

フェリー「ニューかめりあ」の喫水変化

市川, 香
九州大学応用力学研究所

福留, 研一
九州大学応用力学研究所

尹, 宗煥
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/27147>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所所報. 143, pp.129-133, 2012-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

フェリー「ニューかめりあ」の喫水変化

市川 香*¹ 福留 研一*¹ 尹 宗煥*¹

(2012年7月31日受理)

On draft variations of the ferry “*New Camellia*”

Kaoru ICHIKAWA, Ken-ichi FUKUDOME and Jong-Hwan YOON

E-mail of corresponding author: ichikawa@riam.kyushu-u.ac.jp

Abstract

The ferry “*New Camellia*” that crosses the Tsushima Strait almost every day has been used for long time to obtain vertical velocity profiles observed by the bottom-mounted current meter, and recently to estimate the sea surface dynamic height variations using GPS height observations. From July 2011, we started to record draft variation using the gauges installed on the ferry, in order to estimate variations of the height/depth of the ship-boarded instruments. In the paper, estimation of the draft variations from the gauge records is to be discussed.

Key words : *New Camellia*, draft variations, the Tsushima Strait

1. はじめに

対馬海峡をほぼ毎日往復するフェリー「ニューかめりあ」には、応用力学研究所が船底に音響ドップラー流速プロファイラー (ADCP) を就航当時から設置しており、対馬海峡全幅の流速の鉛直構造を計測し続けている¹⁻²⁾。さらに近年、高精度の GPS アンテナを取り付けて、realtime kinematic (RTK) GPS の手法を用いてアンテナ高の鉛直測位を実現し、海峡内の海面高度分布を推定することで、細かい時空間スケールで海面の地衡流成分を求めようという動きもある。対馬海峡周辺に設置された海洋レーダも含め³⁾、対馬海峡は、複数の測定手法によって流速の観測が集中的に行われている実験的な海域であると言える。

このうち、ADCP や RTK GPS の測定は、「ニューかめりあ」の船体を基準として計測するため、船体の動きを正確に知る必要がある。水平方向の動きに関しては、通常の GPS の利用によって正確な測位が可能だが、鉛直方向の測位は RTK GPS を用いないと容易ではない。さらに、たとえ船の鉛直測位を正確に行ったとしても、我々が実際に必要としているのは「ADCP 測器の水深」や、「GPS アンテナの海面からの距離」などの、海面を基準とした船体各部までの距離であり、船体 (船底や GPS アンテナ高度) と海面の相対位置関係である船の喫水が変化してしまうと、海面を基準とした鉛直方向の船体移動を求めることができなくなる。そこで本研究は、航海中の「ニューかめりあ」の喫水の変化について調べる。

「ニューかめりあ」には、もともと船底の圧力を計測する喫水計が、船首側と船尾側のスラスター下部の二か所に取り付けられていた。2011年6月のドックの際に、これらの値を自動記録する記録計を設置し、航海中の喫水変化の計測を開始した。

2節では、喫水計の記録方法の詳細と、こうして得られたデータについての概要を示す。得られた喫水計記録は船速との強い相関が得られたため、船速との対応関係について3節で検討し、さらに船速以外の要因で変化している成分について続く4節で議論する。5節では、簡単なまとめを述べる。

2. データ

喫水計の記録間隔は、RTK GPS のデータサンプリング間隔にあわせて30秒毎とし、その間の平均値を記録させた。また、RTK GPS の30秒毎の水平位置の測位結果から、船速を計算した。今回の解析では、ドック終了後に定常運航の始まった2011年7月2日から、2011年12月16日までの約5カ月間のデータを用いて解析した。

解析では、博多から釜山に向かう昼間航路と、釜山から博多に向かう夜間航路を分けて処理した。さらに、「ニューかめりあ」就航以来の平均的な航路からの水平位置の差が5km以上となるような航路は除外した。ここでは、さらに5分間の時間平滑化を行い、GPS 測位誤差による船速の推定誤差を軽減した。

