



AISデータを用いた船舶沖まち行動の分析 : 阪神港 入港船舶を対象として

小葉, 武史
韓, 成一
若林, 伸和

(Citation)

日本船舶海洋工学会論文集, 11:165-171

(Issue Date)

2010-06-01

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

Copyright©2010 社団法人日本船舶海洋工学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001536>



AIS データを用いた船舶沖まち行動の分析

— 阪神港入港船舶を対象として —

正員 小 葉 武 史* 正員 韓 成 一*
正員 若 林 伸 和*

A Statistical Analysis of the Waiting Activity in Offshore Waters

— A Case of Hanshin Port —

by Takeshi Koba, *Member* Sung-Il Han, *Member*
Nobukazu Wakabayashi, *Member*

Summary

This paper describes the real condition of vessel's waiting activities in offshore waters using the AIS dataset taken by Kobe university. The findings are as follows; (1) large vessels are less frequently waiting, but once they start waiting, the time of waiting is getting long, (2) vessels are waiting for the start of cargo handling at port so that they start waiting from late afternoon and exit from that status in the next morning. This paper also estimates the density function of the waiting time. Using this estimated density, the paper evaluates the effect of weather routing through the change in waiting activities.

1. 緒 言

沖まち行動とは、船舶が港湾における荷役作業開始前にその港湾付近に到着した場合に、入港着岸の前に洋上において錨泊または漂泊する行動である。この沖まち行動の時間を短縮することができれば、船舶の効率的運航が実現でき、沖まちに充てられていた時間を航海時間に繰り入れることで、速力低減による燃料費節約等の経済的効果も期待できる。そのためにまず船舶の沖まち行動の実態を把握する必要がある。言うまでもなく、沖まち行動は洋上で行われるものであるため、港湾統計等の既存のデータを用いることによって分析することができない。また、従来の海上交通観測における一般的な方法である目視による観測では船舶の位置や針路を正確に計測することは難しく、1つの観測地点では観測範囲が限定される上に視程にも影響される。観測は人手によるため大阪湾内の船舶の多くのデータを長期間継続して得ることは事実上不可能である。レーダーによる観測では、船舶の位置、針路を計測するには ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) 機能を利用することになるが、船舶の捕捉を完全に自動化することは現状では難しい上、すべての船舶をレーダー映像から正確に認識するのは、技能をもった者にとっても難しい。またレーダーでは各船舶の種類や大きさ(全長)などのデータは

得られない。さらに1台のレーダーでとらえることができる範囲はレーダー電波の到達距離だけでなく映像の精度からも限定される。したがってレーダーによっても長期間のデータを継続して収集することは難しい。このように、直接目視やレーダーによる観測では、船舶の沖待ち状態の把握に十分な長期にわたってのデータ収集は困難である。これに対して、船舶自動識別装置 (Automatic Identification System, 以下 AIS) のデータは、各船から周期的に自動的に送信される船位、針路、速力、種類、全長その他のデータを受信することで、船舶の沖待ちに関する動向をつかむためのデータを自動的に収集できるため、長期の継続的なデータを容易に蓄積することができる。また、分析に用いた AIS データは神戸大学海事科学部(神戸市東灘区深江)に設置した受信機によるが、この1台で阪神港の沖待ち分析に関わる大阪湾北部をほぼカバーしている。以上より本研究では、沖まち行動の詳細を AIS データを利用して明らかにすることを試みた。

以下では、AIS データを用い、船舶の沖まち行動の実態を明らかにするとともに、沖まち時間の分布関数を推計する。また、その結果を用いて、ウェザルーチング等の利用により目的港到着時刻の分散が低下した場合について、沖まち行動の変化をシミュレーション分析する。以上の分析を通じて、船舶運航・船隊管理の効率化に向けた提言を行うことが本研究の目的である。

AIS は、船舶同士の衝突予防、特定海域における通過船舶とその積荷情報の把握および船舶運航管理業務支援のため、一定の要件を満たす船舶にその搭載が義務づけられる装置である。AIS は、船舶の固有情報(識別番号、船名、船種等)や航海情報(位

* 神戸大学海事科学研究科

置情報、針路、速力等)を自動的に周期的に、VHF 無線により周辺の他船や陸上施設に向けて送信する。2002 年の SOLAS 条約(海上における人命の安全のための国際条約)以降、我が国でも、順次 AIS 搭載義務対象船舶が拡大され、2008 年 7 月 1 日までに、300 総トン以上の外航船舶と 500 総トン以上の内航船舶に AIS を搭載することが義務化された。

