走錨による衝突や乗揚げ事故が多発している²⁾³⁾。特に、荒天時や台風接近時は船舶が走錨しやすく、多くの危険が潜伏している。もしこの船舶が事故になると、海上に重大な被害を及ぼすだけでなく、船舶から流出した油は臨海のコンビナートに拡散する可能性もある。このような危険性がある沖待ち船舶については、これまでに錨泊時の船体運動やアンカーを考慮した船体振れ回り、または走錨などの解析研究は行われているが、いずれも対象船舶自身に対しての解析であり、実際のデータを用いた検証などはほとんどなされていない。特に、そうした錨泊船舶が多数存在することで危険な状況につながる荒天時における実際の状況を基礎とした客観的な指標に基づく海域対象の研究はなされていない。というのも、これまでそうした錨泊船舶の停泊状況がほとんど把握されていなかったからである。そのため本研究では、AIS（船舶自動識別装置）データの活用により沖待ち船舶を抽出し、停泊の実態を把握した。さらに、荒天時において、船舶が避難のために海域に集中し、沖待ち船舶を含めた停泊船舶の輻輳状況を解析した。

2 AIS データを用いた沖待ち船舶の抽出

2.1 AIS データの活用

AIS は船舶の安全航行、現在位置や針路、船首方位や速度などの動的情報と船種や船長、船幅や目的地・入港予定時間

などの静的情報を相互に自動送受信することで、周囲の船舶の航行状況を把握するための装置である。AIS は SOLAS 条約に従って、対象船舶(国際航海では旅客船と 300 総トン以上、国際航海以外では 500 総トン以上)が義務化されている⁴⁾。AIS データを用いた研究として、海上交通流調査⁵⁾や港湾管理⁶⁾など多くの分野で行われている。本研究においては AIS データを用いて、これまでに実情把握が困難であった沖待ち船舶の抽出や停泊船舶の挙動解析を行った。

2.2 研究対象海域

本研究は大阪湾 (134°54'12"E-135°27'59"E ; 34°15'47"N-34°43'11"N)にある臨海コンビナート周辺の船舶を対象とした。Fig. 1 は対象海域である大阪湾及び臨海工業地帯を示す。この地域では工業が発達し、日本三大工業地帯の一つである阪神工業地帯と呼ばれている。特に石油化学などの重工業は大阪湾の東部に集中し、その面積も大きい⁷⁾。もしこの海域に火災や爆発が起きれば、長時間にわたって続々と火災が拡大する。さらに海上においては、国際戦略港湾を複数存在し常時多くの大型船舶が航行している。加えて、多くの漁場も存在するため、多種多様な船舶が常に輻輳状態な海域である。今後も航行船舶量の増加が予想される。本研究では、上述のような危険が潜伏している大阪湾を研究対象とした。調査期間は 2012 年 3 月 6 日 (火) 及び一週間後 2012 年 4 月 3 日 (火) の二日における船舶の動向を解析した。

調査対象期間 2012 年 3 月 6 日の天候については、気象庁の情報より降雨量は少なく、風もほとんどない状況で、視界は良好であったことが確認された。それに対して、2012 年 4 月 3 日は急速に発達した低気圧が大阪湾を直撃し、海域は午前から暴風雨や高波が強く、巨大台風通過時のような状況であった。当日の午前 9 時の天気図を Fig. 2 に示す。この後、同低気圧は勢力を強めながら東に進んでいく。大阪湾では、特に午後から夕刻にかけて風速 20m/s 以上の強風が断続的に吹き荒れ、和歌山県友ヶ島では最大風速 32.2m/s を観測した。同日の大阪湾内の風速について気象庁の観測データを Fig. 3 (a,b)に示す。Fig. 3 (a) は神戸空港で観測された風速がグラフである。神戸空港周辺海域では 16 時から 17 時にかけて最大風速は 24.1m/s を観測した。また Fig. 3 (b)で示す大阪の南部関西空港辺りでは 13 時から 14 時及び 17 時から 19 時にか



