



ブリッジチーム員間の心的負荷評価を目指して

村井, 康二
野間, 祐次
林, 祐司

(Citation)

神戸大学海事科学部紀要, 1:51-56

(Issue Date)

2004-07

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00420862>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00420862>



ブリッジチーム員間の心的負荷評価を目指して

Towards the Evaluation of Mental Workload among Bridge Teammates

村井 康二, 野間 祐次*, 林 祐司
Koji MURAI, Yuji NOMA* and Yuji HAYASHI

(平成 16 年 4 月 9 日受付)

Abstract

On entering and leaving ports, a captain needs so many operations of a rudder and engine control, that he/she gives orders for bridge teammates in a short time. Moreover, a ship's course control is difficult at a low speed as it is easily affected by wind and current. On Entering/leaving port, navigation is hard work in navigational watch keeping, and cooperation among bridge teammates is most important for safe navigation. Also, its importance is common knowledge in the world. However, its evaluation depends on a seafarer's experiences, not a quantitative index.

The purpose of this paper is to evaluate the mental workload of bridge teammates on entering/leaving ports with heart rate variability. The experiment is carried out at three ports with our training ship. The bridge teammates are a Captain, a Deck officer and a Quartermaster, and we measure their R-R interval at the same time. Here, R-R interval means a time from R peak to the next R of heartbeats. We calculate the SNS value (LF/HF) with frequency components of R-R intervals, LF is 0.04 to 0.15 Hz and HF is 0.15 to 0.40 Hz. LF is reflected by the sympathetic nervous system and parasympathetic nervous system and HF is reflected by the parasympathetic nervous system. The SNS value is able to evaluate an activity of the sympathetic nervous system and parasympathetic nervous system at the same time. This index is used to evaluate the mental workload in many research fields.

As a result, we can confirm the transition of the bridge teammates' mental workload with the SNS value when the captain makes a decision to change course and the deck officer and the quartermaster receive his/her orders.

(Received on April 9, 2004)

1. はじめに

各種操船作業の中で、出入港操船は短時間内に針路、速力の制御を多く必要とし、さらに着岸時には低速力のために舵効きが悪い状況下で、風潮流の影響を加味しながら操船判断を行う必要がある。これらの理由から出入港操船は操船者にとって心的負荷の大きい操船作業の一つといえる。また、出入港操船や狭水道操船では、船長、航海士および操舵手によるブリッジチーム員の有効な協調作業が重要視される。

本研究では、従来行われてきた操船者のみに対する評価^{[1]-[3]}ではなく、ブリッジチーム全員の心的負荷を評価し、各ブリッジチーム員

の関係を評価することを主目的とする。実験は、出入港操船、揚投錨操船、狭水道操船を含む13海域を対象に実施する。本論では、特に出入港操船に注目し、解析を進める。具体的には、出入港操船時の船長、航海士および操舵手の心拍R波の時間間隔（以下、R-R間隔と呼ぶ。）を連続的に測定し、各ブリッジチーム員の出入港操船作業時における心的負荷の偏移について検討、考察する。

2. 心拍変動について

心臓の拍動は、自律神経系によりそのリズムの調整が行われている。そして、自律神経系は交感神経と副交感神経からなり、両者は拮抗して働いている。交感神経は、緊張や興奮

* 株式会社 商船三井

などストレス状態の時に優位となり、一方、副交感神経が優位の時には、心臓の働きは抑制される。つまり、心拍数や R-R 間隔の変動（心拍変動）を測定することにより、心的負荷の自律神経系への影響を定量的に推測、評価することが可能であると考える。

ここで、R 波とは P、Q、R、S および T 波と名づけられた心電図成分のうち、血液を左心房から大動脈に送り出す時に生じる波形であり、R-R 間隔とは、R 波ピークと次の R 波ピークまでの時間間隔をいう。図 1 に R-R 間隔の概略を示す。図 1 からわかるように、R 波は他の波形より、振幅が最も大きく、検出が容易である。^[4]

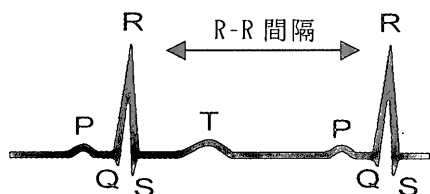


図 1 R-R 間隔の概略

3. ブリッジチーム員の R-R 間隔測定実験

3.1 実験概要

R-R 間隔の測定実験は、海事科学部附属練習船「深江丸」の長崎港、高松港、海事科学部繫留岸壁（深江）の出入港操船を対象に行う。出入港操船時には、船長、航海士および操舵手はそれぞれ心拍計を装着する。本実験では、心拍計として、ポラール社 s810i を用いる。

