

船酔いしない漁船への挑戦（その1）
- 人間工学からの乗り心地評価法とその応用 -

重廣 律男*

Attempt to Design a Fishing Vessel without Seasickness
- Evaluation Method of Passenger Comfort from the Viewpoint of Human Engineering
and Its Application to a Fishing Vessel -

Ritsuo SHIGEHIRO*

Abstract

Seasickness has always been a serious issue for people prone to motion sickness. Obviously if passenger comfort could be improved, they would easily get on board such as a car. The design of the ride control system for a fishing vessel presents special problems due to the need to optimize the arrangement of actuator. In addition, the effect of this system sometimes gives a different reputation among the shipbuilder, ship-owner and fishermen. The main reason is that they do not have a common long measure related to seasickness.

In this paper, a new evaluation method of the ride control system for a fishing vessel has been proposed from the viewpoint of human engineering. The method evaluates the amplitude of accelerations, their frequencies and the influence of exposure duration. The point about the development of this method takes into account the influence of exposure duration during the boarding time. In the evaluation method, the effect of ride control system is quantitatively discussed among the shipbuilder, ship-owner and fishermen.

キーワード：船酔い，乗り心地評価法，加速度，慣れの影響，アンチ・ピッチングフィン

Keywords: Seasickness, Evaluation method of passenger comfort, Acceleration, Influence of exposure duration, Anti-pitching fin

*Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-20-50 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan (鹿児島大学水産学部, 〒890-0056 鹿児島市下荒田 4-50-20)

1. はじめに

船酔いは、ラクダ酔いととも人類の歴史で最も古から存在した人工的な病気で悩ましい問題である。しかし船から降りれば、普段の健常状態に戻るために、単なる一時的な微症状として医学的に問題視されることは少なかった。また、後継者を育成する漁業実習では、精神的に耐える（慣れる）ことが唯一の治療（訓練）手段であった。しかし、当人にとっては、非常に不愉快であり、深刻な問題であると同時に、将来、海に出て行くことを選択する時の大きな障壁の一つでもある。

近年、商船や客船では、経済の発展に伴って大型化が進み、これにより波浪の影響が小さくなり加えて、いろいろな動揺防止装置の採用により、乗り心地の改善が進められている。一方、漁船漁業の分野では、航海計器が商船と同等まで装備されるようになり、また、漁具も省力化が図られ、漁業効率の面では改善されてきたが、乗り心地に関しては、前述の「精神論」から然程変わらないのが現実である。しかしながら、現在の漁業規模の中で大型化が難しい漁船でも乗り心地の

改善は可能である。船酔いは動揺の大きさだけではなく、その周期も影響している。従って、船体に合った小さな装置によって船酔いに大きく影響する周期のみの動揺を制御するだけでも格段と乗り心地が改善される可能性がある。しかし、設計者が漁業者の感覚的表現を船体設計に反映させるには多くの苦勞を要し、また、動揺防止装置の効果についても投資を担う船主、設計者と漁業者間で定量的な共通認識を持つことが難しい。これの解決には、船主、設計者、漁業者間の共通の物差しとなる定量的な乗り心地評価法が望まれる。三者間で共通の物差しは、コミュニケーションの道具として活用され、設計者は、漁業者からの感覚的表現を具体的な設計に反映させやすくなり、また船主は、漁船漁業経営の一端として職場環境改善等に投資を行う場合に投資規模を判断するのに活用できる。

本報では、これまでの研究で明らかにされている船酔いの発生メカニズムや船舶の乗り心地評価法¹⁾およびその応用方法について紹介する。

2. 船酔いの発生メカニズム

船酔いの発生メカニズムには、二つの説がある。第一は、内耳にある前庭器官に作用する加速度または、力度（加速度の1回の時間微分）の過大な刺激による異常状態である。第二は、身体の傾斜を感じる前庭器官の情報と目や筋力等による身体の位置情報とのミスマッチによる混乱状態である。これらの主要因は、外部から加わる刺激であり、外因と呼ばれる。