Fig. 1 Osaka Bay and Coastal Industrial Zone

て平均風速 20m/s 以上の強風が観測された。この強風により錨泊船舶は走錨しやすく、衝突や沿岸に乗揚事故が多発する。本研究は天候良好の時及び荒天時の船舶の錨泊状況を解析した。

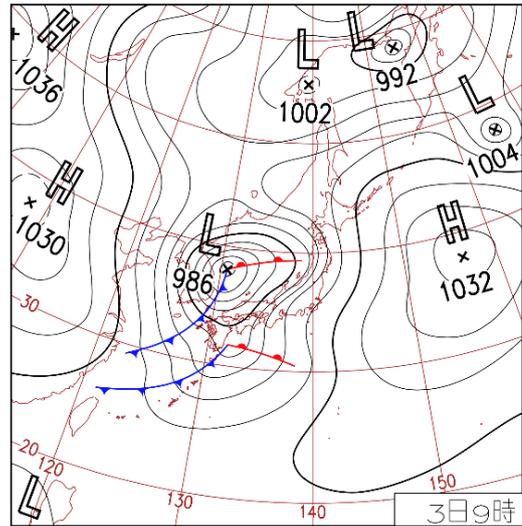
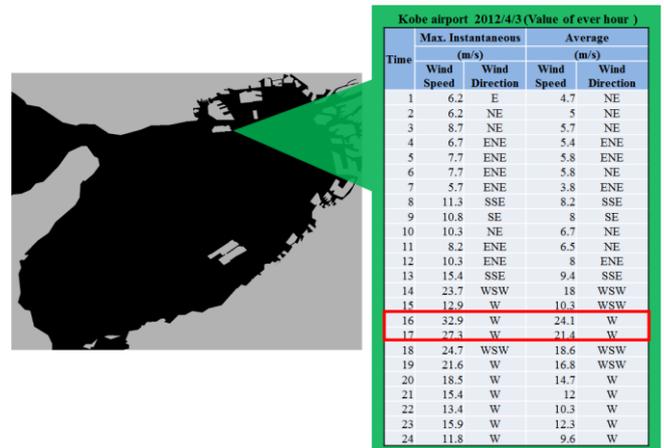
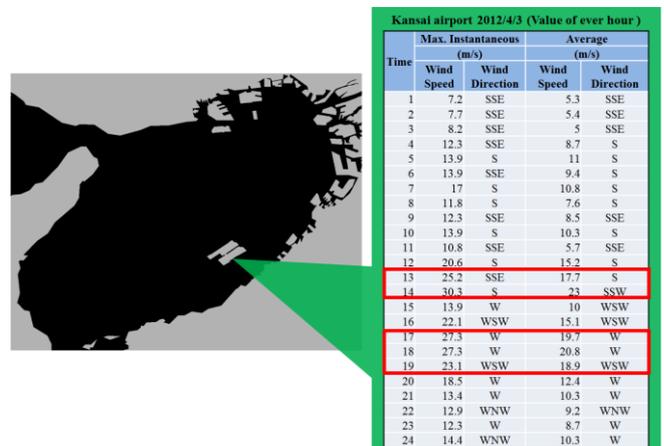


Fig. 2 Weather chart (9AM, April 3) by Japan Weather Association



(a) Observation data at Kobe airport observatory



(b) Observation data at Kansai airport observatory

Fig. 3 Observation data of wind speed and wind direction by Japan Meteorological Agency

AISデータ解析結果から、通常時である2012年3月6日(火)の航行船舶数は275隻であった。また、異常気象・海象時であった4月3日(火)の船舶数は304隻であった。通常時と比較して船舶数が30隻程度多く確認された。その理由として、荒天時には港内に停泊していた船舶が港外に出航したことや、太平洋沿岸を航行していた船舶が荒天避難のために大阪湾内に入ってきたことに船舶数が増加したことが挙げられる。次に、同航行船舶の船種について調査した結果、両日ともに貨物船が最も多く約60%程度を占め、次いでタンカーが約20%であった。平時である3月6日と比較して、荒天時である4月3日は大型貨物船が20隻も増加し、さらに海域内には50隻以上のタンカーの存在を確認した。また、時間毎の船舶数について、4月3日は平時の船舶数より2倍が多く確認された。このことより、大阪湾内には多くの荒天避難の船舶が存在していたことが把握された。

