短時間内に於ける推定船位誤差の一例について

平 岩 節*

On the Error of Estimated Ship's Position When
Sailing Time has been short

T. Hiraiwa

abstract

As the error of estimated ship's position varies according to tract of sea, sea-route, style, size, speed and draft of ship, capacity of navigational instruments, etc., one can not determine the quantity of error uniformly; but the writer attempted to find the general tendency of relationship between duration of sailing time and decline in accuracy of estimated ship's position.

In that case, everybody acknowledges that if the sailing time is long the error of estimated position does not increase in proportion to the time, but in the case of a short time of sailing a few questions remain.

Of course, from the point of view of how to estimate the error boundary of ship's position toward the expiration of the given sailing period, the relation is more important if the time is longer; but a study was made of the relation between the sailing time and decline of accuracy in short time from the standpoint of determination of a ship's position, use being made of the data gotten by the training ship "Oshoro-maru (616T, 9.45kt)" of Hokkaido University off the east and south coasts of Japan and Eastern China Sea.

In general, as the elements of error due to estimation of a ship's position are classified as elements proportional to sailing time and errors proportional to square root of sailing time, the synthetic error is expressed by $\sqrt{at+bt^2}$. (a,b: coefficient, t: sailing time)

The error of before and behind estimated position is expressed by equations (1) & (2) by least square method from the data shown in Fig.1 (A) & (B) and the error of right and left is expressed by equations (1') & (2') from the data shown in Fig.2 (A) & (B) and the average values of two tracts of sea are shown in equations (3) & (3').

As above mentioned no large difference can be found between those errors, accordingly the relation between the sailing time and the error of estimated ship's position is expressed simply, approximately and practically by $\sigma=0.74\sqrt{t}$.

I ま え が き

推定船位の誤差は海域、航路、季節、船速、諸計測器械の性能、操舵員の技倆等によつて異なるとが予想されるので推定の要素は実に複雑である。従つて推定船位の誤差量を一律にきめること

* 北海道大学水産学部

は難しいが航走時間の経過と推定船位の精度の低下との間には一般的な傾向が存在すると思料する。その場合、航走時間が充分大きいと推定誤差は時間に比例して増大しないということは大方の見解であるが、短時間内に於ては問題が残されている様である。勿論時間の経過に対して推定船位の誤差界をどう見積るかという観点からは航走時間が長い時程重要さは大であるが、隔時観測による船位測定の場合転位の線の精度とその間の航走時間との関係をどうみるかによつて理想的な測定方法も自ら異ってくるので、筆者はそういう測定論的な見地から短時間内に於ける推定船位誤差と経過時間との関係を考察してみた。

II 推定方法及び資料

資料は北大練習船おしよ丸 (616 T) の冬季南方航海 (11, 12月) の記録より求めた。海域の分類は日本近海 (本州東岸、南岸、四国南岸及び九州) と東支那海 (九州、台湾間) に一応二分して扱った。又調査の対象とした航走時間は、隔時観測による船位測定の場合転位の限界を5時間とみて、1^h~5^hに於て毎時間毎の推定船位と測定船位との前後、左右のずれを以て誤差量を求めた。この場合船位の測定は日本近海に於ては主として陸測方位線により、東支那海に於ては専らロラン位置の線によつて求められたものである。

次に船位推定の方法は簡便を旨とし機械的に次記の方法によつた。即ち、海流については水路部刊行の海流図及び日本近海海況図、気象庁刊行の全国海況旬報を綜合して推定、潮流の影響は資料を得た海域より微小とみて省略、風圧差については安井・坂田両氏の一般船舶に対する風圧流の表¹⁾より次の如く推定した。即ち船体の水線上と水線下の面積比が1.66で船速が9.45kt であるから風を正横から受けた場合風圧流は風力2の場合0.07kt、風力3で0.10kt、風力4で0.18kt、風力5で0.25ktとなる。この風圧流の補正はすべての風向について行うのが妥当かも知れないが

Fig. 1 (A) 日本近海における前後誤差

●…針路に対して測定位置が推定位置の前にある場合
○…針路に対して測定位置が推定位置の後にある場合

Fig. 1 (B) 東支那海における前後誤差

煩雑に過ぎるため正横附近の風については上記の補正を行い、順風、逆風に近い場合は無視することにした。以上の方法により、測程儀示度に海流を加減した点を左右に海流と風圧流の代数和だけずらした点を以て推定船位とした。この点と測定船位との前後、左右のずれを夫々前後誤差、左右誤差とした。而して得られた資料数は日本近海にありては222, 東支那海に於けるもの267で第1図A, B及び第2図A, Bに示した。