一方、内因としては、先入観や自己暗示等が上げられるが、現在の所、船酔いと明確な因果関係が解明されていないので本報では省略する。

1) 内耳異常刺激説

内耳には身体の傾斜や回転運動を感じるための前庭器官があり、これは、Fig. 1 に示すように三半規管と耳石器から成り立っている。前庭器官は、加速度刺激が強すぎるとその動きに破綻をきたし、体の平衡が保てないだけでなく、周囲や自分自身が動いているような錯覚を起こす。これが「めまい」であり、船酔いは、前庭器官破綻期の一つの型といわれてきた²⁾。しかし、アミューズメントシアター等で加速度刺激がない場合でも、いわゆる、シネマ酔いを訴える者があることが知られている。また、長期間乗船して久しぶりに上陸した直後に、体がふらふらとした陸酔いを感じることもある。これらの現象は、内耳異常刺激説では、説明が付きにくい。

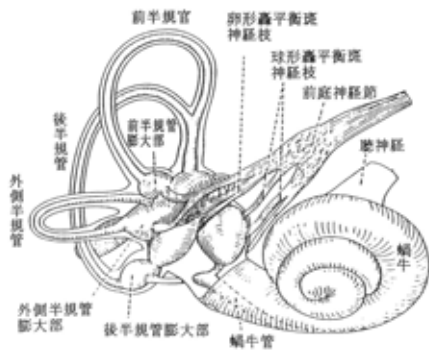


Fig. 1 Schematic illustration of internal ear vestibule organ.

2) 感覚混乱説

われわれは、身体の位置や運動を前庭器からの情報ばかりでなく、目からの視覚情報および皮膚、筋、腱等に加わった力を情報として知覚し、身体の平衡を保っている。日常生活で良く遭遇する感覚情報パターンは、中枢神経内に記憶されている。しかし、船に乗ると日常生活と異なる感覚情報パターンとなり、中枢神経系は自分の位置や運動が把握できず、感覚の混乱が生じる。中枢神経がこの適応を円滑にできない場合に

自律神経反射がおこり、船酔いが発生すると考えられる。また、船酔いに慣れが生じるのは、中枢神経内で揺れに適応させようとする生理現象であり、陸酔いは、この現象の影響といわれている。シネマ酔いは、視覚からの情報と前庭器官からの情報にずれがあるために、感覚の混乱が生じたためと説明される。現在、船酔いの発症を説明しやすいのは、感覚混乱説である。

3. 船舶の乗り心地評価法

現在、船舶の乗り心地評価法は、以下の3式に分類できる。

$$K = C \quad (1)$$

$$K = f(a, \omega) \quad (2)$$

$$K = f(a)g(\omega)\eta(n) \quad (3)$$

ただし、 C は加速度、あるいは力度である。また、 f, g, η は加速度、周波数、慣れの評価関数であり、 a, ω, n は加速度振幅、加速度の周波数、航海日数である。

(1)式は、加速度または力度の許容限界値を与える方法として古くから用いられる方法であり、Kempf, Lewis, 富, 岩井らが提案している。日本のエレベータ業界では、力度の許容限界値として最大力度を 1.73m/sec^3 に抑えて設計している。また、富³⁾が提唱している船舶の横揺れ力度の許容限界値は、 1.0m/sec^3 である。

一方、加速度については、上下加速度の許容限界値を示したものが多く、Lewisは旅客室を $0.2g$ (g は重力加速度)、乗務員室を $0.4g$ としている。岩井⁴⁾は、中小型船を対象にして基本設計段階で乗り心地の検討ができるように船体要目等から縦揺れによる上下加速度を推定する方法を示し、 $0.16g$ 以下が望ましいと提案している。また、ノルウェーの基準では、Table-1 に示すように作業内容によって区分されているものもある。