2.3 沖待ちの抽出

“沖待ち”とは、入港予定の船舶が港内における船混みや、その他の事情から港内の係留施設に係留できない場合に港外に投錨・停泊し入港の機会を待つ状態である⁸⁾。通常、船舶の航行状況の把握には、目視やレーダー画像等による観測手法がある。しかし、これらの手法では船舶の船速、船の全長、船種等を正確に把握できない。更に、船舶に関する多くのデータを長期間継続して取得することは非常に手間が掛かり難しい。特に沖待ち船舶の調査において、目視やレーダー画像等手法では船舶の錨泊状態を詳細に把握することが不可能である。これらが要因となり、船舶の沖待ちの実情に関する研究はほとんど存在しない。本研究では、AISデータを用いて沖待ち船舶を抽出する手法を提案する。AISデータの活用により、これまであまり把握されてなかった船舶の沖待ちの実情について、船舶の航行状態を正確にかつ定期的に把握でき、高精度な船舶の動静を詳細に把握が可能である。さらに、この膨大なデータを解析することで、船舶の実航行による海域の特徴が把握できる。

Fig. 4はAISデータから沖待ち船舶を抽出する手順を示す。

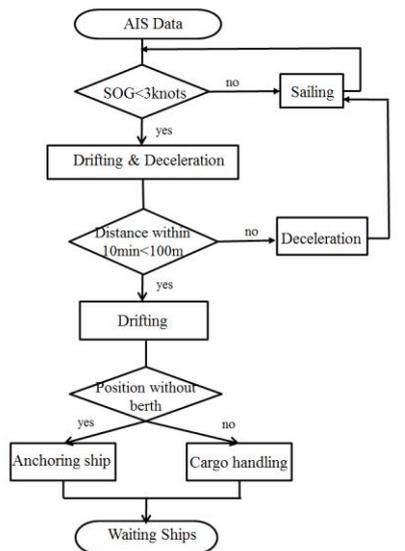


Fig. 4 Process of extraction anchoring ship

はじめに、全 AIS データについて個々の船舶について仕分けを行う。次に、それら仕分けされた個々の船舶とそれに紐づくデータについて、船舶が航行しているか停泊しているかを区別するために船速3ノット未満を閾値とし判別を行った。次に、海域な船舶の航行平均速度によって閾値を設定するが、今回は10分間の船舶移動距離が100m未満の船舶は停泊船を判別した。同時に停泊船舶と判断した船舶の航行時間を記録し、各船舶の停泊時間を推算した。しかし、この停泊船舶では、港外で沖待ちの停泊船舶や港内で荷役するための停泊船、また入港せずに港外で停泊する船舶が含まれている。特に、荒天時や台風接近時は船舶が避難のために港外で錨泊する。これらの停泊船を区別するには最後に港外停泊及びバース内停泊の両方の条件を満たす必要がある。そうして抽出された船舶が沖待ち船舶として選出される。

3 沖待ち船舶の解析

3.1 大阪湾における沖待ち船舶の分布

Fig. 5は2012年3月6日及び4月3日のAISデータを用いて沖待ち船舶について解析を行った結果を示す。両日の湾内航行船舶数はそれぞれ275隻、304隻であった。両日は共に火曜日であり、大阪湾においては1週間の中で航行船舶数の多い曜日である。平時である3月6日に対して、荒天時である4月3日の全航行船舶数は29隻多く確認された。この原因として、湾外を航行していた船舶が荒天のために湾内に避難していたことが挙げられる。沖待ち船舶数については、両日の沖待ち船舶数はほぼ同じであった。また港外に錨泊した船舶については、3月6日は26隻であったのに対して、4月3日は117隻が確認された。その原因として、4月3日は荒天のため多くの船舶は港外に避難したことが挙げられる。上記の解析結果の具体的要因を分析するために、AISデータの船舶の位置情報を基に、地理情報システム上で船舶の沖待ち海域をマッピングし可視化解析を行った。Fig. 6及びFig. 7は調査期間の船種による沖待ち船舶の分布を示す。赤色の三角はタンカーを示し、青色の三角は貨物船を示す。また黄色の領域は大阪湾の石油コンビナートを示し、緑色の領域は港則法による港区内である。この沖待ち分布から見ると、港内錨泊が許可されている船舶以外に、港内錨泊を許可されていない多くの船舶は港区外に錨泊していたことが確認された。さらに各船舶は入港予定の港に近い海域で沖待ちしている現状が把握された。特に、大阪区と堺区北側の南側に危険物を積載