AIS 搭載義務化の主な目的は船舶同士の衝突予防であるが、AIS データがもつ以下の性質は当該データが学術目的の利用にも優れた性質を有していることを示す。すなわち、第一に船舶のリアルタイムの動向を把握できるデータであること、第二に集計データではなく個票データであること、第三に搭載義務を満たす船舶については全数調査であること、第四に主観変数を含まない客観データであること等である。AIS の搭載要件が拡大されるにつれて、これらの AIS データが持つ有用性に注目し、安全性を評価する研究²⁾、交通流を把握する研究^{3, 4)}等が蓄積されつつある。本研究でも、AIS データが持つ有用性に留意しつつ、神戸大学海事科学部敷地内に設置された AIS 受信設備および記録装置によって収集された大阪湾内を航行する船舶の AIS データを用いて、船舶の沖まち行動を分析する。既存研究と比較した場合の本研究の特徴は、大量のデータを用いた計量分析を行っている点にある。

以下の構成は次のとおりである。第二章では、分析で用いた AIS データについて解説する。第三章では、AIS データから観察された沖まちの実態について、沖まちな回数と継続時間、開始時刻と終了時刻について観察された結果を報告する。第四章では、沖まち時間の分布関数を推計し、到着時刻の分散が低下した場合の沖まち行動の変化をシミュレーション分析する。また分析結果より、ウェザールーチング等の活用が、船舶の効率的運航に貢献する可能性を指摘する。第五章は分析から得られた知見をまとめる。

2. データ

分析に用いたデータは、神戸大学海事科学部敷地内に設置された AIS 受信設備および記録装置によって収集された大阪湾内を航行する船舶の AIS データである。VHF 電波の到達範囲は、受信設備のある神戸大学海事科学部を中心として、大阪湾の開口部である西の明石海峡航路以東と南の友ヶ島水道以北をほぼカバーしており、大阪湾内を航行する AIS 搭載船舶のうち阪神港入出港船舶から発信されたデータはその動向を把握するに十分なものが受信されている。

分析には、若林・塩谷・小林・庄司⁵⁾によって作成された、AIS データの「見出しファイル」を利用した。若林他⁵⁾の見出しファイルは、リアルタイムに受信される多数の船舶動向データを船舶ごとに追跡処理し、「航海」という単位に整理したものである。ここで航海とは、ある船舶に対して得られた一続きのデータ流れを指す。大阪湾の場合、その開口部が西の明石海峡航路と南の友ヶ島水道に限られるため、そのいずれかを通過して湾内に入ってから、またいずれかを通過して退出するまでが一つの航海となる。中には通過するだけのものもあるが、多くの船舶は一つの航海の間に阪神港に入港している。

見出しファイルは若林他⁵⁾で作成されたものをベースとし、沖まちな分析に利用するために以下の二点の変更を加えた。第一に、船舶が停船中であるか航行中であるかを判定し、停船から航行、航行から停船に変化する際の時刻と位置情報を記録するように

した。なお停船と航行を区別する閾値として速力 2.5 ノットを基準とし¹⁾、低速航行時の過剰な停船判定を防ぐために、30 分未満の停船は停船と見なさない。第二に、船舶が港湾で入港岸中であるのか、港湾の近傍で沖まち中(仮泊中)であるのかを厳密に区別するために、若林他⁵⁾では単純な矩形とされていた港湾の地理的形状を、より実際の形状に近づけた(Fig. 1)。この下で「沖まち」とは、港湾ではない場所において、船舶が 30 分以上停船することである。若林他⁵⁾の見出しファイルはカンマ区切りテキスト(csv)ファイルであるが、そのデータを元に上述の条件によって沖まちな判定を行うプログラムを Excel VBA を用いて作成した。Fig. 1 において、2 は友ヶ島水道、3 は明石海峡である。4 が阪神港神戸区、5 が同尼崎西宮芦屋区、6 が同大阪区(北港地区)、7 が同大阪区(南港地区)、8 が同堺泉北地区とみなす矩形領域を示しており、友ヶ島水道と明石海峡より内側で 4 から 8 の領域以外の 1 の部分を、沖まちなために停止する可能性のある大阪湾の海域とする。すなわち、1 の区域内で一旦停止(速力 2.5 ノット以下)し、30 分以上同じ場所にとどまった後、再び動き出してから 4 から 8 の領域内で停止(これを入港岸とみなす)した場合に、1 の区域内での停止状態を沖まちと判断する処理を行っている。なお、これらの領域は実際の港域とは異なり、AIS の船位データ(緯度・経度)から、入港中であるか沖合に位置しているかを判別するために本研究において設定したものである。