(2)式は、上下加速度の大きさだけでなく、その周波数の影響も考慮した評価方法である。富が指摘するように船酔いが力度に関係するとすれば、それは加速度の大きさと周波数の積によって表せることになる。また、O'Hanlonと McCauleyら⁵⁾は、上下振動する部屋に被験者を入れ、加速度振幅と周期を変化させた実験から嘔吐率 (Fig. 2 参照) を測定した。嘔吐率には、加速度の大きさばかりではなく、周期も大きく影響していることと周期が約6秒の時に嘔吐率のピークがあることが分る。ISO(2631/3)および後藤⁶⁾は、周波数の影響を周波数が 0.32Hz 以下(周期、約3秒以上)では一定値として単純化している。さらに、許容限界が航海時間のみに依存するとしてFig. 3 に示すような評価法を提案している。

Table-1 RMS criterion of accelerations and roll.
(NORDFORSK, 1987)

Vertical acceleration	Lateral acceleration	Roll	Description
0.20g	0.10g	6.0 °	Light manual work
0.15g	0.07g	4.0 °	Heavy manual work
0.10g	0.05g	3.0 °	Intellectual work
0.05g	0.04g	2.5 °	Transit passenger
0.02g	0.03g	2.0 °	Cruise liner

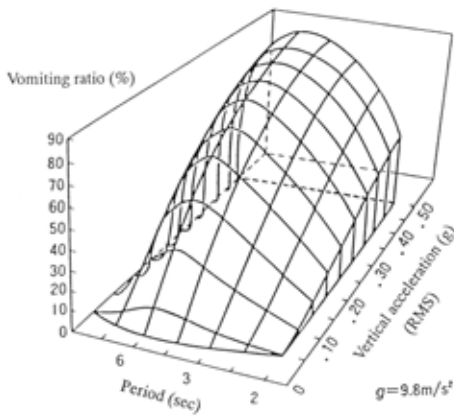


Fig. 2 Motion sickness incidence.

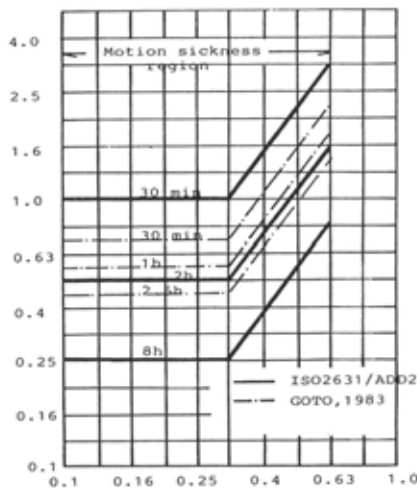


Fig. 3 ISO 2631/3 and Goto's RMS vertical acceleration.

(3)式は、加速度の大きさ、その周波数と慣れの影響を分離した表現方法である。筆者は、上下加速度と横加速度および航海日数を変数とした慣れによる影響を取り込んだモデル⁷⁾を提案した。

$$K = (C_z + C_y - C_z \cdot C_y) \eta(n) \quad (4)$$

ただし、

$$\begin{aligned} C_z &= f(\ddot{z})g(\omega_z) = (1 - e^{-6\ddot{z}})e^{-|1-\omega_z|/3} \\ C_y &= f(\ddot{y})g(\omega_y) = (1 - e^{-6\ddot{y}})e^{-|1-\omega_y|/3} \end{aligned} \quad (5)$$

\ddot{z} は上下加速度振幅 (重力加速度単位), \ddot{y} は横加速度振幅である。また, ω_z, ω_y はそれぞれの円周波数である。Kは0~1の値で表され, Fig. 4 に示すように C_z (上下加速度の関数) と C_y (横加速度の関数) の影響を確率の和としている。加速度振幅の影響をFig. 5 に示し, 周波数の影響をFig. 6 に示す。(5)式のそれぞれの係数は, 1998, 2000 年のかごしま丸での遠洋航海から得た値である。

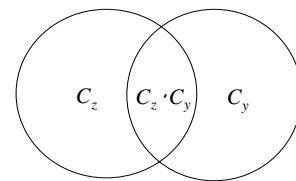


Fig. 4 Venn diagram showing C_z and C_y .