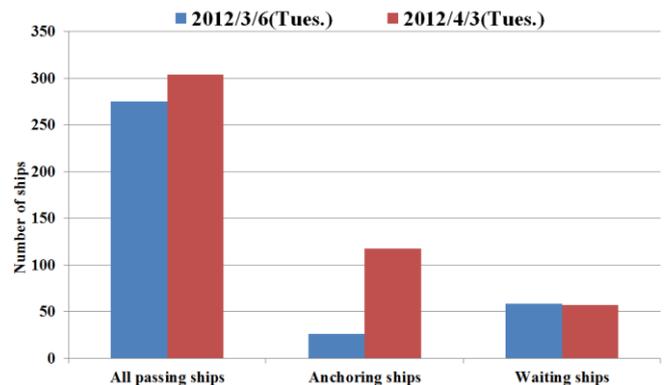


Fig. 5 The number of ships in Osaka Bay

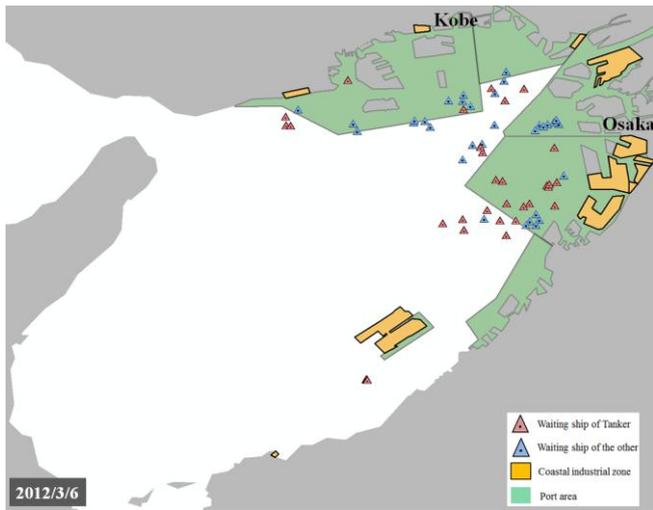


Fig. 6 Location of waiting ship in March 6

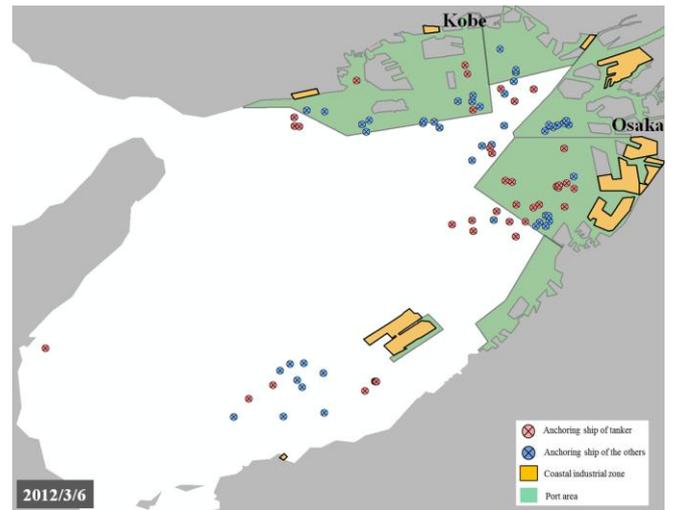


Fig. 8 Location of anchoring ship in March 6 (including waiting ships)