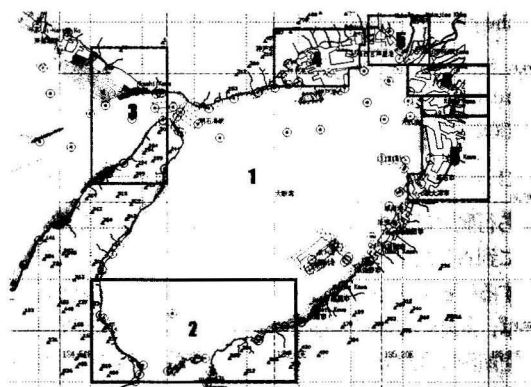


Fig. 1 Numbering for regions

データ処理に際し、航海の間、全く寄港せずに単に大阪湾を通過しただけの場合は、あらかじめサンプルから除いた。また、阪神港の場合、一回の航海の間に複数の港に寄港することがあり、寄港と寄港の間に沖まちを行うこともある。以下では、これらの複数港寄港の間の沖まちについては除外して、大阪湾外から入ってきた船舶の沖まちな議論を限定する。複数港寄港の間の沖まちなは、港湾間の連携や夜間入出港に関する取り決めなどの多くの要素が関係する。このこと自体、重要な論点を含んでいるが、これらの問題は別途詳しく検討されるべきものと考えられる。

分析に用いたデータの期間は、2008 年 7 月から 2009 年 6 月までの一年間である。すでに述べたように、2008 年 7 月 1 日以前は AIS 搭載義務のある船舶の要件が順次拡大される経過措置

1 厳密に 0 ノットとしないのは、たとえ錨泊中であっても、風浪の影響によりわずかに移動することがあるからである。なお、AIS データには錨泊中であるかどうかを示すデータ項目が含まれているが、これは観測側の手入力によるため信頼性に欠ける場合があると判断し、分析には GPS 位置情報の変化を用いた。

の期間であった。このため 2008 年 7 月以降にデータを限定することで、母集団の性質が変化するという問題を回避することができる。当該期間（365 日）における、サンプルサイズ（全航海数）は 44322 であった。このうち漁船や観光船は停船の目的が異なることから、貨物船に限定した分析を行う。貨物船の航海数は全航海数の 56.3%にあたる 24959 であった。

なお、通常想定される沖まちは異なるケースが、プログラムにより沖まちと判定される場合として、以下の四点を挙げることができる。第一に荒天時の入港規制、第二に水先案内人乗下船のための停船、第三に燃料補給のための停船、第四に危険物の沖荷役である。しかし以下に述べる理由により、これらの誤判定による問題は軽微であると考えられる。まず、第一の荒天時の入港規制について、分析に用いたデータ期間において、台風が原因による港長からの避難勧告措置は一度もなかった。また、同期間の神戸空港における気象観測データによれば、阪神港における夜間入港禁止の規程である風速 15m/s を超える最大風速を観測した日が 6 日あった。この日に入港を見合わせ沖合で仮泊した船舶があったかどうかは AIS データからは判断できないが、365 日中 6 日と日数が少ないため、分析の結果を大きく変えるものではない。第二の水先案内人の乗下船については、停船せずに併走して乗り移るのが普通である。荒天時には停船することもあるが、この場合にも停船時間は短いため、30 分未満の停船を沖まちに含めないことにより対応できる。第三の燃料補給について、まず外航船舶については、日本で補給するよりも燃料費の安い外国で補給するケースが多い、また日本で補給する場合でも、荷役中に本船が着岸状態で小型油送船が接舷して荷役と燃料補給を同時に行う場合が多い。洋上で燃料補給のために停船する場合があることは事実だが、阪神港においては分析の結果に影響するほど頻繁ではない。第四の危険物の沖荷役については、沖荷役後に寄港しなければ、通過としてあらかじめサンプルから除外されている。

3. 沖まちな行動の実態

AIS データを用いて観察される沖まちな行動の実態について、船舶の大きさと沖まちな回数・時間の関係、沖まちな開始時刻と終了時刻について報告する。

3.1 船舶の大きさと沖まちな

Table 1 は、船舶の全長と沖まちな行動の関係についてまとめたものである。ここで全長の区分について、一般に内航船は比較的小型のものが多く、ほとんどが 99m 以下である。200m 以上は一般に巨大船として扱われ、さらに 300m をこえるものは超巨大船となり、その大きさゆえ行動が制約されることも多くなる。小型のものと巨大船の間として 100m~199m には、ハンディバルカーと呼ばれる内航・外航ともに多用される標準的な積み貨物船等が多く含まれる。以上の理由により Table 1 のような全長による区分を用いることにした。