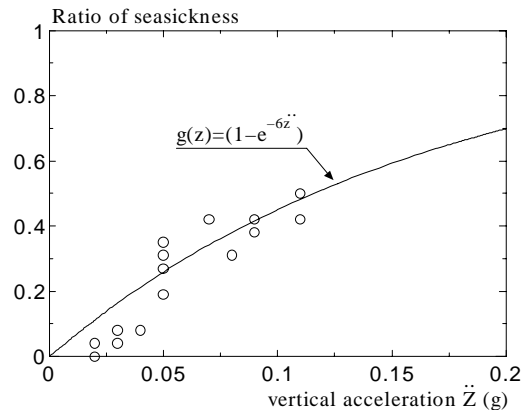


Fig. 5 Ratio of seasickness versus vertical acceleration.

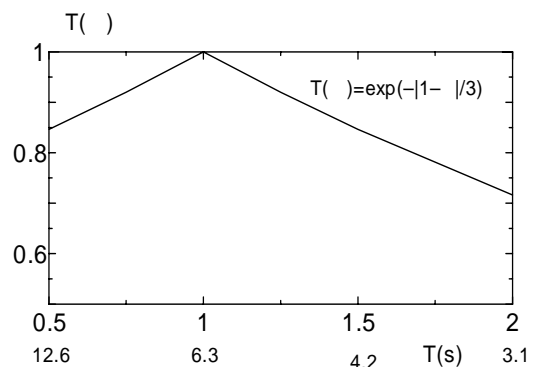


Fig. 6 Function of frequency for seasickness.

また、長期間乗船すると揺れに対する慣れがおこり船酔いが回復することが多い。慣れのおこり方には個人差があるが、大体、通常2~3日目で慣れがおこり、4日目ごろより症状が回復することが多い⁸⁾。慣れの影響に関しては、人間が船酔いに慣れる時間変化の過程を、Fig. 7 に示すようにステップ関数を入力とした抵抗・コンデンサー回路での蓄電・放電過程から(6)式のようにモデル化した。

$$\eta(n) = \{ \eta(n-1) - E(a^*) \} e^{-\beta} + E(a^*) \quad (6)$$

ただし、

$$E(a^*) = 0 \quad (a^* \leq 0.03g \text{ and } a_n \geq 0.03g)$$

$$= 1 \quad (a^* > 0.03g \text{ or } a_n < 0.03g)$$

$$a^* = |a_n - a_{n-1}|$$

$$a_n = \ddot{z}_n \vee \ddot{y}_n$$

a^* は加速度振幅の当日と前日の差の絶対値であり、 a_n は当日の上下加速度振幅、横加速度振幅の大きい方の値である。つまり、前日と同様の揺れが続くと (n) は零に近づき、逆に、揺れない、または停泊中であると元の状態 ((n) = 1) に戻るモデルである。時定数を意味する係数 β には、0.1 を採用した。

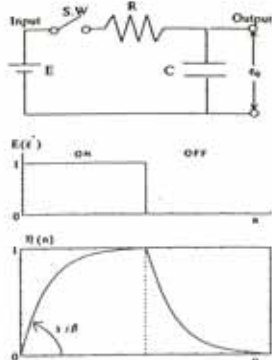


Fig. 7 Model of exposure duration (n).

