狭水路における速力規制の功罪検証

朴 榮守*・井上 欣三**

Verification of the Merits and Demerits of Speed Control in Narrow Waterway

Young-soo PARK and Kinzo INOUE

Abstract

Speed Control has been considered to be a useful measure to improve the safety of navigation in narrow waterway. According to the simulation analysis, it becomes clear that the speed control doesn't always bring merit in safety, it also produces demerit in ship handling difficulty that imposes on mariners.

Although the speed control may decrease the chance of overtaking when the legal control of speed limitation is imposed, but it makes the elapsed-time to overtake more longer in case of heavy traffic. In the present paper, the quantitative evaluation has been done to verify the merits and demerits of the speed control by introducing Environmental Stress Model.

1. はじめに

日本の海上交通安全法では、浦賀水道、中の瀬航路、伊良湖水道、水島航路の全区間と備讃瀬戸東航路、備讃瀬戸北航路、備讃瀬戸南航路の定められた区間では、船舶は12ノットを越える速力で航行してはならないと定められている。これは、日本の狭水路における航行速力規制の原点となっている。

しかし、この速力規制が大型化・高速化する船舶に操船上の負担を課すことや航行速力の上限を一律に抑える事から生じる交通の団子状態が長時間にわたって操船者に精神的な負荷を課すことなどから、運航実務者からは、航行速力規制の効果や意義に疑問が呈され、この制限の緩和や撤廃を望む声も出始めていることも事実である。

このように操船実務者が経験的に感じる操船困難性や身をもって体験する精神的負荷は主観的な言葉による表現では一般的に理解されにくい。そこで、本研究では、従来から実施されてきた12ノット速力規制が、操船者にどのようなメリットをもたらし、または、どのようなデメリットを課しているものか

を、環境ストレスモデル⁽¹⁾を導入して客観的に功罪検証することを試みた。

2. 海上交通シミュレーション

2.1 狭水路の設定

日本の狭水路の特徴としてよく見られるように、水路の途中に島や浅瀬などがあって、これらによって水路の一部分が挟まれるような水路を考える。このような障害物は細長い横長の矩形の島で模擬した。

図1に、功罪検証のための評価対象狭水路の模式図を示す。水路の長さは7マイル、水路の幅は400メートルと1,000メートルの2種類とした。なお、海上交通シミュレーション実施にあたっては、全体で14マイルの区間をシミュレーションエリアとした。

2.2 交通流の生成

(1) ランダム交通流の生成

まず、図1に示したゲートラインAにおいて一様乱数を用いて船の発生位置を決める。次いで、ゲートラインBおよびゲートラインCにおいて同様に一様乱数を用いてその船の通過位置を決め、これら3

* 学生会員 神戸商船大学大学院 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

**正 会 員 神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

図1 評価対象狭水路

点を結ぶ直線上を航行させる。このような方法で次々と各船舶に航行ルートを与える。なお、船舶の通航方向は北航の一方通航とした。

(2) 船舶発生隻数と船型構成

発生させる船舶隻数は10隻/時、20隻/時、30隻/時の3種類とし、船型は表1に示すような8種類に区分した。表1には、船舶明細書⁽²⁾記載の船舶について各船型区分ごとに平均船長と標準偏差を求めた結果と各船型区分ごとの構成割合も併せて示している。各船型区分ごとの構成割合は平成11年度に実施された瀬戸内海備讃瀬戸水域における交通実態調査結果⁽³⁾を参照したものである。なお、発生船舶の船型区分は表1の構成割合に応じて割り当て、大きさの属性は各船型区分ごとの平均全長と標準偏差のもとで正規乱数を用いて、各船ごとに与えた。

(3) 航行速力分布

発生船舶に割り当てる航行速力は、表1に示した各船型区分ごとの平均速力と標準偏差のもとで正規乱数を用いて、各船ごとに与えた。表1に示した各船型区分ごとの航行速力の統計データは平成11年度に実施された瀬戸内海備讃瀬戸水域における交通実態調査結果⁽³⁾を参照したものである。

(4) シミュレーション時間

海上交通シミュレーションの実施にあたっては合

表1 発生船舶の船型構成及び全長、速力

船型区分	平均全長 (m)	全長 標準偏差	船型構成 比率	平均速力 (kts)	速力 標準偏差
20~100GT未満	15.2	5.6	27.1%	10.6	2.4
100~500GT未満	52.4	13.2	46.9%	10.7	2.3
500~1000GT未満	70.4	7.5	3.6%	11.7	2.5
1000~3000GT未満	90.8	10.4	13.8%	11.7	2.5
3000~6000GT未満	114.6	46.5	1.5%	13.1	2.7
6000~10000GT未満	141.2	12.6	1.7%	13.1	2.7
10000~20000GT未満	174.1	15.9	4.0%	13.1	2.7
20000GT以上	266.0	44.0	1.4%	13.1	2.7