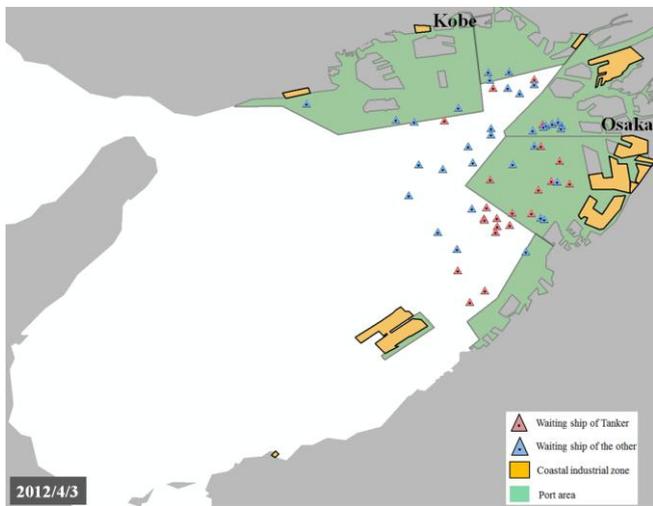


Fig. 7 Location of waiting ship in April 3

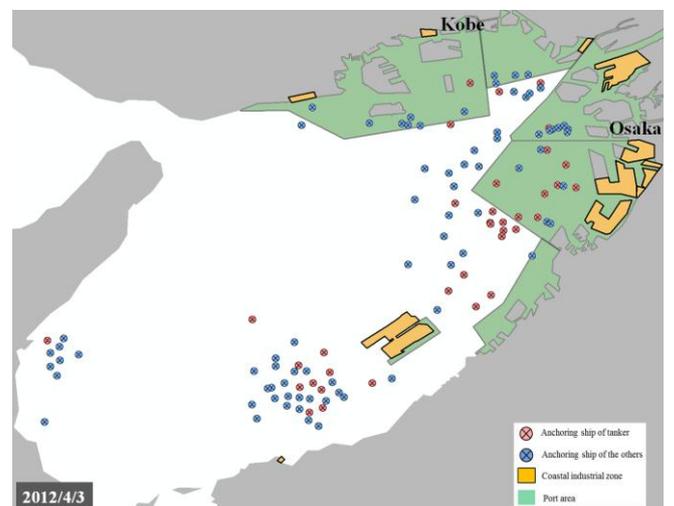


Fig. 9 Location of anchoring ship in April 3 (including waiting ships)

するタンカーの沖待ち船舶数が多いことが確認された。このような沖待ち船舶が過密に集中しているため、衝突などの海難に繋がる危険性が高い。さらにタンカーの沖待ち分布から見ると、大阪湾の石油コンビナートの周辺に多く存在し、5マイル以内の距離で錨泊していることが確認された。このように危険施設から近い距離で海上火災が発生した場合、火災は臨海コンビナートに到達することも考えられる。常時に港周辺に沖待ち船舶が集中しており、沖待ち船舶以外にも関西空港地区の周辺に多くの停泊船が集中している。その錨泊状態は Fig. 8 に示す。しかし、荒天時や津波等の緊急事態が発生する際に、更に多くの船舶は避難するために錨泊することにより、大阪湾に船舶が輻輳な状況になった。Fig. 9 はその状況を示す。図中に沖待ち船舶を含めた全錨泊船舶の分布である。赤色の円はタンカー、青色の円は貨物船を示す。Fig. 8 から3月6日の分布から関西空港周辺に錨泊する船舶が確認された。この海域に錨泊する船舶のほとんどは大阪湾の港に入港することなく明石海峡及び友ヶ島水道を通過する。これらの船舶の錨泊目的は、夜明けを待つための停泊や目的地の

到着時間を調整するための仮錨泊である。Fig. 7 は4月3日荒天時の船舶の錨泊分布を示す。平時に比べ港付近や関西空港や淡路島等の海域で錨泊船が多く存在していたことが確認された。特に堺泉北区の周辺では、タンカーが過密状態で停泊しており、沿岸に近い海域で錨泊していたことが把握された。沖待ち以外には多くの船舶が海上で漂流し、湾内は船舶が輻輳状態であったことも確認された。