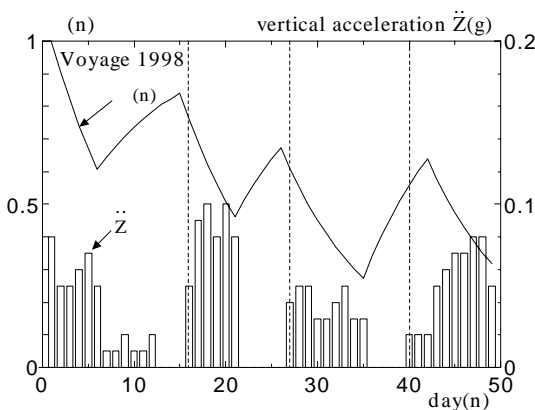


Fig. 8 Influence of exposure duration on reduction of the seasickness.

1998 年の遠洋航航海実習を例に慣れの影響関数変化の様子を Fig. 8 に示す。乗り心地評価法の精度確認のために乗船者へのアンケート調査を実施した。この結果を Fig. 9 に示す。本評価法と乗船者の回答との相関係数は0.87 とかなり高い。

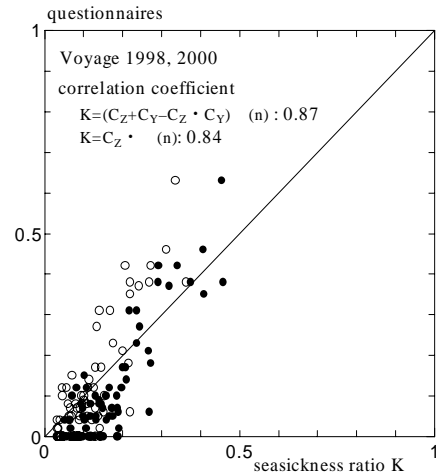


Fig. 9 Relationship between results of questionnaires and seasickness ratio K.

4. 乗り心地評価法の応用方法

乗り心地評価法は、船主、設計者と漁業者間の共通語としての活用だけではなく、乗り心地改善への投資効果を定量的に評価することにも応用できる。以下に、設計者、運航者(漁業者)、船主の立場からの乗り心地評価法の応用例を紹介する。

1) 設計者での応用例

小型船のピッチングを減少させる方法として、船首部あるいは船尾部にアンチ・ピッチングフィンを取り付ける方法がある。ここでは、鹿児島大学水産学部付属練習船「かごしま丸」($L_{pp}=62m$, 速力 13knots) を例に乗り心地の評価からフィン面積を検討する方法を紹介する。かごしま丸の概観図をFig. 10 に示す。運動計測には 1/31 縮尺の模型船 ($L_{pp}=2m$) を用いた。フィンを装着した模型船の写真をPhoto. 1 に示す。

フィンによって発生する力の主要成分は、揚力成分と付加質量成分である。ここでは紙面の都合上、計算方法の説明を省略するが、これら成分を各運動の項に分離してストリップ法に取り込むことができる⁹⁾。この計算精度は、Fig. 11 に示すように乗り心地評価の観点からフィンを取り付けた場合の上下加速度を推定するのに充分である。加速度振幅とその周波数の影響評価が容易である(4)式を用いて、フィン面積(A_F)を変化させた場合の乗り心地評価をFig. 12 に示す。かごしま丸にアンチ・ピッチングフィンを用いて乗り心地改善を図る場合、フィン面積は、乗り心地の観点から船体

の水線面積(A_w)の4%までが限度である。これ以上フィン面積を増加させても乗り心地の改善効果は、それほど上がらない。また、フィン面積4%を採用した場合、約30%の乗り心地改善が期待できる。