Fig. 2 (A) 日本近海における左右誤差
●……針路に対して測定位置が推定位置の左にある場合
○……針路に対して測定位置が推定位置の右にある場合

Fig. 2 (B) 東支那海における左右誤差

III 推定船位誤差の実験式

推定船位に誤差を与える要因を大別すれば次の二つに分けられる。即ち時間の平方根に比例して拡がって行くものと、経過時間に比例して増大して行くもので、後者は系統誤差的な性格をもち、前者は互に独立で夫々正規分布をなすものの和と考えられる。従つて夫等を $a\sqrt{t}$, bt とすれば両者の総合として得られる偏位の標準偏差は $\sigma = \sqrt{a^2t + b^2t^2}$ で表わされる。

1. 前後誤差

第1図A, Bについて各時間に於ける標準偏差を求めて plot したのが第3図で、得たる σ 曲線の平滑化を重率附最小自乗法によつて行つて、同図に見る如く

$$\text{日本近海では } \sigma'' = \sqrt{0.3656t + 0.01775t^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{東支那海では } \sigma'' = \sqrt{0.5552t + 0.01774t^2} \dots\dots\dots (2)$$

にて表わされる。ここで航走時間の平方根に比例するものの成因を流れの推定誤差であると考えれば、単位時間に於ける標準偏差は (1) より 0.60、(2) より 0.75 となる。又経過時間に比例すると考えられるものは主として測程儀の誤差であるので、誤差率を p とおけば、同船の基準速度 9.45kt より単位時間に於ける誤差量は $9.45p$ で (1) 及び (2) より $p=1.4\%$ を得る。これ等

Fig.3 航走時間と前後誤差との関係

●.....日本近海の資料 (Fig.1 (A)) による標準偏差
○.....東支那海の資料 (Fig.1 (B)) による標準偏差

に比例する要因の影響が相対的に大であるので、
としてならしてみると $\sigma = 0.722 \sqrt{t}$ ..... (4)

2. 左右誤差

第2図 A, B に於ける各時間毎の標準偏差を求めて plot したのが第4図で、得たる σ 曲線の平滑化を資料数を重率として行つてみると同図に示す如く

日本近海では

$$\sigma'' = \sqrt{0.2414t + 0.06624t^2} \dots (1')$$

東支那海では

$$\sigma'' = \sqrt{0.4358t + 0.06868t^2} \dots (2')$$

にて表わされる。(1') (2') 式より経過時間の平方根に比例する要因の単位時間に於ける標準偏差は夫々 0.49, 0.66 で前後誤差の場合と同様東支那海に於ける方が大きく現われている。

又何れも前後誤差の場合より幾分小さくなっているが、之は同船の航路と黒潮との関係をみれば前後方向の影響が大きいので推定誤差も自ら大となつたものと考えられる。

次に又 (1') (2') 式により計算した値の平均値を平滑化してみると

$$\sigma'' = \sqrt{0.3325t + 0.06790t^2} \dots (3')$$

にて表わされる。又前後誤差の場合同様 $\sigma = a\sqrt{t}$ としてみると $\sigma = 0.760\sqrt{t}$ ..... (4') となる。資料よりの解析は以上の如くであるが、系統誤差的な性格をもつ要因の影響が意外に大きいので他の面からの検討を次に試みた。

3. 分布の原点

系統誤差的な性格をもつ要因が含まれていなければ前後、左右誤差共0を中心とする正規分布をなす筈である。又系統誤差は海域には直接関係がないので、第1図A, B及び第2図A, Bに示す資料を夫々時間毎に積算し観測回数で除せば分布の原点は求められる。この分布の原点と経過時間との関係を図示したのが第5図であり、この両者の間には当然一次関係が成立するので観測回数

の内流れの見積り違いは日本近海の方が小さくなっているが、これは同海域に於ては海流に関する資料が多いため推定が容易で精度が幾分高いと考えられる。此等から他の海域に於ける誤差量を類推することには無理があるが、本実験の行われた海域よりは一般に流れが小さいので推定誤差も小さいと考えられること及びその反面推定の資料が少いことを勘案して本稿に於ける両者の中間的な傾向を示すものと仮定してみた。即ち (1) (2) 式により求められた毎時間の計算値の平均を平滑化すると

$$\sigma'' = \sqrt{0.4551t + 0.1790t^2} \dots (3)$$

にて表わされる。又短時間内では時間の平方根 (1) (2) による計算値の平均値を $\sigma = a\sqrt{t}$ という簡単な近似式にて表わされる。

Fig.4 航走時間と左右誤差の関係

●.....Fig.2 (A) の資料による標準偏差
○.....Fig.2 (B) の資料による標準偏差

Fig.5 航走時間と分布の原点との関係

- .....前後方向 (測定位置が推定位置の前)
- .....左右方向 (測定位置が推定位置の左)