*1 九州大学応用力学研究所

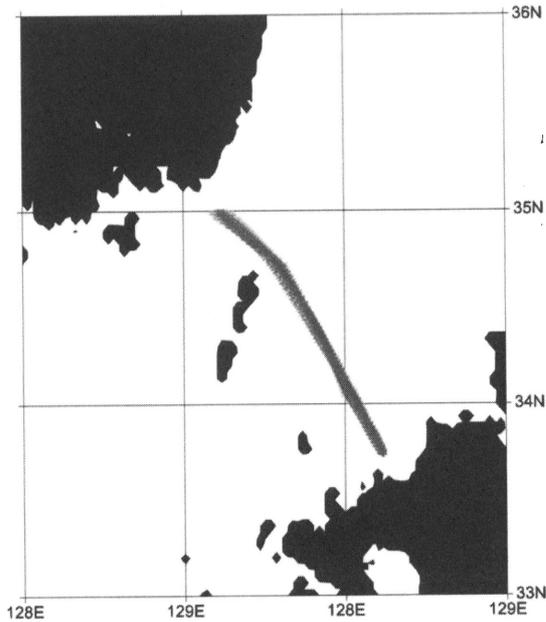


Fig.1 Ferry tracks of "New Camellia".

喫水の変化のうち、搭載量の変化による変化は、出港直前もしくは入港直後の喫水高を参照することで推定できる。そこで、昼間航路と夜間航路の各々で、出港地において船速が有意に大きくなる直前の喫水高を基準とし、以下の解析では、そこからの偏差を計算した。ただし、湾内の加速・減速・旋回中は船体の挙動が通常航走時と異なると考えられたため、北緯33.75度以南と35度以北のデータは解析対象から除外した。図1に、今回使用したデータ点の配置を示す。

図2は、2011年11月1日の、博多から釜山に向かう昼間航路(a)と、釜山から博多に向かう夜間航路(b)の、緯度に対する船首喫水計と船尾喫水計のデータの変化を示したものである。これによると、出港直前の状態に比べ、昼間航路で船尾喫水計記録が5m弱、船首喫水計記録が7m弱まで増加しており、この結果では、相対的に船が沈んでいることになる。夜間航路では、同様に釜山を出港後に船首喫水計データが6.5m、船尾喫水計データが4.8mにまで増大するが、対馬沖の北緯34.5度付近で急激に値が変化して、船首喫水計データが5.8m、船尾喫水計データが5.4mほどになってから博多湾に入港することになる。

これらの数m単位での喫水の変化が現実には生じていれば、ADCPの水深やRTK GPSから求める海面高度の測定に対しても多大な影響を及ぼすと考えられる。しかし、例えばRTK GPSの鉛直測位結果を見ている限り、湾内停泊時と湾外航行時で7mものアンテナ高度の変化が観測されることはない。これを考えると、喫水計記録の多くの部分は、

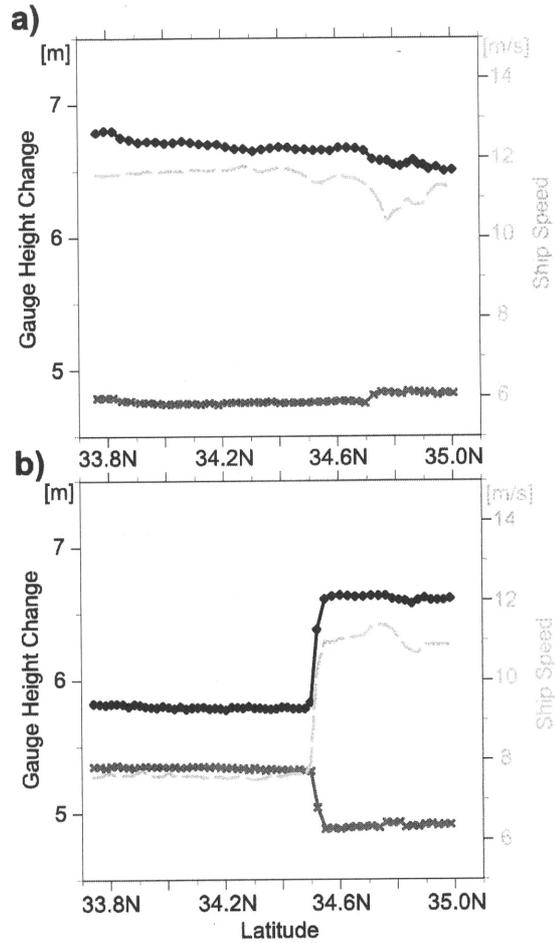


Fig.2 Bow- (black) and stern- (gray) draft gauge height changes during the daytime cruise on 1 Nov, 2011 from Hakata to Pusan (a) and the nighttime cruise from Pusan to Hakata (b). The gauge heights are defined relative to the gauges height in parking state at the departure port. Variations of the ship speeds during the cruises are plotted with gray broken lines.