本装置は、センサの付いたストラップベルトを胸部に装着し、無線により腕時計型メモリに R-R 間隔データを送信、記録する。

3.2 実験海域

実験海域の概要として、航跡図を図 2 に示す。また、図 3 から図 5 に各港毎の出入港時の航跡図も示す。そして、R-R 間隔測定実験を実施する具体的な海域等の一覧を表 1 に示す。また、表 2 に本論で解析を行う各出入港操船実験に対する実験諸元を示す。ただし、各値は各実験の平均を示す。

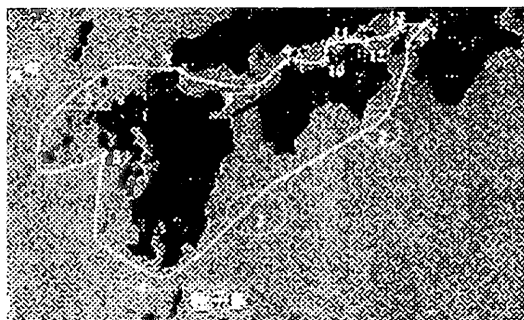


図 2 実験海域

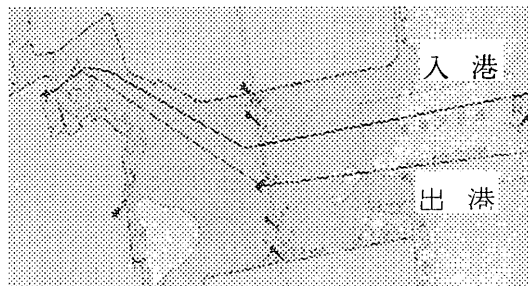


図 3 深江出入港時の航跡図

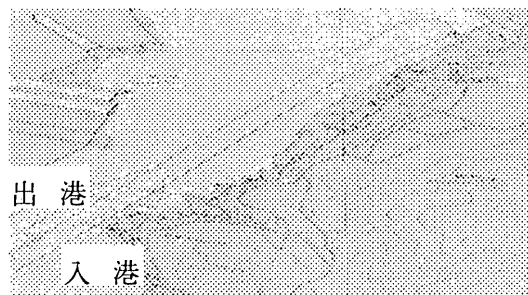


図 4 長崎出入港時の航跡図

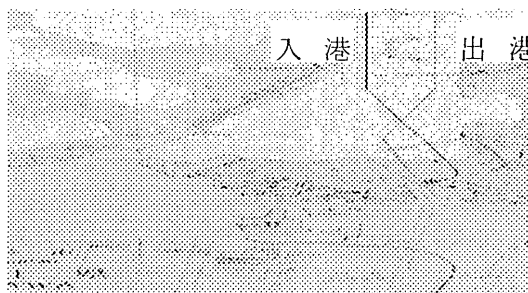


図 5 高松出入港時の航跡図

表 1 実験海域の一覧

①	深江出入港 深江沖仮泊	⑧	周防灘
②	室戸岬沖	⑨	来島海峡
③	日向灘	⑩	備讃瀬戸六島南方仮泊
④	九州南岸	⑪	備讃瀬戸南航路から 宇高西航路
⑤	長崎入出港	⑫	高松入出港

⑥	九州北岸	⑬	明石海峡
⑦	関門海峡		

表 2 実験諸元

日付	8.1	8.3	8.5
港名	深江出港	長崎入港	長崎出港
風向	S	SSE	WSW
風速	3	3	5
天候	bc	bc	bc
気圧	1006.9	1010.4	1009.8
気温	29.1	28.6	31.0
日付	8.7	8.7	8.8
港名	高松入港	高松出港	深江入港
風向	ENE	ESE	SSE
風速	6	8	10
天候	bc	c	c
気圧	1007.9	1005.7	1006.4
気温	26.5	28.7	25.9

3.3 被験者

被験者は、深江丸の船長 1 名、航海士 2 名、操舵手 1 名および航海士（臨時）1 名の合計 5 名である。以下に順に説明する。

- 船長：46 歳，男性，乗船経験 19 年
- 航海士 a：48 歳，男性，乗船経験 30 年
- 航海士 b：42 歳，男性，乗船経験 22 年
- 操舵手：24 歳，男性，乗船経験 3 年
- 航海士 c：31 歳，男性，乗船経験 8 年

