実小型船舶の潮流下の航海時間と 風圧力による横流れの計測実験

塩谷 茂明*

Measurements of Navigation Times under Tidal Currents and Leeway by Wind Effects for Real Small Vessel

Shigeaki SHIOTANI

Abstract

This paper deals with the effects of wind and tidal current on the weather routing for a small vessel in coastal sea area. The measurements of sailing time by tidal currents and leeway by wind effects of a small running vessel were carried out in real sea area. The sailing time were measured based on computer simulation for the weather routing. Also, the qualitative leeway was measured under the conditions of variable relative wind direction against a course of a small vessel.

As for the results, it was considered that the effects of wind and tidal currents were very important for considering the optimum current sailing.

Keywords : Current sailing, Leeway, Wind effect, Real small vessel, Field experiments, Weather routing

キーワード: 流潮航法、横流れ、風圧影響、実小型船舶、フィールド実験、ウエザールーティング

1. はじめに

すべての船舶は静かな水面上を航行するだけでなく、種々の外力の作用下、時に荒天下での運航を余儀なくされる場合もある。あらゆる状況下でも、操船者は自船の操縦性能、船体運動及び耐航性能などを十分把握した上、さらに航行周辺海域の気象海象状況について情報を得ながら、常時的確な判断を下し安全航海に対処している。あらゆる自然外力の中で、特に航海に対し重要と思われるのが、風、潮流及び波浪である。

潮流に対し、航海中の船舶は順流では加速、逆流では減速され、針路に対し斜め方向からの潮流には流圧差から斜航する。また、波浪に対し、大きな波浪に向かった航行では減速を余儀なくされ、逆に斜め後方からの波に対して操縦不安定となる。さらに風に対し、船体に作用する風圧力の影響から、減速、加速及び横流れをする。このように、気象海象下の

航行船舶は流体力学的に速力の変化および風圧差や流圧差から船体横流れを受けることになる。

航海計画を立てる際、これら気象海象の情報の的確な把握に基づいた運航は安全航海だけでなく、近年の燃料費や船員雇用費の高騰等の対策として経済的効果を計る上でも今後極めて重要となる。

このような経済的効果をねらった大洋中の航行船舶への運航（いわゆる最適航法やウエザールーティングと称する航法）の研究は以前から論じられている。しかし、湾内や沿岸域等の比較的狭い海域が航海区域である小型船舶に対応したこれらの研究はほとんどなされていない。著者は、特に出航地から目的地に至るまでの航海時間の短縮を計った最短時間航法の構築を行っている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。従来の最適航法の研究では、潮流や海流の影響は、年間の統計的データや潮流図のような平均流れに基づいた航法であるのに対し、著者の研究は湾内の潮流シミュレーションから、

* 正会員 神戸大学海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1) shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp

時々刻々に時・空間的变化する潮流のリアルタイムデータに基づいた航法数値シミュレーションである。

シミュレーション計算結果から、湾内での運航船舶でさえ、効率よい潮流利用の航行では 10・20%の航海時間の短縮が可能であることがわかった。

そこで、本研究ではさらに実船を用いた潮流下における小型船舶の航海時間に対する潮流影響の検証実験を行った。実験と計算結果を比較すると、両者はおおよそ一致し、本航海シミュレーションが効果的であることが解った。

ところが、この実船を用いた航海時間の計測実験を実施中、船体に作用する風圧力の影響から船体横流れ現象や風圧力による船速の増減が無視できず、風の影響も考慮した小型船舶の航海シミュレーションが重要であることが予測できた。そこで、今後航海対象海域内の風場の数値シミュレーションから、リアルタイムの風圧力下での航海影響を考慮した実小型船舶の最適航法の研究を実施するために、その第一段階として、潮流実験と同じ実小型船舶を用いた風圧力による横流れ及び速力の変化について定性・定量的評価を行い、航海中の風圧力の影響を把握した。ただし、最適航法の研究が目的であるため、船体運動学や流体力学に基づいた操縦性能分野で研究されている詳細な理論的解析の考慮は今後の研究発展に譲り、本研究では単純なベクトル計算による流潮航法の適用のみに止めている。その実験結果から、小型船舶に与える風の影響が極めて重要であることが解った。

2. 潮流による航海時間の影響実験

潮流場を航行中の小型船舶の航海時間に与える潮流の影響調査のため、実小型船舶を用いた航海時間の計測実験を行った。

Fig.1 は実験に用いた供試船である。長崎大学水産学部所属の実習船であり、長崎県沿岸域の水質、生物調査に利用され、船種は漁船である。Table.1 は供試船の主要目を示す。供試船の船体は通常の漁船に比較すると、海洋および生物調査が主体であるため、操業目的の漁船より船幅の広い肥大船型は船体浸水部の潮流影響を受け易く、また定員 12 名用の宿泊施設を有するため上部構造物は大きく、風圧影響を受け易い船体構造である。