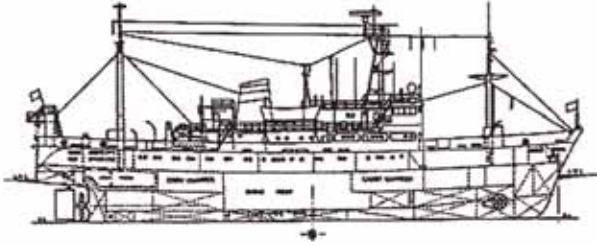


Fig. 10 Side profile of the Kagoshima-maru



Photo. 1 Model arrangement with anti-pitching fins

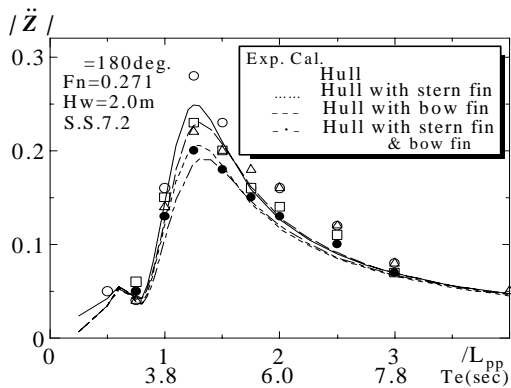


Fig. 11 Estimation of vertical acceleration in head seas.

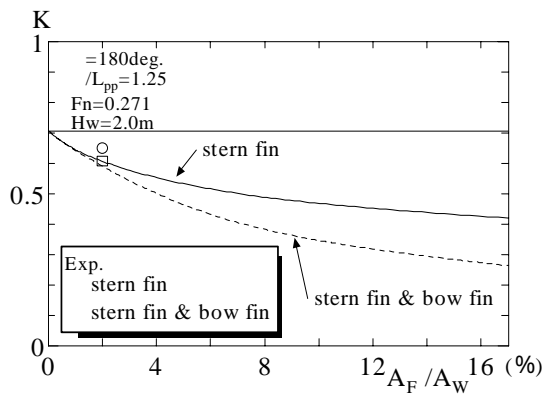


Fig. 12 Variation of seasickness ratio K due to change in area of anti-pitching fins.

2) 運航者での応用例

運航者が最も懸念することは、乗組員作業時の安全性確保または、乗客へのサービス低下である。ある海面の波浪状態をこれまでの経験や気象情報から例えば、Fig. 13 に示すISSC波スペクトラムのように推定することができる。ただし、 H は有義波高であり、 ω は平均波円周波数である。さらに、波向き(χ)分布には、

$\cos^2 \chi$ ($-\pi/2 \leq \chi \leq \pi/2$) と仮定して、

$$[f(\omega, \chi)]^2 = \frac{2}{\pi} \cos^2 \chi [f(\omega)]^2 \quad (7)$$

が得られる。

船体運動の応答関数は、模型実験またはストリップ法等により求めることができる。これらを用いて(8)式から実海面を想定した、不規則波中での船体加速の標準偏差を確立論的に求めることができる。

$$\sigma^2(\psi) = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} [f(\omega, \chi)]^2 [A(\omega, \psi - \chi)]^2 d\omega d\chi \quad (8)$$

ただし、 $A(\omega, \psi)$ は、船体運動の応答関数である。 ω 、 ψ は、それぞれ波円周波数、波向き、船首方位である。Rayleigh の確立密度関数から加速度振幅の値は、

$$\begin{aligned} \text{平均値} &= 1.25 \\ (1/3)\text{有義平均値} &= 2.00 \end{aligned}$$

となる。

前節と同様に(4)式から Fig. 14 に示すように船酔い率(K)を推定することができる。本図は、かごしま丸の船橋位置での有義平均値を用いた計算例であるが、船酔い率(K)は、斜め向い波($\theta = 120^\circ \sim 150^\circ$)と横波状態($\theta = 90^\circ$)で厳しい値であるが、追い波中($\theta = 0^\circ$)であるとかかなり小さくなる。さらに、慣れの影響により仮に5日間以上同様の航海を続けると、これらの約半分以下になることが期待できる(Fig. 8 参照)。

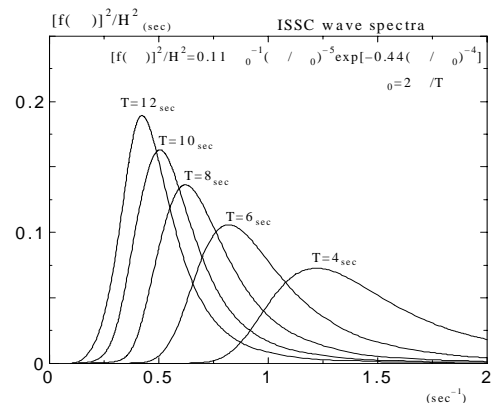


Fig. 13 Example of wave spectrum by ISSC.