3.4 行動観察

ワークサンプリング法により，R-R 間隔測定と同時に船長，航海士および操舵手の会話を IC レコーダにより記録する。そして，各被験者の動作や周囲の状況等を目視観察により 1 秒単位で記録する。顕著な物標に対してはその名称，通過時間等も記録する。さらに，風向・風速等の気象・海象条件は深江丸の航海データ収集装置により，MO ディスクに記録する。

4. 測定データの解析方法

本論では，まず心拍計により測定した R-R 間隔データを 0.5 秒の等間隔データに 3 次ス

プライン補間により変換する。そして，求められた等間隔 R-R 間隔データを最大エントロピー法により周波数解析し，30 秒毎のスペクトルを計算する。次に，SNS 値を求めることでブリッジチーム員の心的負荷を評価する。

4.1 補間法

心拍計により測定する R-R 間隔データは，変動しており，等間隔でないために，周波数解析を行う場合，等間隔データに補間することが一般的である。

補間法としては，各々の測定点を直線で結ぶ直線補間や滑らかに結ぶスプライン補間があり^[5]，本論では研究実績の多いスプライン補間を用いる。

4.2 周波数解析法

一般的な周波数解析方法として，高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform：FFT）^[6]や最大エントロピー法（Maximum Entropy Method：MEM）^{[7]-[9]}がある。そして，時間的な特徴を抽出する場合，時系列データに窓関数を畳込ながらフーリエ変換を行う短時間フーリエ変換や窓関数の大きさを変化させるウェーブレット変換がある。これらの時間-周波数解析では，適切な窓関数を用いることが重要となる。一方，MEM はエントロピーを最大にするスペクトルを決定する手法で，短いデータ長からスペクトルを求める際に特に有効な手法である^[10]。本論では，窓関数が不要な MEM を用いる。

4.3 SNS 値

ブリッジチーム員の心的負荷を表す指標として SNS（Sympathetic Nervous System）値^[1]を(1)式により求める。

$$\text{SNS} = \text{LF} / \text{HF} \quad (1)$$

ここで，LF は 0.04 以上 0.15Hz 未満のスペクトルの積分値，HF は 0.15 以上 0.40Hz 以下のスペクトルの積分値である。SNS 値が大きいほど心的負荷は大きい。

R-R 間隔変動の低周波数成分 (Low Frequency: LF) 0.04~0.15Hz は、交感神経と副交感神経の両方の活動を反映しているといわれ、緊張状態に活発化する。高周波成分 (High Frequency: HF) 0.15~0.40Hz は、副交感神経の活動のみを反映するといわれ、リラックス状態に活発化する。つまり、SNS 値は、LF 成分と HF 成分の比を求めることで、交感神経と副交感神経の活動を同時に評価する指標である。^[11]

5. 結果および考察

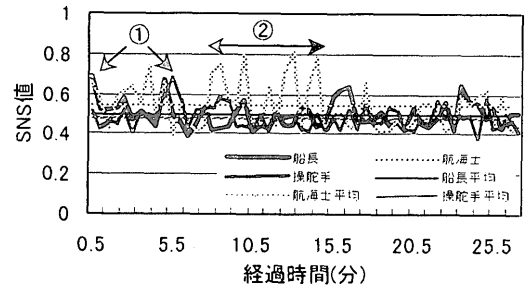
長崎、高松および深江の出入港操船に対して収集した R-R 間隔データを 30 秒毎にスペクトル解析し、SNS 値を求めた結果を図 6 から図 11 に順に示す。各図は、横軸を時間 (分)、縦軸を SNS 値とする。また、グラフ中の横線は船長、航海士および操舵手の SNS 値の平均を示す。

5.1 深江出港時

図 6 に、深江出港時における SNS 値の変動を示す。

図 6 から、船長、航海士および操舵手の SNS 値は離岸時および S/B eng. 時 (①) に最も大きな値を示した。また、SNS 値の変動には、ある程度の個人差は見られるが、操船判断時 (②) に船長の SNS 値は増加し、さらに船長の操船判断を受けた航海士 c および操舵手も SNS 値が引き続き増加する傾向が見られた。「Dead slow ahead eng.」や「Slow ahead eng.」等、機関使用のみを行う時は、航海士 c のみの SNS 値が増加し、操舵手の SNS 値は減少した。そして、「Port Five」や「Midships」等、舵やスラスター使用のみを行う時は、操舵手のみの SNS 値が増加し、航海士 c の SNS 値は減少した。

船長および操舵手は、本学繋留岸壁の出港経験が豊富であり、SNS 値の変動が小さくなったと考えられる。一方、航海士 c は経験が少ないために、SNS 値の変動が大きくなったと考えられる。