Table 1 におけるサンプルは貨物船のみである。Table 1 の上パネルに一航海あたりの平均沖まちな回数を、下パネルに平均沖まちな時間を示した。N の列はサンプルサイズを表す。平均沖まちな時間については沖まちを行った貨物船のみを対象として計測した。

全長と平均沖まちな回数の関係について、全長が 99m 以下の船舶は一航海あたり平均して 0.294 回の沖まちを行う。換言すれば 3 回から 4 回の航海の間に 1 回の沖まちを行う。全長が長くなるほど沖まちな回数は少なく、300m を超える船舶では 16 回

Table 1 Length of vessels and waiting

Length(m)	Times per Voyage	N
~99	0.294	9647
100~199	0.236	11474
200~299	0.063	2954
300~	0.057	246
Total		24321

Length(m)	Waiting Time(hrs.)	N
~99	9.073	2023
100~199	8.496	1842
200~299	11.829	148
300~	17.772	13
Total		4026

から 17 回の航海の間に 1 回の沖まちを行う。一方、全長と沖まち時間の関係では、全長が長いほど沖まち時間が長い傾向がある。これらは有意水準 1% で統計的に有意な関係である。沖まちな回数を船舶の全長に回帰（順序 Probit 分析）させた場合の係数は -0.00421 で 1% 有意、沖まちな時間を船舶の全長に回帰（Tobit 分析）させた場合の係数は .00832 で 1% 有意であった。

大型船舶の場合、投錨行動に時間と労力がかかるため、沖まちを回避した場合の費用削減効果大きい。このため沖まちをせずに速力の制御によって到着時刻の調整を図っている場合が多いと思われる。また、大型船舶ほど速力の制御を行った場合に節約できる燃料費も大きい。さらに、阪神港においては、大型船舶を有する大手の海運会社が自社専用のバースを使用している。この場合、たとえ船舶が早着したとしても、陸上施設側の対応により、ただちに入港着岸が可能である場合が多く、沖まちな行動は生じにくい。大型船舶が沖まちをする場合は、速力の調整や陸上施設側の対応によって回避できなかった場合に限られ、その結果、ひとたび沖まちを行うことになったならばその継続時間は長くなる。

3.2 沖まちな開始時刻と終了時刻

Fig. 2 は沖まちな行動の開始時刻の分布を、Fig. 3 は沖まちな行動の終了時刻の分布を表す。横軸は 24 時間制の時刻（地方時）を表し、0 は午前 0 時を表す。Fig. 2 と Fig. 3 を比較すると、沖まちな開始時刻は、終了時刻と比べて広範囲に分布している。沖まちな開始は 15 時頃よりその発生率が増加し、深夜早朝にかけて高い発生率となっている。一方、日中の発生率は低い。これは夕方から早朝にかけて到着した船舶が、明朝の荷役作業開始まで待機していることを示唆する。沖まちな終了は 7 時頃に集中している。このことは Fig. 4 に示される入港時刻と対応させると理解しやすい。ここで「入港時刻」とは Fig. 1 で港湾を表す矩形領域 4 から 8 において船舶が停船した場合にその停船が開始された時刻である。入港時刻は午前 8 時頃に集中しており、船舶は朝の入港に備えて沖まちを解消したと考えられる。阪神港における港湾荷役作業は一般に 8 時半開始¹⁾であることを考え合わせると、船舶は朝の荷役作業開始に向けて沖まちを解消し、入港していると考えられる。

沖まちな開始時刻と終了時刻（フロー）が明らかになったので、大阪湾内に平均何隻の船舶が沖まち中であるか（ストック）を時刻の関数として表すことができる。Fig. 5 はこの関係をグラフにしたものである。Fig. 2 と Fig. 3 より、任意の時点 t から一定時間 Δt が経過したときに、大阪湾内で沖まちな開始または終了というイベントが生じる確率が分かる。これらをそれぞれ $p_t \Delta t, q_t \Delta t$ とする。ある時刻 t において X_t 隻の船舶が沖まち

中であった場合、一定時間が経過した後の時刻 $t + \Delta t$ に沖まち中である船舶の数は $X_{t+\Delta t} = X_t + (p_t - q_t)\Delta t$ と表される。この式から得られる沖まち中の船舶数を時刻の関数として Fig. 5 に示した。Fig. 5 より 15 時頃から沖まち中の船舶が増加し始め、7 時頃に一気に解消している様子がわかる。大阪湾では早朝 5 時から 6 時頃に最大 8 隻から 9 隻の船舶（AIS 搭載船）が沖まちの状態にあることもわかった。