については羅針儀 (転輪) の誤差、船の操縦性と当て舵の問題及び全資料について風浪の方向と針路との関係を調べると、右側より受ける回数と左側より受ける回数との比が約 3:2 であったことより風圧差の過小評価も原因と考えられる。尚全資料についての風力階級平均は 3.4 であった。

4. 総合誤差

全海域についての前後、左右誤差の近似式 $\sigma = 0.722\sqrt{t}$ 及び $\sigma = 0.760\sqrt{t}$ に於て、 $t=5^h$ の場合でも両者の差は僅か 0.08 であるので、短時間内に於ては両者の平均をとつて前後・左右共 $\sigma = 0.741\sqrt{t}$ と見做してもそのための誤差は僅小である。又同一海域についてみると、前後誤差、左右誤差の間には大きな差はないので両者の平均値を plot してみると第 6 図の如くであり、之を $\sigma = a\sqrt{t}$ なる近似式で平滑化すると日本近海では $\sigma = 0.675\sqrt{t}$ 、東支那海では $0.808\sqrt{t}$ 、一般海域として両者の平均をとれば $\sigma = 0.741\sqrt{t}$ となる。従つて短時間内に於ける推定船位誤差を前後・左右共 $\sigma = 0.74\sqrt{t}$ と扱つても左程大きな無理はない。

5. 1 時間以内に於ける推定誤差

推定船位誤差と経過時間との間には上述の 1 ~ 5 時間の実験資料よりは一次関係が見られなかつたので一時間以内の場合を検討してみた。層化は資料数の関係で 0.1 刻みにして中間のものは四捨五入する方法をとつたが、同時間内に於ける資料としては接岸航行時のものが僅か得られたにすぎないが前後誤差、左右誤差の間に大した差はないので両者をこみに扱つて資料を示すと第 7 図の如くであり、各時間毎の標準偏差を plot したのが第 8 図である。之等を $\sigma = \sqrt{at+bt^2}$ として平滑化すると同図に示す如く $\sigma = \sqrt{0.2475t+0.10629t^2}$ にて表わされる。之と第 6 図に示した 5 時間以内に於ける接岸航行時 (日本近海) の前後、左右の平均値を $\sigma = \sqrt{at+bt^2}$ としてならした $\sigma = \sqrt{0.3048t+0.04143t^2}$ とは第 8 図に見る如く極めてよく合致しているので類似の傾向にあると見られるが、何分にもこのような極く短時間内にありては資料の精粗が当然問題となる訳で、測定船位の精度、潮流・皮流の影響、航走時間の四捨五入、前後・左右誤差の分離等、等質化の為には問題は残されているが夫等の問題点を含めた量を対象と扱つても概略の傾向は表示

を重率としてその関係を求めてみると、前後については $C = +0.15t$ 、左右については $C = +0.21t$ となつた。ここに正符号は針路に対して測定位置が推定位置の前及び左にあることを示す。此等の値と 1. 2. に於て経過時間に正比例する要因として得られた 0.13t 及び 0.26t とを比較すればほぼ等しいので系統誤差と考え得るが、その原因を解析することは困難である。然し乍ら本資料は同一船についてほぼ同一海域の往復航路よりとつたものであるので主たるものとしては、前後については測定儀誤差、左右に

Fig.6 航走時間と前後・左右誤差の平均値との関係

- .....日本近海における前後・左右の σ の平均値
- .....東支那海における前後・左右の σ の平均値

されたものと考察する。

Fig. 7 1時間以内における前後・左右誤差 (日本近海)

Fig. 1 (A) Fig. 2 (A) 参照

Fig. 8 1時間以内における前後・左右誤差と航走時間との関係

IV あとがき

前記推定誤差の実験式より得られた航走時間に比例する因子は、分布の原点と航走時間との関係の吻合より系統誤差と見做し得ることは前述の通りであるが、時間の平方根に比例するものは海流推定の誤差であるということの実証は海流の各推定値に対し、夫々測定値が得られない限り不可能