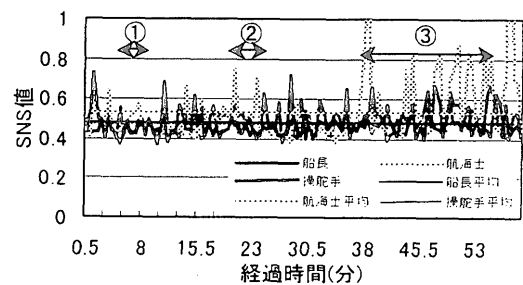
- ① 離岸, S/B eng. 時
- ② 操船判断時

図 6 深江出港時の SNS 値

5.2 深江入港時

図 7 に、深江入港時における SNS 値の変動を示す。

図 7 から、深江出港時と同様に S/B eng. 時 (①) に船長、航海士 c および操舵手の SNS 値は増加した。そして、船が岸壁に近づき短時間内に多くの機関使用とスラスター使用を必要とした時 (③)、船長は多くの操船判断を必要とし、その操船判断を受ける航海士および操舵手の SNS 値も増加する傾向が見られた。また、船長について、横切船の見張りを行っていた時 (②)、経過時間とともに SNS 値は緩やかに増加する傾向があった。



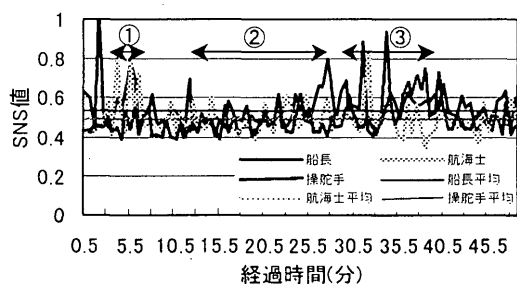
- ① S/B eng. 時
- ② 横切り船に対する見張り時
- ③ 機関およびスラスター使用時

図 7 深江入港時の SNS 値

5.3 長崎入港時

図 8 に、長崎入港時における SNS 値の変動を示す。

図8から、入港部署発令時(①)に船長、航海士および操舵手のSNS値が大きく、船長については、操船判断時(③)に、特に大きなSNS値を示した。同時に、航海士および操舵手のSNS値も増加し、変動も増加した。また、着岸のアプローチ操船時における同航船や漁船等の他船の見張り時(②)に、SNS値は緩やかに増加する傾向が見られた。次に、操船判断時(③)について、詳細に検討してみる。船長は、機関使用や変針等の短時間内に多くの操船判断を必要とする時にSNS値は、複数回大きく増加した。そして、その操船判断を受けた航海士および操舵手のSNS値も船長のSNS値の増加に追従するように増加した。(③)の矢印で範囲を示している経過時間の最後の方では、SNS値に大きな変動は見られなくなるが、操舵手のSNS値は増加傾向にあった。この理由として、航海士は、操船判断が少なくSNS値に変化は見られず、また操舵手は、スラスター使用やBell bookの記入等の作業が続いたために、SNS値が増加したと考えられる。



- ① 入港部署発令時
- ② 他船見張り時
- ③ 操船判断時

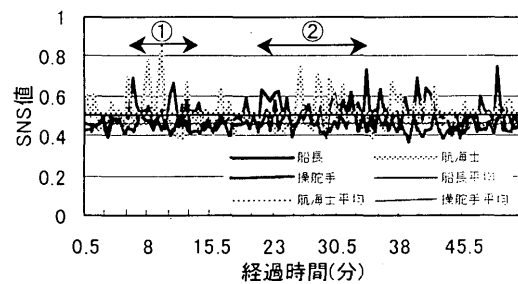
図8 長崎入港時のSNS値

5.4 長崎出港時

図9に、長崎出港時におけるSNS値の変動を示す。

図9から、部署発令時、S/B eng.時および操船判断時(①)にSNS値の増加傾向が見られた。そして、①の範囲では入港する反航船、②の範囲では同航船および動向に注意が必要な小型船が多数存在し、多くの見合い関係に対する注意が長時間必要となり、SNS値の変動が多く見ら

れたと考える。



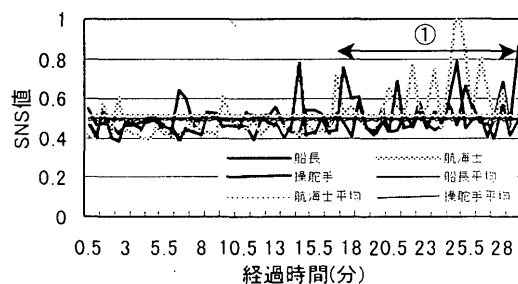
- ① 部署発令時、S/B eng.時および見張り時
- ② 操船判断時および見張り時