計7時間分を生成し、このうち最初の1時間と最後の1時間を除いた5時間の交通流データを使用した。なお、結果の信頼性を向上させるために、ここでは、7時間のシミュレーションを乱数の初期値を変えながら合計5回行って、都合25時間分のデータを求めた。ただし、分析に際しては5時間平均に引き直して整理している。

(5) 速力規制の実施

図2は、船舶隻数を10隻/時、20隻/時、30隻/時としたときに、コンピュータ上に発生した5時間分の全発生船舶の速力分布を示したものである。速力規制の実施にあたっては、各船舶に与えられた速力属性が12ノットを越えるものには速力12ノットを与え直して航行させることとした。左列の図は速力規制がないときの速力分布であり、右列の図は12ノット速力規制後の速力分布である。

2.3 環境ストレスモデル⁽¹⁾による評価

ここでの海上交通シミュレーションにおいては、避航を考慮しないシミュレーションを実施した。こ

図2 発生船舶の速力分布

のシミュレーション結果に対し環境ストレスモデルを適用すると、いわゆる潜在環境負荷⁽⁴⁾が求まり、操船者に課される操船の潜在的困難性が速力規制の有無によってどのように相違するかが評価できる。ここに、潜在環境負荷の大きな値は避航操船の必要性を示唆するものといえる。

本研究では、狭くて長いいわゆる長大水路を対象にしているため、水路内での船舶の出会いの形態はすべてが追い越し、追い越され、または、並走と考えてよい。一般に、速力規制がなく各船が自由にオリジナル速力で航行する場合は、船舶間の相対速力が大きいので追い越し関係は短時間で解消されるが、速力規制によって通航船舶の速力が狭い範囲に収束すると、船舶間の相対速力は小さくなるので追い越し状態が長く継続することになったり、場合によっては極めて小さな相対速力の船同志が互いに他を囲むように団子状態で並走する状態が現れたりすることが予想される。

Goodwinら⁽⁵⁾は、速力規制をすることによって、これまで出会うことなく通過するはずのものが、自船速力の減少により他船と出会う機会が多くなって、より多くの負荷がかかることにより、その結果、航行安全に逆の効果がでると述べている。すなわち、海上交通の面からみれば早い速力で航行する船舶を無理に規制する必要はないという考え方である。

そこで、ここでは、速力規制に伴う出会い形態の質的变化、量的変化が操船者にどのような負荷をもたらすことになるかを分析することを目的に、環境ストレス値750以上の許容できない負荷が課される状態が出現する頻度と継続時間に着目して、速力規制の功罪検証を試みた。

3. 速力規制の有無と操船困難性

3.1 速力規制実施前後における追い越し状況の変化

5時間のシミュレーション評価対象時間内における追い越し、追い越され、並走の発生状況が12ノット速力規制の実施前と実施後とでどのように違いがあるかを分析した。分析にあたっては、評価対象狭水路を通過する間に環境ストレス値750以上が課された状態を1船ごとに抽出し、その回数と継続時間を分析の基礎データとした。図3は、1隻の船が狭水路を通過し終えるまでの間にその船に課された環境ストレスの時系列データの例を示している。

1船ごとに課された環境ストレス値750以上のデータは、大別すると、短時間で終了する追い越しまたは追い越され状態、長時間持続する追い越しま

図3 狭水路航行中の環境ストレス値

たは追い越され状態、さらには長時間にわたる並走状態に類別できる。これらの類別は、環境ストレス値750以上が出現した継続時間で分類し、今後、5分以内を短時間の追い越しまたは追い越され、5～15分を長時間の追い越しまたは追い越され、15分以上を並走として分類する。

図4は、12ノット速力規制の実施前後における追い越し等（追い越し、追い越され、並走のすべてを含む）の発生状況の相異を5時間のシミュレーション評価対象時間内における総出現回数で量的に比較したものである。また、図5は、12ノット速力規制の実施前後における相異を5時間のシミュレーション評価対象時間内における追い越し等の継続時間の総計で質的に比較したものである。

図4および図5によると、評価対象狭水路において生じる追い越し等の頻度の面からみると、12ノット速力規制実施後は追い越し等の発生頻度の減少傾向は明らかである。一方、評価対象狭水路において生じる追い越し等の総継続時間は12ノット速力規制の実施前後において明確な増減変化の傾向は見られない。この傾向は水路幅が狭い400メートルの場合も広い1,000メートルの場合も同様である。

この図4、図5の結果を総合してみると、速力規制実施前後における追い越し等の質的变化は、1回あたりの追い越し等に要する平均所要時間の相違にみられるかもしれない。このような観点から1回あたり平均追い越し時間のデータを表2に整理した。