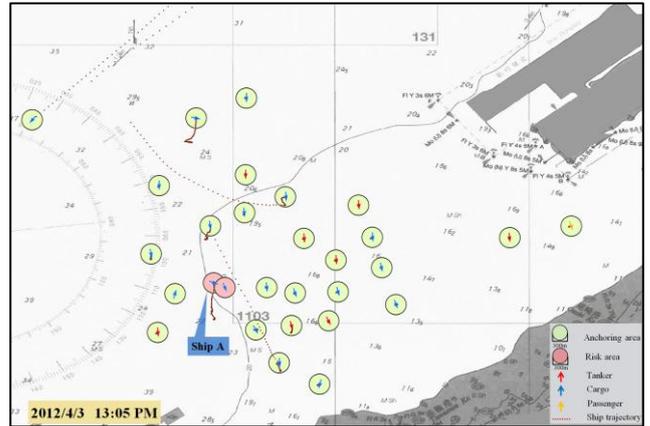
3.2 強風時における湾内停泊船舶の走錨状況把握

台風通過時などの暴風時は錨泊にとって最大の問題である。特に大型船舶は錨泊中に操船困難となり、強風や高波に影響されて把駐力が低下し走錨による衝突や乗揚事故が多発している⁹⁾。ここでは船舶の錨泊状況を把握したことにより、船舶の走錨事情を明らかにした。その結果の例をとって、Fig. 10(a, b, c) は4月3日に関西空港周辺の船舶の走錨実態を示す。鎖長の略算式に従って¹⁰⁾、荒天の時に4D(水深)+145mの鎖長を出せば安心だと言われている⁹⁾。この海域周辺の水深は約15mから20mであり、鎖長の上に更に船舶自身の長

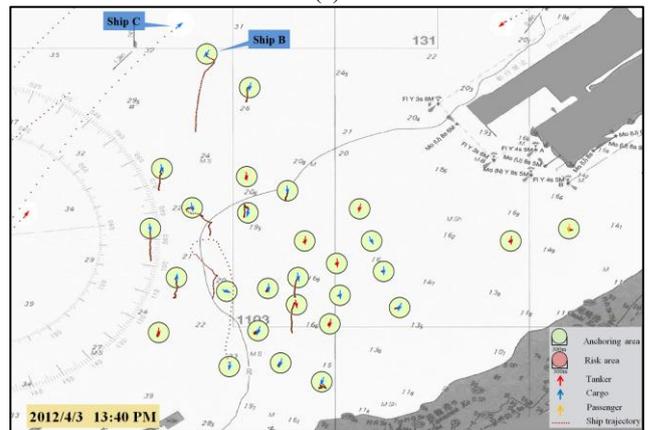
さを加えて、錨泊船は漂流を伴うためにその振れ幅は 300m 以上が必要となる。ここで各船舶を中心に半径 300m の円を用い安全避航水面としてリスク評価を行った。つまり、船舶間の距離は 600m 以下になると衝突の危険が発生する。4 月 3 日の 13 時帯では、この海域には 28 隻の錨泊船が存在していた。これらの船舶は全船長が 100m 以上の中大型船舶がそのほとんどであった。危険な錨泊配置状況として、危険物を積載するタンカーに隣接して多くの乗客を有する客船も錨泊していたことが確認された。船舶が走錨する直前の 11 時台では、船舶間の距離は約 1 マイル (1852m) 程度の距離を保っていた。しかし、12 時から最大瞬間風速が 20 m/s 以上となり、12 時 45 分から多数の錨泊船が走錨し始めた。そのため各船舶の距離が短くなり危険度が増した。Fig. 10(a) は 13 時 05 分の錨泊状況図を示す。図中の矢印は船舶の船首方位を示し、赤色の点線は船舶の 30 分間の航跡を示す。この時点ではこの海域において同時に 8 隻の走錨船を確認した。図中の赤円は船舶の安全避航水面内に船舶が接近したことを示す。南から強風の影響により Ship A は北方向に約 1900m を走錨した。走錨中に後ろの錨泊船とわずか 260m の距離まで接近した。また、錨泊船舶は海中の錨鎖の状態が突っ張った状態にならないように保つ行動をとる。なぜなら、錨鎖が突っ張った状態はアンカーが抜けやすく走錨につながる危険な状態であるからである。錨鎖がこのような状態になればそれを緩める状態にするために船舶は速力を出してアンカーに向かう行動をとるのが通例である。しかし、図で示すようなすでに過密の状況になったこの海域では、船舶自身の移動は他船舶との距離が保てなくなるため、他の錨泊船舶と衝突する可能性があり危険リスクが増大することが判明した。