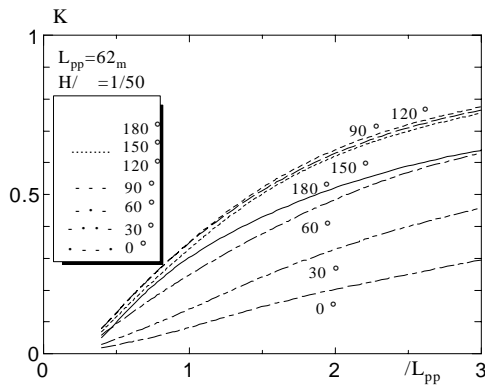


Fig. 14 Ratio of seasickness K change in wave directions.

3) 船主での応用例

投資を担う船主にとっては、乗り心地の改善量を燃費のように金額で評価できれば、投資の判断材料となる。本報では、旅客船の需要増加予測に用いられている犠牲量モデルに乗り心地評価を取り入れた池田らの方法¹⁰⁾の応用を試みる。犠牲量モデルとは、利用者があるサービスを受ける際に、支払う料金・時間価値、その他の要素（ここでは、乗り心地）を金額換算値に直して、利用者の選択行動を推定するものである。池田らのモデルは、

$$Gc = F + Tr \cdot Tv + m \cdot K \quad (9)$$

である。ただし、 F は運賃、 Tr は所要時間、 Tv は利用者の時間価値、 m は乗り心地の重み値、 K は乗り心地評価値である。ここでは、利用者と船主の関係が説明しやすい、大都市近郊の遊漁船を例に乗客獲得率として取り上げてみる。この場合、 F を遊漁船料、 Tv を速力等の性能価値に読み替えれば良い。ただし、各項の重み値は、再度、新たに検討する必要があり、収入額、魚場までの距離と乗り心地に関する影響度に依存する。

犠牲量モデルの模式図を Fig. 15 に示す。図中の上部グラフは、遊漁船 A 丸と B 丸の犠牲量を表し、下部グラフは、速力等の性能価値 (Tv) を変数とした乗客分布をモデル化したものである。犠牲量の少ない方を乗客が選択することになるので、A 丸は OA のシェアを獲得し、B 丸は、AB のシェアとなる。ここで、A 丸が乗り心地改善の投資を行う場合、(9)式から乗り心地改善の項は定数となり、犠牲量は平行に減少し、一点鎖線のようになる。この結果、A 丸は乗り心地改善により、A から AA に占める乗客を B 丸から獲得する可能性を持つ。従って、乗り心地改善費用とこの乗客獲得益が見合えば投資価値があることになる。

また、一般的な操業船や個人漁業船の新造船建造等には、欠航率の減少あるいは安全性向上、職場環境整備として取り込むことが可能と思われるが、これらの妥当性の検討は、今後の研究に期待する所が大きい。

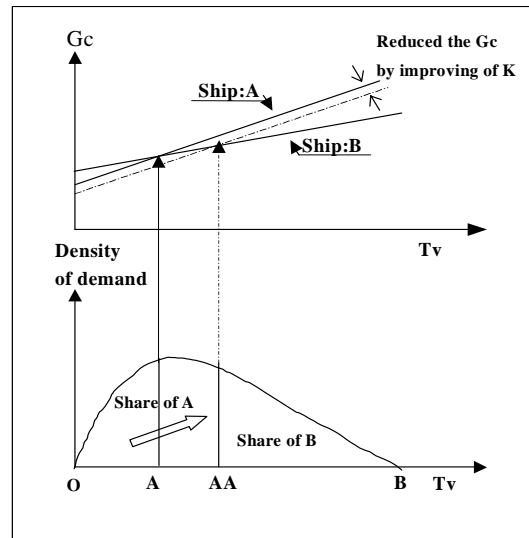


Fig. 15 Example of Generalized cost (Gc) model.