実験海域は九州の有明海及び橘湾であり、湾奥部の多比良港と橘湾西端の樺島水道を起点とし、途中で島原及び湯島で変針するように航路を設定した。本設定航路は Fig.2 に示すように、実験海域の潮流

シミュレーションで作成した逐次変化する潮流場を、モデル船が絶えず潮流の影響を受けながら 10 ノットの船速で航海した時、潮流と船速ベクトルの合成で計算する流潮航法に基づいた航海シミュレーションを行った著者による以前の研究と同じである⁽⁴⁾。航海シミュレーションでは、試験航海域内の潮流が既知である特定の代表地点における潮流時系列に基づき、その地点においてどのような潮流変化時に本船が起定地点を出航すれば最短及び最長航海時間で到着点まで航海が可能となるかを調査した。代表地点は海域内で最も流れが速く、潮汐表にも記載された早崎瀬戸とし、その地点における潮流シミュレーションから得た M_2 潮成分の一周期分を 46 等分割し、各分割時刻毎に起程地点を出航した時の航海時間をすべて計算し、航海時間が最短及び最長時間となる時刻を予測した。実験ではこのような航海シミュレーションに基づいた予測時刻から、最短及び最長予測時刻に両起点を出航し、シミュレーション結果と比較検討した。

Fig.1 Small actual vessel used in the experiments.

Table 1 Main item of the small actual vessel.

Item		
L	(m)	20.00
L _{pp}	(m)	17.00
B	(m)	3.900
D	(m)	1.60
d _m	(m)	1.30
△	(ton)	27.80
SHP _m	(hp)	430.00
V _k	(knot)	10.00

L: Length overall, L_{pp}: Length between perpendiculars, B: Extream breath, D: Moulded depth, d_m: Mean draught, △: Displacement, SHP_m: Maximum continuous shaft horse power, V_k: Full load sea speed.

Fig.2 Route for simulation.

3. 風圧力による漂流実験

風が航海に与える影響調査のため、風圧力の作用下で実小型船舶の横流れ実験を行った。

実験海域は潮流および海流の影響ができる限り少ない長崎県長崎湾外の西方沖合である。実験期間は冬季の3日間であり、通常は強い冬の季節風が吹く時期であるが、実験当日は風が弱く平均10-15ノットであり、通常の航海状態である。また実験海域の北面に陸地があり、風の吹走距離が短く、風浪の発達には小さく、さらに周辺海域から大きなうねりの侵入もなく、波浪による船体影響は少ないと思われる。なお、本船は、波浪の波高が1m以上では乾舷が低く海水打ち込みのため、安全面から出航できないので、強風や荒天下の実験航海は可能でない。

実験は供試船の進行方向からの相対風向に対する横流れ量を調査した。船速はできる限り操船可能な低速時とし、平均速力は2-3ノットである。航走時間が十分長くと横流れ量も増加し計測精度の向上が期待できると思われる。しかし、他船との海上衝突予防の回避や、実験海域外の航行によるうねりの影響などを考慮すると、一定保針で十分な実験航海時間が取れず、数十分程度であった。

計測項目の船位および船速はGPS、針路はジャイロコンパス、潮流はドップラー効果を利用した潮流観測装置（古野電気CI-60G）で計測し、毎分毎に全データをパソコンに記録した。風は、5分毎に相対風向、絶対風向、風速を船舶搭載用の風車型風向風速計で観測した。

実験開始時に供試船の針路を設定し、当舵で保

針操縦をしながら航走した。

4. 実験結果

4.1 潮流の場合

潮流の影響下の航海時間計測実験では、Fig.3に示すように航海シミュレーション結果と比較した。横軸は早崎瀬戸における M_2 潮の一周期分を46等分割した時の分割を、縦軸は航海時間である。図中の○は多比良港から及び●は樺島水道から航海時間が最短及び最長となるシミュレーション予測時刻に出航した場合の目的地までの航海時間である。実線は多比良港から、破線は樺島水道から各分割時刻に出航した場合の航海シミュレーションから得た航海時間である。一点鎖線は潮流がない場合の航海時間であり、一定である。実験と計算結果を比較すると、最大30分程度の航海時間差が見られるものの両者はよく一致していると思われる。しかし、本海域での潮流のシミュレーション結果が潮流図や観測結果との比較からおおよそ精度よく計算されていることから¹⁾、実験と計算結果の差は航海中多少の風が吹いていたことと操船者の証言から、風圧及び風浪に起因した横流れや速力の変化が多少影響したものと考えられる。

Fig.3 Comparison of experimental and simulated navigation times.