船体の実際の喫水の変化のみではなく、船が進行する際の船底圧力の変化を反映しているものと考えられる。

実際、夜間航路の急激な喫水計記録の変化は、船速と非常に強い相関がある。図2bの破線で示すように、釜山を出てから昼間航路と同程度の11m/s程度で航行した後、対馬沖で減速して8m/sで航行しており、この船速の変化と喫水計記録の変化とは良い対応関係を示している。

3. 喫水計データと船速の関係

そこで、解析期間の全データを用いて、船速と喫水計記録との対応関係について調べてみた。ここでは、各航路で喫水計記録と船速を平均し、それぞれの平均値からの偏差が、どのような関係になっているかを調べた(図3)。

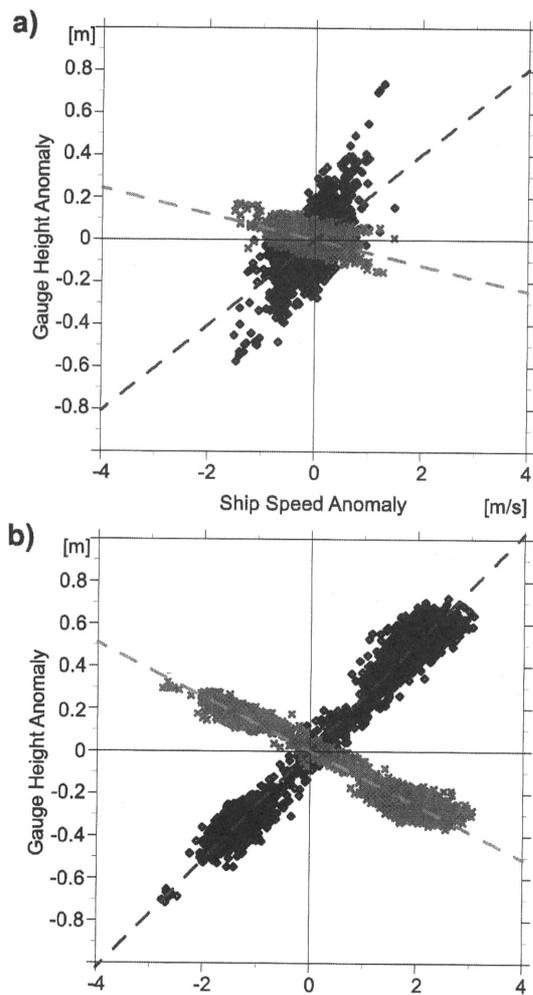


Fig.3 Scatter diagrams for the gauge height anomaly and ship speed anomaly from their cruise-mean values; for daytime cruises (a) and nighttime cruises (b). Results for the bow- (or stern-) gauge are plotted with black (or gray) dots. Linear regression lines are also plotted in both panels.

航路中の船速変化が大きな夜間航路では、図3bで明白なように、船速の偏差と喫水計記録の偏差には明白な関係がある。この関係は、線形の関係式で良く近似できており、船速の変化に応じた喫水計記録の変化を近似的に求めることができる。

例えば2011年11月の船首喫水計記録の偏差と船速偏差の夜間航路での変化(図4a)を見ると、釜山を出航後に船速を減少させる位置が日によって北緯34.6~34.2度の間で変化していることがわかる。これを、図3bでの船速の変化と喫水計記録との対応関係を用いて補正すると(図4b)、喫水の変化は小さかったことがわかる。