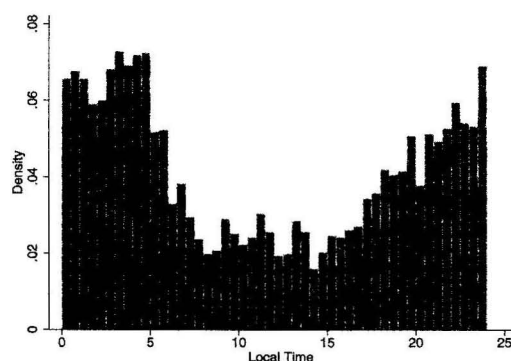


Fig. 2 Beginning of waiting

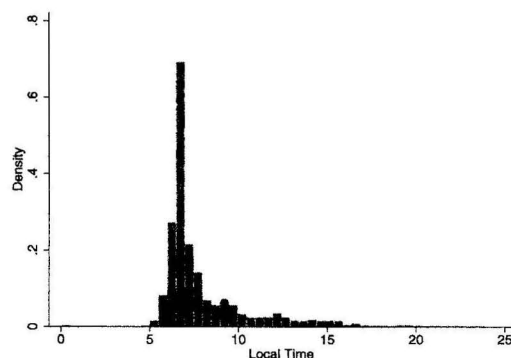


Fig. 3 Ending of waiting

4. 沖まち時間の分布

Fig. 6 の上パネルは、観察された沖まち時間（沖まちを開始してから終了するまでの時間）の分布であり、下のパネルは、観察された沖まち時間の分布を元に本節で説明する方法で推計した密度関数である。沖まち時間の密度関数を推計することで、たとえばウェザールーティングの利用により、到着時刻の分散が低下した場合などの反事実的（counterfactual）な状況下における沖まち行動の変化を、シミュレーション分析を用いて議論することができる。

4.1 密度関数の推計

密度関数の推計にあたり、まず沖まち時間が正規分布に従うと仮定した。また負の沖まち時間を延着時間と解釈する。正の沖まち時間は到着予定時刻（たとえば阪神港における荷役作業開始時刻である午前 8 時半）に対して船舶が早着したことを表し、負の沖まち時間は到着予定時刻に対して船舶が遅着したことを表す。