Fig. 10(b) は 13 時 40 分における船舶の錨泊状況である。この時点で更に多数の走錨船舶が確認された。特に全船長 178m の自動車運搬船 (Ship B) はアンカーを引きずりながら約 2920m の距離を走錨したことが確認された。さらに、この船舶は北方向に漂流し友ヶ島水道及び港との間の航路に重なっていた。その同時刻に、船速 15.2 ノットで航行していた全長 138m のコンテナ船 (Ship C) が 1080m の接近距離を通過した。走錨状態は船舶の操縦も思い通りにできなく船舶自身の動きが風・波などの外的要因に依存してしまうため、このような近接距離を航行することは衝突になる危険が非常に高い状況であった。また、海中は錨鎖も引き連れて移動しているため、航行船舶が錨鎖に引っ掛かり海難となるリスクも考えられる。

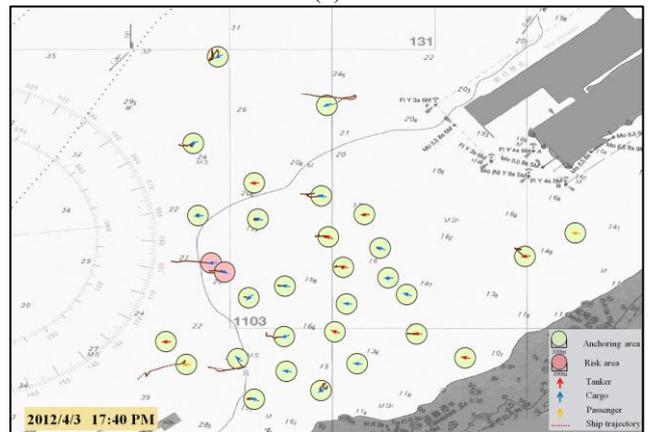
Fig. 10(c) は 17 時 40 分の錨泊船舶の状況である。この時点で 31 隻の錨泊船舶が確認された。風向が西方向になり、29.3m/s の風速が観測された。こうした状況下で図中の赤円で示した 2 隻の走錨船はわずか 380m の距離であった。もしこれらの船舶は衝突や火災等の事故が起きた場合は、錨泊船は過密な状態のため他船にも被害を及ぼすことも考えられるため、連鎖的な海難が発生する可能性がある。さらに、気象の影響により西方向は炎上を沿岸まで拡散する可能性があるため周辺にある関西空港地区や岬地区等の石油コンビナートまで約 4 マイルのため被害は短時間に拡大し更なる重大事故につながる可能性も考えられる。このように、極めて危険なリスクが潜伏していたことが把握された。



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Examples of ship dragging anchor

AIS データを用いた錨泊船舶の解析により、4 月 3 日の走錨船舶を統計した。その結果 117 隻の錨泊船のうち 24 隻 (約 21%) の錨泊船が走錨し、中に危険物を積載したタンカーは 4 隻が存在した実態が把握された。これらの船舶の走錨地点を Fig. 11 中の緑の星印で示す。この分布をみると、走錨船は各港付近に存在し、特に堺泉北区や関西空港周辺の錨泊船が集中している箇所が最も多いことが確認された。海難事故やそれに起因する連鎖災害を防ぐため、沖待ち船舶等の錨泊船や走錨船の状況を把握し台風や津波等の非常時に船舶の安全避難や災害発生後の早期復旧策の構築において重要なデータである。