で、航行船舶に於ては望むべくもない。ただ、ほぼ同一の海域、時期についていくつかの資料を照合するならばその差違は海流の乱れと見做し得る。例えば、東北海区についてみるに、同海域は黒潮及び親潮の二大海流のほか津軽海峡から流入する津軽暖流があつて夫々交錯するため複雑な海況を呈している処である。最近第二管区海上保安本部より同海区について1956~1959年に亘る G.E.K による海流測定値が報告²⁾ されているので之と本稿に於て用いた昭和35年10~12月日本近海海況図及び海流図との比較を試みた。範囲は北緯 38°より 41.5°迄、東経 141.5°より 145°迄で緯度、経度共30分枠目に分割し、その枠目内に於ける海流値を悉く北方及び東方分速に分解した。ここに、水路部報の冬季の値は昭和31, 32, 33年の12月に延べ測点数 206 で行われた測定値によるものであり、海況図のものは35年11月の測流値、又海流図の値は10, 11月について長年の平均値と見られるもので完全な同一季節ではないがほぼ同一と見做しうる。次に水路部報の値を基準ととして海流図による値との差のばらつきを計算してみると、東西方向については $\sigma = 0.65\text{kt}$ 、南北方向については $\sigma = 0.46\text{kt}$ であつた。(資料数各34) 又水路部報の値と海況図による値との差のばらつきは東西方向について $\sigma = 0.84\text{kt}$ 南北方向では $\sigma = 0.81\text{kt}$ であつた。(資料数各54) (註) 前者の資料数68の内には 2σ を越すものが東西方向、南北方向に各1、後者の資料 108の内には 2σ を越すものが東西方向に3、南北方向に4含まれている。

ここに前者の値が小さいのは流速の大なる個処についての資料が少なかつた為であり、又後者については流速が大で而も流向がほぼ逆の個処が見られた為である。この海域の殆んどは本稿の資料と直接の関係はないが海流推定の困難さを物語っている。

終りに終始積極的に御協力戴いたおしよ丸藤井船長はじめ阿部、斎藤、増田、中根各航海士

に深甚の謝意を表する。

附 録 1

乱れた流れにより生ずる拡散現象は $\sigma^2 = u^2 \{2At - 2A^2 (1 - e^{-\frac{t}{A}})\}$ という形で表わされており、乱れた流れの速さの平均は勿論 0 であつて速さは時間と共に変化して行くものである。船位推定誤差の場合系統誤差が含まれてくるので一般流に対する乱れとは趣を異にすると思料するが、すべてを包含した誤差量 (Fig.1 A, B 及び Fig.2 A, B の資料) を上式に当てはめてみると、

前後誤差は日本近海で $\sigma^2 = 1.15 \{0.4t - 0.08 (1 - e^{-\frac{t}{0.2}})\}$ 、

東支那海で $\sigma^2 = 1.65 \{0.4t - 0.08 (1 - e^{-\frac{t}{0.2}})\}$ 、

左右誤差は日本近海で $\sigma^2 = 0.37 \{1.8t - 1.62 (1 - e^{-\frac{t}{0.9}})\}$ 、

東支那海で $\sigma^2 = 0.51 \{1.8t - 1.62 (1 - e^{-\frac{t}{0.9}})\}$

又両海域、前後・左右すべてを丸めると $\sigma^2 = 0.84 \{0.7t - 0.49 (1 - e^{-\frac{t}{0.7}})\}$ となる。これら本文で述べた (1) (2) (1') (2') 式とは近似性に於ては優劣はないが $\sigma = a\sqrt{t}$ とした近似式とは t が小なる程懸隔度は増す。

附 録 2

本実験に於ける結果に普遍性があるかどうかをみる為他の報告との比較を行つてみた。鯨島・川本両氏は 6 隻の船舶の綜合資料より $r_1 = \sqrt{0.14350t + 0.003154t^2}$ 、 $r_2 = \sqrt{0.374688t - 0.005259t^2}$ を得ている³⁾ ので之等の実験式より 5 時間以内に於ける計算値の平均値を $r = a\sqrt{t}$ で平滑化すると $r = 0.4949\sqrt{t}$ となる。之を標準偏差に換算すると $\sigma = 0.734\sqrt{t}$ となり、本稿に於ける綜合誤差とはほぼ等しい。又巻島氏は北米東岸の資料より海流の乱れによる船位誤差として前後誤差が $\sigma^2 = 1.622 \{0.9T - 0.81(1 - e^{-\frac{t}{0.9}})\}$ 、左右誤差を $\sigma = 0.82\sqrt{t}$ としている⁴⁾ が本稿による値に比し幾分過大である。これは同海域が強烈な湾流に覆われているため一般流に対する乱れも亦大なる為と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 安井・坂田：船舶の風圧流に就いて (二)、海と空 22 (9) (1942).
- 2) 第二管区海上保安本部：二管水路部報 11 (1) (1961).
- 3) 鯨島・川本：推定船位の誤差について、日本航海学会誌 3 (1951).
- 4) 巻島：海流の乱れによる船の位置の誤差、日本航海学会誌 8 (1953).
- 5) 海上保安庁水路部：北太平洋海流図 (1936).
———：昭和 35 年 10~12 月 日本近海海況図 (1961).
- 6) 気象庁：全国海況旬報、No. 472 (1959).