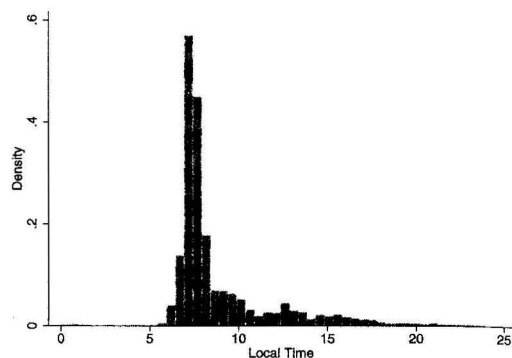


Fig. 4 Beginning of port call

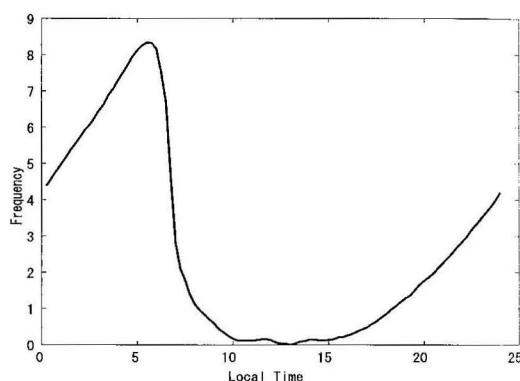


Fig. 5 Size of waiting pool

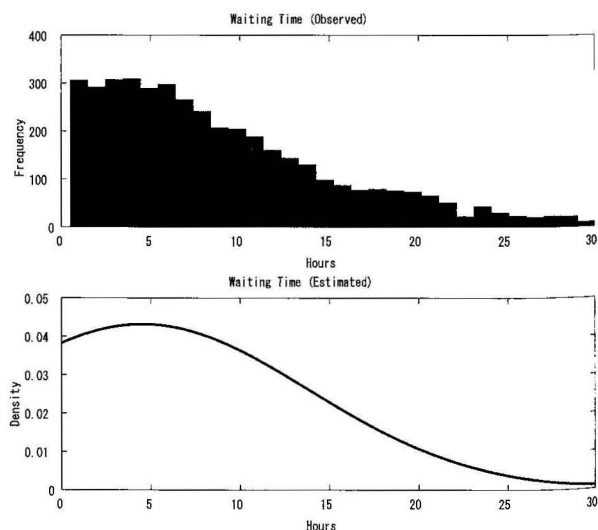


Fig. 6 Distribution of waiting time

ただし、現実には負の沖まち時間として表される延着時間は観察されないから、実際に観察される沖まち時間の分布は正規分布の右側のみ（左側打ち切り正規分布）となる。

すべての船舶が唯一の到着予定時刻（荷役開始時刻）を目指して航行すると仮定しよう。この仮定は、Fig. 3と Fig. 4で見たように、入港時刻が荷役開始時刻の直前に集中していること、沖まちの終了時刻がさらにその直前に集中していることから妥当な仮定である。この下で、船舶が気象海象の影響など何らかのランダムな要因によって早着または延着するならば、実際の到着時刻の分布は到着予定時刻を頂点とする正規分布を呈する。さらに、延着した場合は直ちに入港可能であると仮定するならば、沖まち時間の分布はゼロを頂点とする正規分布の右半分となる。

観察された沖まち時間の分布（Fig. 6上パネル）と以下で述べる方法によってデータにフィットさせた左側打ち切り正規分布（Fig. 6下パネル）を見れば、正規分布の頂点はゼロではなく正值を取る。具体的には推計された正規分布の頂点は4時間33分である。これは、船舶が延着を防ぐために、時間的な余裕を設けつつ航海し、入港直前になって沖まちを行っているためと推測される。このことは、沖まちの終了時刻が入港時刻の直前に集中していることに整合的である。この延着回避行動は、正規分布の頂点の右側へのシフトを引き起こす²。また、Fig. 6の上下のパネルを比較すると、実際のデータでは頂点の左側に分布の積み上がりが見られる正規分布からの乖離が存在する。これは、先に仮定したように、延着した船舶は直ちに入港するのではなく、数時間だけ後回しにされる場合があることを表すと推測される。延着した船舶が直ちに入港した場合には沖まちを行わないので、サンプルから除外される。しかし、延着した船舶が後回しにされるのであれば、その間は沖まちをして待つことになるからサンプルに含まれてしまう。このサンプルが、打ち切り点に近い、頂点の左側部分を中心に積み上がっていると考えられる。

このように、延着して入港を後回しにされた船舶が存在するならば、頂点より左側のデータは、当初の正規分布の仮定と比較して、攪乱を受けている可能性が高い。よって、密度関数の推計にあたっては、比較的攪乱を受けていないと考えられる頂点よりも右側のデータのみを用いることにした。密度関数推計の手続きは以下のとおりである。

1. 任意の平均候補 $\bar{x}_0$ を設定する。
2. 観察された分布について $\bar{x}_0$ の右側を、左側に反転させ、左右対称の分布を生成する。
3. 生成された分布について、4次のモーメント $\text{Kurt}(\bar{x}_0)$ を計算する。
4. $\text{Kurt}(\bar{x}_0)$ と正規分布の4次モーメント（3であることが知られている）との差が、ある閾値よりも大きい場合には平均候補 $\bar{x}_1$ を選びなおして手続き1から繰り返す。

ここでは、比較的攪乱を受けていないと思われる頂点右側のデータのみを用い、正規分布の仮定と積率母関数の一意性を利用して密度関数の推計を行っている。

観察データに基づいて推計された沖まち時間の密度関数（Fig. 6下パネル）は、平均4時間33分（4.557時間）、標準偏差9時間14分（9.237時間）の正規分布を $x = 0$ において、その左側を打ち切ったものである。打ち切り点より左側の累積密度は31.1%であった。ここで得られた平均とは、早着して沖まちを行っている船舶の沖まち時間の最頻値である。また打ち切り点より左側の累積密度は延着危険率を表す。この部分は負の沖まち時間が生じる確率を表しているが、沖まち時間は正值で定義されるから、現実には負の沖まち時間が観察されるわけではない。正の沖まち時間は到着予定時刻に対して船舶が早着したことを表し、負の沖まち時間は到着予定時刻に対して船舶が延着することを表している。よって打ち切り点より左側の累積密度を延着危険率と呼ぶことにした。現実には延着した船舶はすぐに入港着岸するか、数時間だけ後回しにされる場合がほとんどであり、これらの船舶の沖まち時間はゼロまたは微小な正值として観測される。