4.2 風圧力の場合

風圧力の計測実験中の潮流の観測では、流向が一定

値を示さず大きく振れ周り、流速は0—0.3ノットの範囲で絶えず変動している。これは潮流が微小のため、計測器の性能から正確な潮流が得られないことを示す。したがって、潮流は微小であると仮定し、潮流の影響を考慮しない。

風圧力による横流れ量は、流潮航法から出発地点を起点とした観測時の推測位置と実測位置とのベクトル差から単純に計算した。船舶の操縦運動性能分野では船体に働く流体力を導入した操縦運動数学モデルを厳密に解くが、本計算では効率的な最適航法の確立が目的であり、風圧影響の定量的把握の実験であるため、第一段階の研究として、船体運動に関し厳密でなく、単純にベクトル計算で知られた流潮航法で、横流れの移動量を定量的評価する。

Fig.4 Tracking against relative wind direction

Fig.4 は相対風向に対する航跡を示す。横軸が経度、縦軸が緯度である。図中の左上に実験開始時の初期設定の相対風向、船速及び針路を示す。航跡におけるベクトルが推測位置、白丸が5分毎の実測位置であるが、明らかに隣接記号間の距離が短い場合は計測終了時刻の位置を示す。右下の船形表示は実験中の平均の航行船舶の針路、風向および風圧力による横流れ方向のみを示す。ベクトル表示であるがベクトルの長さを一定に描いたので、ベクトルの強さを示していない。平均値で示したのは、計測中風向および風速は時々刻々変動し必ずしも一定値を示さないからである。したがって、図中の相対風向と船首尾方向のなす角度は実験中針路を初期設定通り一定に保ったにもかかわらず、実験中必ずしも一定でない。相対風向が船首に近い場合、風圧力の影響から対地速力は減速し、逆に船尾方向の場合は加速され、また正横の場合は僅かだけ横流れが発生している。横流れ方向は必ずしも風の方角と一致しない。これは実船を用いたフィールド実験のため、風の変動、操縦者による保針の困難さおよび計測誤差等による。さらに、操縦性能の観点から水面上の乾舷および上部構造への風圧力の作用点と、その反力として生じる水面下の船体への水圧力の作用点の位置の相違から生じていると考えられる⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

Fig.5 は相対風向に対する横流れ角の関係を示す。全計測結果を図示した。●は風速が9.3ノット、○は14.6ノットの計測結果である。実海域上の実験のため、データのばらつきが大きい。特に風速が弱い時のデータの散布が大きく、風速が増加すると小さくなる傾向がある。全般的に、実験結果の分布が右下がりの傾向を示し、風向に対しおよそ風下側に船体は漂流している。しかし、データの散布状況から両者の方位に一意的な関係を示すことはできず、各々ある程度の角度を持って横流れをしている。このことは流潮航法のように針路と潮流との単純なベクトル演算での船位決定が、必ずしも風圧影響の場合には対応しないことを示唆する。これに関し、場合によっては操縦性分野の手法など、さらに詳細な検討が必要であると考えられ、今後の課題である。

Fig.6 は相対風向と横流れ速度の関係を示す。横軸は相対風向、縦軸は横流れ速度を船速で無次元化し、全計測結果を表示している。供試船の平均速力を3k'tとしているので、横流れ速度は低風速の場合0.1-0.4k't、相対風速/横流れ速度比は3-13%となり、風速が増すと0.15-1.2k't及び5-40%になる。潮流の影響調査では航海速力が10k'tでの航走実験であったのに対し、風圧影響の調査では供試船の

航行速力がこのように低速であるのは、実験海域が狭く航行中実験海域外に出て、地形影響から航走中に外洋からのうねりや風浪などの風圧影響以外の外乱の影響をできる限り軽減するためである。したがって、両調査において速力差があり、速力に依存した総合的な評価が困難かもしれないが、風速が小さい場合、データのばらつきが大きくなり、どの相対風向に対しても横流れ速度に大きな変化が無く一様に横流れが生じている。風速が強くなると、正横からの相対風向の実験データ数が少ないが、相対風向が船首尾方向の時、横流れ速度が増加している。これはFig.1でも確認できるように、供試船の船型から水面上の船首部分の面積が大きく、船尾部分では小さく、また横幅方向に長い直方体状の船体上部構造による風圧力が、船首尾方向の相対風向でも大きくなることによると考えられる。一般に、航行船舶の速力が低速時に、風圧力による横流れ量が増加することが報告されている⁽⁶⁾。したがって、本実験のような航行船舶の低速時で、航海速力10k'tでの横流れの予測は正確でないかもしれないが、本船の場合風圧力による、横流れの速力は、3-40%にも達し、決して無視できない影響を持つと考えられる。