なお、昼間航路での分布図の対応関係(図3a)を見ると、夜間航路と同様に船首(船尾)喫水計記録偏差と船速偏差

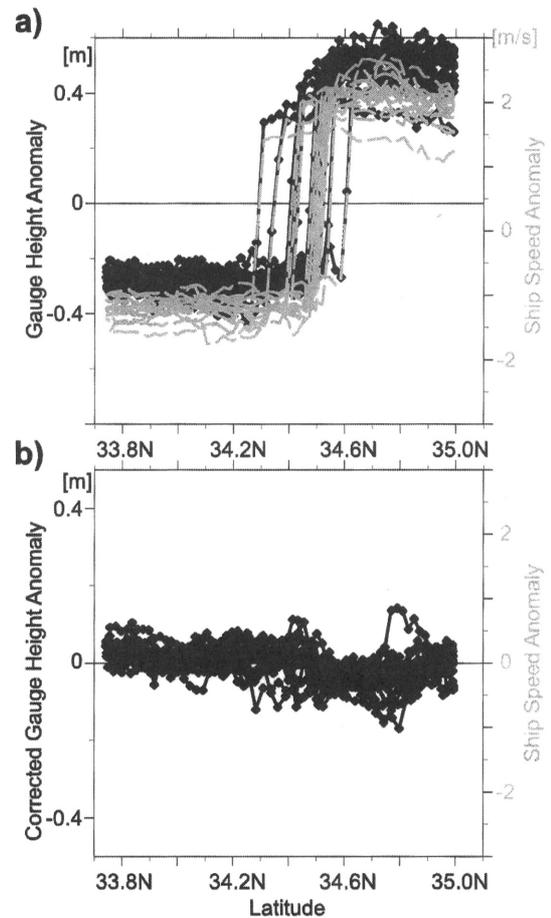


Fig.4 Example of variations of the bow-gauge height anomalies (black lines) and ship speed anomalies (gray lines) in nighttime cruises in November, 2011 (a). The corrected bow-gauge height anomalies (b) by removing height variations due to ship speed variations, using the linear regressions with the ship speed in Fig.3b.

に正(負)の相関が認められる。ただし、夜間航路に比べ相関はやや低く、特に船首喫水計でこの傾向が顕著である。例えば2011年11月1日の昼間航路(図2a)を見ると、北緯34.8度付近で船速が若干低下しているが、船尾喫水記録には対応する若干の変化が見られる。しかし、船首喫水計記録についてはその影響は顕著ではなく、むしろ船速の変化とは独立に、北上するにつれてゆっくりと船首喫水計記録が減少する傾向が見られる。

4. 船速以外で変動する喫水成分

そこで、船速以外の要因によって喫水が変化することも念頭に置いて解析を行ってみる。ここでは、図2aの船首

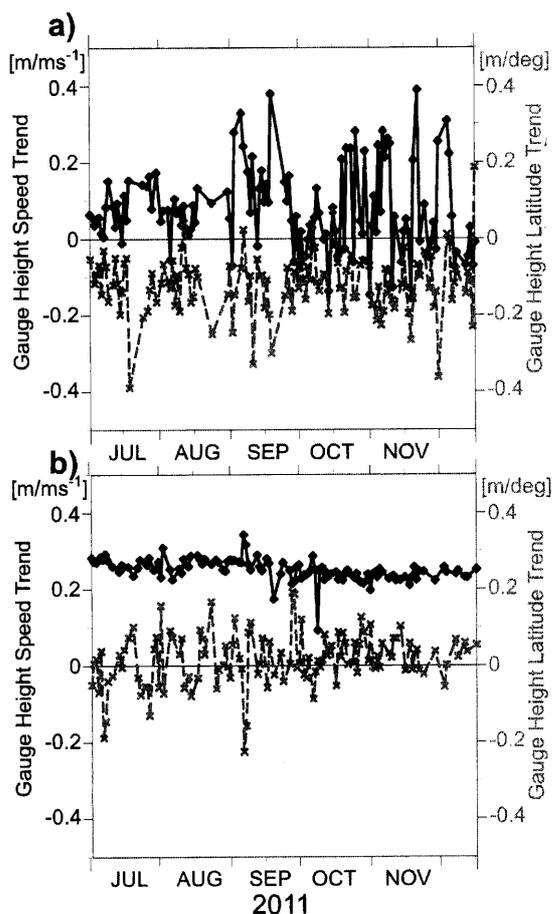


Fig.5 Time series of the bow gauge height trends in each daytime cruise (a) and nighttime cruise (b) per the ship speed variations (black lines) and latitude variations (gray lines).