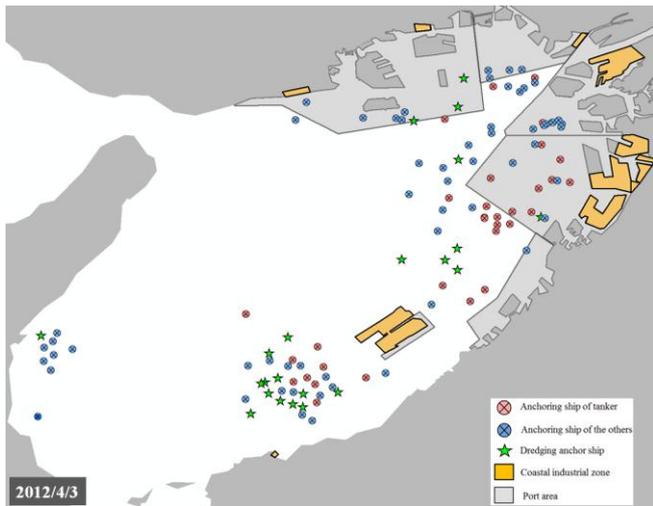


Fig. 11 Distribution of dredging anchor ship in April 3

4 まとめ

本研究は石油コンビナートの防災に関連する海上の安全・安心の視点から、港外に停泊する沖待ち船舶に着目した。この沖待ち船舶は長期間港の周辺に存在し航行船舶にも悪影響するため、海難を引き起こすリスクが高い。特に荒天時に船舶の走錨による事故が多発している。その場合は船舶からの油流出による海上輸送が停滞し、海上臨海のコンビナートにも危険が及ぶ可能性がある。しかし、こうしたリスクの起因となる沖待ち船舶の実情把握を目的とした本研究では、大型船舶に義務につけている AIS から取得したデータを活用することより、沖待ち船舶も含めて錨泊中の事情を解析し、通常時及び荒天時において、船舶の沖待ち状況や走錨実態を把握した。その主な結果は以下のとおりである；

- (1) AIS データから沖待ちを含めて錨泊船舶を抽出できた。大阪湾において、全体航行船舶の約 3 割の船舶は沖待ちした。常時に比べて荒天時に大阪湾の錨泊船舶数が大幅に増加した。
- (2) 船舶の位置情報に従って、大阪湾の沖待ち船舶及び錨泊船舶の位置分布を把握した。船舶の殆どは港の周辺に停

泊し、特に石油コンビナートがある大阪区や堺泉北区の沿岸に集中している。荒天時の際に、この辺りにさらに錨泊船が増加し、関西空港地区にも多くの錨泊船を確認し、海上は輻輳な状況になった。

- (3) 錨泊船の解析により、荒天時に走錨した船舶が存在した。錨泊船の約 21%の船舶は走錨したことがわかった。
- (4) 強風に当たって、船舶がドラックし安全避航領域内に接近したことが確認できた。さらに走錨した船舶の分布を把握した。

本研究の解析結果により、船舶の沖待ち状況の緩和や緊急時における避航対策に役立つ研究に発展させる予定である。

参考文献

- 1) 濱田政則, 樋口俊一, 中村孝明, 佐藤孝治, 飯塚信夫: 東京湾岸の地震防災対策—臨海コンビナートは大丈夫か, 早稲田大学出版部, 2014 年 9 月
- 2) 海難審判所ホームページ, 日本の重大海難, <http://www.mlit.go.jp/jmat/monoshiri/judai/judai.htm>, 2006
- 3) 芳村康男, 雨宮伊作, 松川英輔, 今吾一: 荒天錨泊時の係留力の実験的検証, 日本航海学会論文集 No.121, pp.161-167, 2009.
- 4) SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea. London, International Maritime Organization, 2012.
- 5) 丹羽康之・木本久也: AIS 情報による関門海峡の交通解析, 日本航海学会誌 (研究・調査), pp.82-87, 2010.
- 6) 村井宏一: 港湾管理における AIS の有効利用について, 日本航海学会誌, No.156, pp.57-58, 2003.6.
- 7) 大阪府石油コンビナート等の防災計画, 大阪府石油コンビナート等の防災本部, 平成 26 年 3 月
- 8) 国土交通省中部地方整備局港湾空港部: みなと用語辞典, <http://www.pa.cbr.mlit.go.jp/jiten/index.html>
- 9) 日本海難防止協会: 大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究中間報告, 昭和 42 年 9 月
- 10) 矢野吉治: 船舶の錨泊監視支援に関する研究, 神戸大学海事科学研究科博士学位論文, 2008 年 9 月