5. おわりに

船酔いの発生メカニズムや船舶の乗り心地の評価法およびその応用方法について筆者の考えを述べてきた。乗り心地の評価法については、まだ、確立されておらず、百家争鳴の時代である。しかし、どのような形にせよ、今後の研究、議論の中で乗り心地の評価法が確立されれば、船主、設計者、漁業者間の共通の物差しとなるわけであり、より良い漁船の開発に寄与することは間違いない。会員諸兄のご参考になれば、筆者望外の幸せである。

参考文献

- 1) 池田良穂・重廣律男：船舶の乗り心地評価法，関西造船協会誌らん，第 20 号，pp.17-22，1993.
- 2) 吉本裕：のりもの酔い，治療，59(4)，pp.1241-1249
- 3) 富武満：船舶における振動および動揺許容限界に関する研究（第 1 報），関西造船協会誌，第 104 号，pp.18-30，1961.
- 4) 岩井清：縦揺れによる乗り心地判定法，西部造船協会会報，第 30 号，pp.73-82，1965.
- 5) O'Hanlon・J.F. McCauley：Motion Sickness Incidence as a Function of the Vertical Sinusoidal Motion，Aerospace Medicine，pp.336-369，1974.
- 6) D. Goto：Characteristics and Evaluation of Motion Sickness Incidence On-Board Ship，The 2nd International Symposium on Practical in Shipbuilding，Tokyo & Seoul，pp.657-662，1983.
- 7) Shigehiro R.・Kuroda T.・Arita Y.：Evaluation Method of Passenger Comfort for Tarring Ships in Irregular Seas，Proceedings of ISOPE，Norway，pp.562-569，2001
- 8) 松永亨・武田憲明：動揺病と宇宙酔い，耳鼻臨床，81(8)，pp.1095-1120，1988.

- 9) Ritsuo Shigehiro • Takako Kuroda : Evaluation Method of Passenger Comfort and Its Application to a Ship with Anti-Pitching Fins, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 11, No. 2, pp.106-112, 2001.
- 10) 黒田貴子・池田良穂 : 乗り心地観点に基づく耐航性能の経済的評価, 関西造船協会論文集, 第 236 号, pp.175-180, 2001.

List of figures

- Fig. 1 Schematic illustration of internal ear vestibule organ.
- Fig. 2 Motion sickness incidence.
- Fig. 3 ISO 2631/3 and Goto's RMS vertical acceleration.
- Fig. 4 Venn diagram showing C_z and C_y .
- Fig. 5 Ratio of seasickness versus vertical acceleration.
- Fig. 6 Function of frequency for seasickness.
- Fig. 7 Model of exposure duration (n).
- Fig. 8 Influence of exposure duration on reduction of the seasickness.
- Fig. 9 Relationship between results of questionnaires and seasickness ratio K.
- Fig. 10 Side profile of the Kagoshima-maru
- Fig. 11 Estimation of vertical acceleration in head seas.
- Fig. 12 Variation of seasickness ratio K due to change in area of anti-pitching fins.
- Fig. 13 Example of wave spectrum by ISSC.
- Fig. 14 Ratio of seasickness K change in wave directions.
- Fig. 15 Example of Generalized cost (Gc) model.

Table-1 RMS criterion of accelerations and roll.

Photo. 1 Model arrangement with anti-pitching fins