喫水計記録のように、航路全般にわたって一定の割合で喫水記録が変化するような場合を考える。これは、燃料消費によって喫水が変化するような場合を念頭に置いている⁴⁾。

毎日の航路毎に、船首の喫水計記録偏差が、船速偏差と緯度変化の両方に線形応答すると仮定する。最小二乗法を用いて、各々の変動に対する変化率を求め、時系列として表示した(図5)。

前節では、船首喫水計記録と船速偏差のみの対応関係を見て、夜間航路の場合(図3b)には良い線形対応関係を示していることがわかった。この関係は緯度の線形依存を含めて解析しても成立していて、緯度に依存する変化率が全般に小さく(図5b)、喫水計記録の変化のほとんどが船速偏差との線形対応でほぼ決まっていることを示している。

一方、船速偏差との対応関係があまり良くなかった昼間航路(図3a)では、日によってばらつきが大きいものの、緯度に依存して変化する変化率が夜間航路に比べて大きく(図

5a)、船速偏差のみの関数としては十分に説明できないという結果を支持している。緯度に依存する係数は、平均値で -0.08 m/度と負値を示しており、ちょうど図2aの例で見たように、北上して緯度が大きくなるにつれて船首喫水計記録偏差が小さくなる、すなわち船首が浮く傾向にあることが示されている。ちなみに、夜間航路の場合の緯度依存の係数はわずかに正值(0.03 m/度)となっており、これは南下するほど船首が浮く傾向にあることになる。

以上をまとめると、昼間航路・夜間航路のいずれの場合にも、出港後の時間経緯につれて船首が浮く傾向にあることになる。また、船速が大きい昼間航路の方が喫水の変動幅が大きいことも、燃料消費による船首喫水の変化として予想される変動パターンと矛盾しない。

なお、この緯度変化に相当する喫水の変化量は、変化率の大きな昼間航路の場合で対馬海峡の両端間で 10 cm程度となり、ADCPの深度変化としては無視できる程度の変化量である。一方、RTK GPSによる海水位の変動としては、 10 cm/s近い誤差となる。対馬海峡の潮位計を用いて見積もった海面高度変化⁵⁾から考えても、この喫水変化は無視できない変動量であると言える。

5. まとめ

「ニューかめりあ」の船底圧力を計測する喫水計のデータを解析した。喫水計のデータには、停泊時に比べ航走中に数m単位の変動が観測されていたが、この大部分は航走中の造波の影響などを反映しており、実際の船の喫水変化を反映したものではないと考えられる。喫水計記録の航路平均からの偏差に対し、船速偏差と緯度の線形依存性を調べたところ、博多から釜山に向かう船速の大きな昼間の航路では船首喫水が 0.08 m/度程度で減少する傾向が見られ、燃料消費による喫水変化と矛盾しない結果となった。この喫水変化は、kinematic GPSによる海水位変動の計測にとっては無視できない量の変動であるため、今後の計測時の補正に使用する予定である。

謝辞

本研究は、特別教育研究経費「地球温暖化と急激な経済発展が東アジア域の海洋・大気環境に及ぼす影響の解明」の支援を受けている。

参考文献

- 1) Takikawa T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho, *J. Phys. Oceanogr.*, 35 (2005), 1154-1168.

-
- 2) Fukudome, K., J.-H. Yoon, A. Ostrovskii, T. Takikawa and I.-S. Han, *J. Oceanogr.*, **66** (2010), 539-551.
 - 3) Yoshikawa, Y., A. Masuda, K. Marubayashi, M. Ishibashi and A. Okuno, *J. Geophys. Res.*, **111** (206), doi:10.1029/2005JC003232.
 - 4) Bouin, M.-N., V. Ballu, S. Calmant, J.-M. Bore, E. Folcher and J. Ammann, *J. Geodesy*, **83** (2009), 1203-1217.
 - 5) Takikawa, T. and J.-H. Yoon, *J. Oceanogr.*, **61** (2005), 699-708.