図9 長崎出港時のSNS値

5.5 高松入港時

図10に、高松入港時におけるSNS値の変動を示す。

図10から、同港に入港するフェリーを先行させるために減速してからは、自船周囲に他船は無く、船長および航海士のSNS値にあまり変動は見られなかった。しかし、深江入港時と同様に、着岸岸壁が近づき、多くの機関使用とスラスター使用の必要が生じた操船判断時(①)に、SNS値は増加し、この操船判断を受ける航海士および操舵手のSNS値も増加した。



- ① 操船判断時

図10 高松入港時のSNS値

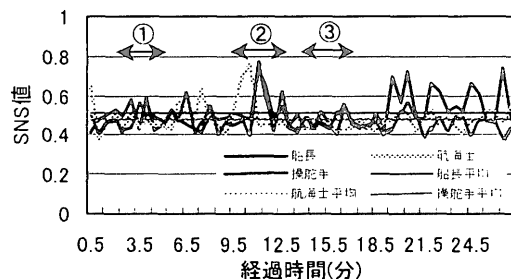
5.6 高松出港時

図11に、高松出港時におけるSNS値の変動を示す。高松出港時については、出船左舷着けであること、船長が本港に対する経験が豊富なことから、学生に出港操船を指導した。

図11から、船長のSNS値の変動は全体的に小

さかった。また、学生が操船判断をする時(③)には、その判断に注意を必要とし、SNS 値が少し増加する傾向が見られた。

また、舷梯の状況や船首、船尾の作業状況を確認している時(①)、他船に対する見張り時(②)に、SNS 値が変動していた。



- ① 出港作業の状況確認時
- ② 見張り時
- ③ 操船判断時(学生)

図 11 高松出港時の SNS 値

これらの結果から、1)操船判断を行う者とその判断を受ける者の心的負荷には関連性がある。2)操船判断や見張り作業等の種類により、SNS 値の変動やレベルが変化するという2点について、定量的な評価を行うことができる可能性が得られたと考える。

6. おわりに

本研究では、本学繋留岸壁(深江)、長崎港および高松港の3港に対する深江丸の出入港操船時におけるブリッジチーム員の SNS 値の変動特性について検討、考察した。

ブリッジチーム員間の心的負荷の関係について得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 部署発令時や S/B eng. 時等、自船全体の操船作業に関する動作を行う場合、船長、航海士および操舵手ともに、SNS 値が増加する。
- 2) 操船判断を受ける者は、その判断を行う命令者の SNS 値の増加に追従する様に SNS 値が増加する。

今後の研究の展開として、ブリッジチーム員のコミュニケーション力やチーム力が、SNS 値を用いることにより評価できる可能性があることが期待できる。

最後に本実験に御協力いただいた深江丸乗組員および諸関係の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 小林弘明, 仙田晶一: 心拍変動データによる操船者の知的負担の研究, 日本航海学会論文集, 第 98 号, pp. 247 - 255 1998
- [2] 加藤和彦, 重田茂夫, 小林敏生, 村山義夫, 小林弘明, 遠藤真, 阪口泰宏, 市原信: 船員のワークロードに関する研究-II, 日本航海学会論文集, Vol. 96, pp. 167-173 1997
- [3] 村井康二, 林 祐司, 三好雄一, 井口征士: 実船操船とシミュレータ操船における操船者の目視領域と緊張度に関する基礎研究, 電気学会論文誌 C 編, 123 巻, 7 号, pp. 1311-1318 2003
- [4] <http://www.techno-qanda.net/dsweb/Get/Document-14885/inoue-yumiko2.doc.doc>
- [5] http://www.hitachi-medical.hbi.ne.jp/how_to/opt/kaisetsu-4.html
- [6] 吉川敏則: C 言語実用数値処理プログラム集, pp. 198 - 201, 近代科学社 1993
- [7] 竹本宣弘, 荒実: C による数値計算, pp. 218 - 225, 朝倉書店 1987
- [8] 南茂夫, 河田聡: 科学計測のためのデータ処理入門, pp. 81 - 88, CQ 社 2002
- [9] 日野幹雄: スペクトル解析, pp. 235 - 236, 朝倉書店 1982
- [10] <http://www.nano.pe.u-tokyo.ac.jp/~kota/ennsyuu/syuuha.htm>
- [11] 内藤晴嗣, 村井康二, 林祐司: 時系列 R - R 間隔の変動特性に関する基礎研究, 神船大学紀要第二類, 第 50 号, p. 2 2002