4.2 分散低下のシミュレーション分析

ウェザールーティングの活用などにより、到着時刻の分散が低下した場合を考える。上述の密度関数の推計にあたっては、唯一の到着時刻を目指して航行する船舶の到着時刻が正規分布を呈する理由として、気象海象による攪乱を考えた。ウェザールーティングによって、この気象海象による攪乱を低減することができれば、到着時刻の分散ないし標準偏差が低下する。このとき、船舶の航海行動を一定として、延着危険率を減少させることができる。また、延着危険率を一定として、沖まち時間を短縮することができる。このことを Fig. 7のパネル(a)–(c)に示した。パネル(a)は観察データから推計された沖まち時間の分布（平均4.557、標準偏差9.237の正規分布）である。ウェザールーティングによって標準偏差が σ に低下することを考える（パネル(b)）。このとき平均回りに分布が集中することから、打ち切り点（沖まち時間ゼロ）より左側の累積密度すなわち延着危険率は0.311から h へと低下する。またパネル(c)に示すように標準偏差が σ へと低下した新しい分布の下で、当初の延着危険率0.311を許容するならば、沖まち時間の最頻値を4.557から d だけ減少させることができる。パネル(c)に示した状況下では、ウェザールーティングによる分散の低下によって延着危険率を上げることなく、より低速での航海が可能になることを意味するから、燃料費の削減にも貢献することが期待される。

具体的には、任意の標準偏差 σ に対応する航海行動一定の下での延着危険率 $h(\sigma)$ および、延着危険率一定の下での沖まち時間の最頻値の変化分 $d(\sigma)$ は次のように求められる。

$$h(\sigma) = \Phi(0; 4.557, \sigma) \quad (1)$$

$$d(\sigma) = \Phi^{-1}(0.311; 4.557, \sigma) \quad (2)$$

ここで $\Phi(x; \bar{x}, \sigma)$ は平均 $\bar{x} = 4.557$ 、標準偏差 σ の正規分布の累積密度関数、 $\Phi^{-1}(h; \bar{x}, \sigma)$ は同じ平均と分散をもつ正規分布の累積密度関数の逆関数である。(1)について、Fig. 7のパネル(b)より、標準偏差 σ に対応する延着危険率 $h(\sigma)$ は平均4.557、標準偏差 σ の正規分布の $x = 0$ における累積密度である。(2)について、Fig. 7のパネル(c)を $d(\sigma)$ だけ右にシフトしたパネル(d)を考えれば、沖まち時間の最頻値の変化分 $d(\sigma)$ は次の式をみたすことが分かる。

$$0.311 = \Phi(d(\sigma); 4.557, \sigma)$$

² シフト後の分布が正規分布になるために、すべての船舶が同じ長さの余裕時間を設ける必要はない。個々の船舶がそれぞれランダムな余裕時間を取ったとしても正規分布の加法性により、正規分布に従う2変数の和は再び正規分布に従う。