Fig.5 Leeway relative direction against wind relative direction

このように、本研究では、本船のような小型船舶に与える風圧力の影響が大きいことが解ったので、今後、潮流シミュレーションと同様に風場のシミュレーションを行い、低気圧通過時のような逐次変化する船体周りの風予測および船体運動力学や流体力学の立場から理論的に横流れ影響の予測法を取り

入れた研究に発展させる所存である。

Fig.6 Leeway velocity against wind relative direction

5. 結論

小型船舶における気象を考慮した最適航法の構築に際し、潮流による航海時間への影響及び船体に作用する風圧力による横流れの影響調査のため、実海域において航海時間と横流れの計測を行った。実験の結果以下の主要な結論を得た。

1) 潮流のシミュレーションに基づいた航海シミュレーションによる航海時間の予測は実験結果と比較しておよそ満足した結果が得られた。

2) 実験とシミュレーション結果を比較すると、最大8%程度の航海時間の差が見られるが、これは風圧影響および風浪影響など他の外乱に起因するものと思われる。

3) 相対風向と横流れ方向は一意的に決まらないが、およそ風下側に横流れが発生している。

4) 風速が低速時、横流れ速度は船速の1-13%、高速時、5-40%である。

5) 相対風向に対する横流れ速度は風速が低速時におよそ一定、高速時に船首尾方向で増加する。

4) 漁船等の小型船舶の風圧力による横流れ影響は大きく、最適航法の構築に際し航海シミュレーションにおいて考慮する必要がある。

本研究は小型船舶の最適航法において、航海中潮流および船体に作用する風圧力による横流れによる船速影響の定量的把握実験である。実験結果から小型船舶の航海において最短時間航法の構築の際、潮流及び風圧影響の考慮が必要であることが解ったの

で、今後航海域の潮流だけでなく風場の数値シミュレーション、潮流および風圧による横流れの理論的定量評価の研究に発展させる所存である。

最後に、本研究の実験遂行に際し、多大なご協力をいただいた長崎大学水産学部所属実習船「鶴水」の船長ならびに乗組員一同および著者の研究室の卒業研究生諸君に対し、心より感謝いたします。

参考文献

- (1) 塩谷茂明：小型船の航海のための潮流シミュレーション、日本航海学会論文集、第98号、pp.127-140, 1998
- (2) 塩谷茂明：潮流を考慮した小型船のための航海シミュレーションについて、日本航海学会論文集、第102号、pp.263-269, 2000
- (3) 塩谷茂明：潮流を利用した小型船の最短時間航法の研究、西部造船会会報、第100号、pp.73-81(2000)
- (4) Shiotani S.: On Optimum Current Sailing Using Tidal Simulation, Proceedings of IAIN World Congress, pp.175-180, 2000
- (5) Shiotani S.: Experimental Verification of Simulation for Navigation Utilizing Current Sailing, Journal of Kansai Society of Naval Architects, No. 238, pp.205-213, 2003
- (6) 本田啓之輔：操船通論、成山堂書店、pp.68-75, 1992
- (7) 藤野正隆、不破健：外力下の操縦運動、船舶の航行安全と操縦性能、第3回操縦性能シンポジウム、日本造船学会、pp.177-212, 1981
- (8) 芳村康男：外力下の操縦性能、運動性能研究委員会・第2回シンポジウム、船舶の航行安全と操縦性能、日本造船学会、pp.41-62, 1985

質疑応答

長畑司（海技大学校）：

船舶の大多数を占める内航小型船に着目されたことに大変興味を持たれました。ご結論とは無関係かもしれませんが、下記ご質問します。

風速が速い場合と遅い場合では風向による横流れ速度の傾向が全く逆になっているのはどのような理由によるもののでしょうか。すなわち、前者では船首尾方向に受風する時、後者では正横から受風する時、それぞれ横流れ速度が大きくなっているとのことですが。

塩谷茂明：

貴重な御討論ありがとうございます。風と船体横流れ速度の関係は今後理論的にも追求しなければい

けないと思っています。ご指摘の件に関しては、現時点では供試船の方形係数が大きく、ハウス部が通常船舶に比べて船首方向に大きいことから、速い風速に対し風の影響を直接的に強く受けたのに対し、遅い風速の場合には船体に対する風の影響が小さく、風圧力と水線面下の船体に働く流体力の作用方向が複雑に働いたのではないかと考えています。継続研究で、もう少し厳密な調査を実施したいと考えています。