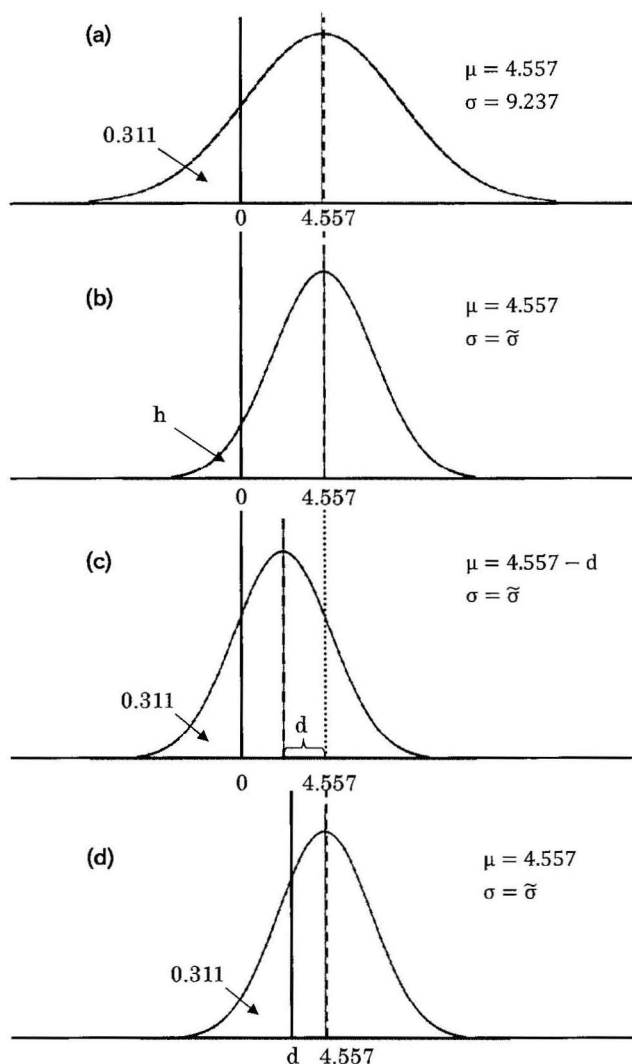


Fig. 7 Diminishing variance simulation

この式を $d(\sigma)$ について解いたものが (2) である。

標準偏差が元の値 (9 時間 14 分) の 90%、80%、75% に低下した場合の延着危険率と沖まち時間の最頻値を (1)(2) より求め、Table 2 にまとめた。標準偏差が元の値の 75% に低下した場合、船舶の航海行動を一定として、延着危険率を 31.1% から 25.5% へと低下させることができる。また、延着危険率を一定として、沖まち時間の最頻値を 4 時間 33 分から 3 時間 25 分へと、1 時間 8 分程度短縮することができる。

Table 2 Decrease in variance simulation

S.D. (magnification)	Hazard Rate	Diff.	Waiting Time	Diff.
1.00	0.311	—	4.557	—
0.90	0.291	▲ 0.020	4.101	▲ 0.456
0.80	0.268	▲ 0.043	3.645	▲ 0.911
0.75	0.255	▲ 0.056	3.417	▲ 1.139

5. 結 言

本研究は、神戸大学海事科学部敷地内に設置された AIS 受信設備及び記録装置によって収集された AIS データを用い、阪神港に寄港する船舶の沖まち行動について、その実態を明らかにした。また、沖まち時間の密度関数の推計を行い、到着時刻の分散が低下した場合のシミュレーション分析を行った。

分析から得られた知見をまとめると以下のとおりである。まず、船舶の大きさと沖まち回数及び時間との関係について、大型船舶ほど沖まち回数が少ないが、ひとたび沖まちを行えば、それは長時間にわたることがわかった。このことは、大型船舶ほど沖まちを回避した場合に節約できる費用が大きいことが原因と考えられる。沖まちの開始時刻と終了時刻の観察からは、夕方から早朝にかけて到着した船舶が、翌朝の荷役作業開始まで待機している様子が明らかになった。これら船舶の沖まち行動の実態は、港湾統計など既存のデータを用いては分析できないものであり、AIS データを用いることによって初めて明らかにされた。また、統計処理のための十分なデータが容易に得られる AIS データを用いたことで、従来の直接目視やレーダーによる観測では困難と思われる沖まちの分析を長期継続的なデータを用いて行うことができた。

沖まち時間の密度関数の推計と分散低下シミュレーションからは、ウェザールーチング等の利用によって、延着危険率の低下や沖まち時間の短縮など、船舶の効率的な運航がどの程度達成できるかを、数量的に明らかにした。ただし、ここで得られた結果は、到着時刻の分散がある割合で低下したという架空の状況を想定して算出したものである。この結果が現実にも意味のあるものとなるためには、ウェザールーチングの活用によって、実際に分散がどの程度低下するのかを計測し、技術的に意味のある値を代入する必要がある。この点について今後の重要な課題としたい。

謝 辞

本研究は、文部科学省特別研究推進「輸送の三原則を統合した国際海上輸送システム創出の研究」の一環として行ったもので、関係者の方々のご協力・ご指導に厚く御礼申し上げます。

本研究は、その草稿段階において、日本船舶海洋工学会関西支部会、日本海運経済学会関西支部会において報告し、出席者の方々より多くの有用なコメントをいただきました。また日本船舶海洋工学会論文集の 2 名の匿名レフェリーからも有用なコメントをいただきました。記して感謝申し上げます。なお含まれうる誤謬は全て著者の責に帰します。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省海事局港湾課：港湾の 24 時間フルオープン化について，2003.
- 2) 瀬田広明，鈴木治，鎌田功一，天野宏：AIS を用いた海上交通のリアルタイム解析－ES モデルによる操船困難性評価－，日本航海学会論文集，第 115 巻，45-50 頁，2006.
- 3) 田中隆宏，長澤明，山田多津人，山本淳：AIS による海上交通評価に関する研究 I－来島海峡周辺における搭載船の実態とデータの分析－，日本航海学会論文集，第 111 巻，219-224 頁，2004.
- 4) 山田多津人，田中隆宏，山本淳，長澤明：AIS による海上交通評価に関する研究 II－AIS 位置とレーダー位置の比較－，日本航海学会論文集，第 112 巻，35-41 頁，2005.

- 5) 若林伸和, 塩谷茂明, 小林英一, 庄司るり: AIS を用いた
大阪湾海上交通流データベースシステムの開発, 日本航海学
会論文集, 第 117 巻, 19-26 頁, 2007.
-