表2をみてわかるように、速力規制の実施は、追い越し等の機会を減少させる代わりに、個々の追い越し等の1回あたり所要時間が平均的に長くなるという質的变化をもたらすという特徴を見いだせる。追い越しの出現頻度はばらつきはあるものの速力規制の実施によって大まかにみて15～25%の減少、追い越しに要する平均時間は大まかにみて20%の増加とみることができる。

また、長大水路における交通量の増加は、速力規

図4 速力規制実施前後の追い越しの出現頻度

表2 一様分布で航行する時の速力規制実施前後における平均追い越し時間

水路幅	交通量 (隻/時)	速力規制前			速力規制後		
		出現頻度	継続時間	平均	出現頻度	継続時間	平均
400m	10	23.6	29.1	1.2	18.0	29.0	1.6
	20	92.8	147.8	1.6	74.8	158.8	2.1
	30	222.6	408.2	1.8	182.0	397.1	2.2
1000m	10	20.6	17.8	0.9	18.6	18.0	1.0
	20	70.2	91.2	1.3	63.4	93.2	1.5
	30	169.6	267.9	1.6	149.6	267.7	1.8

制の有無にかかわらず、追い越し等の機会の増加をもたらすと同時に、個々の追い越し等の1回あたり所要時間も平均的に長くなるという特徴も見いだすことができる。具体的には、交通量が時間あたり10隻増えるごとに追い越し発生頻度は約3倍に、そして、追い越しに要する平均時間はばらつきはあるが、時間あたり交通量10隻増加に対して大まかにみて25%増と読み取ることができる。

なお、これらの特徴は水路幅が狭い400メートルの場合にも水路幅の広い1,000メートルの場合にも共通する特徴である。

3.2 速力規制を受ける船と受けない船に課される負荷の相違

図6と図7は、12ノット以上の航行速力を有する船が評価対象水域において速力の上限を12ノットに

図5 速力規制実施前後の追い越しの継続時間

制限される場合、このような速力規制を受ける船にはどのように負荷が課されるか、また、速力規制の対象にならない航行速力12ノット以下の船にとって負荷はどのように異なるのかを、規制実施前後で比較したものである。

横軸には、追い越しの継続時間をとっているが、これらは、先にも述べたように評価対象水域を通過する間に1船ごとに課された環境ストレスの時系列データにおいて、ストレス値750以上のデータをその継続時間によって、5分以内を短時間で終了する追い越しまたは追い越され、5～15分を長時間の追い越しまたは追い越され、15分以上を並走として分類している。

ここでは400メートル狭水路の交通量30隻/時の場合のみを掲載したが、規制実施前に比べて規制実施後においては規制を受ける船も規制を受けない船も短時間追い越しの発生頻度がともに減少するが、規制を受けない船に関する短時間追い越しの機会減少の特徴が顕著である。

一方、長時間追い越しの出現頻度は規制実施前に比べて規制実施後においては規制を受ける船も規制を受けない船も暫増の傾向が見られる。ただし、追い越しの継続時間の面からは規制を受ける船に関する追い越しの長時間化が特徴として上げられる。

なお、これらの傾向はこれ以外の条件における結果にも共通するものであるが、このように交通が輻輳する狭水路では速力規制の実施は長時間にわたる追い越しや追い越されの機会を増加させる形で、規

図6 規制を受ける船に課される負荷
(水路幅400m)

制を受ける船に負荷を課することになるといえる。

短時間に追い越しが完了するか、長時間追い越し状態が継続するか、さらには、長時間並走状態がつづくかは、要は関係する船舶同士の相対速力に依存する。したがって、速力規制は航行船舶の相対速力を小さくするという点からみれば、これまでオリジナル速力で短時間に他船を追い越してきた船に対し追い越し時間の長時間化という形で負荷を課することになるのは当然である。

4. 正規分布で航行する場合の負荷

4.1 速力規制実施後における追い越し等の出現頻度と継続時間、一様分布と正規分布の場合の比較

ここまでの分析では、図1に示したようにゲートラインA、B、C、における船舶の通過位置は一様乱数を用いて決定していた。ここでは、『狭水路における航跡分布は正規分布をなす』という一般的特性⁽⁶⁾に従って、各ゲートライン上での通過位置を正規乱数を用いて決定し、実際に近い航行状態のもとで追い越しに伴う負荷がどのように変化するかを分析した。なお、ここでの分析には速力規制実施後の状況を対象にした。

図8は、12ノット速力規制実施後における追い越し等(追い越し、追い越され、並走のすべてを含む)の発生状況を、一様分布で航行する場合と正規分布で航行する場合とで比較したものである。左列の図は5時間のシミュレーション評価対象時間内における追い越し等の総出現回数、また、右列の図は継続時間の総計で比較したものである。

図の下段に示す水路幅が1,000メートルの場合、正規分布で航行するときは一様分布で航行するときよりも追い越し等の出現頻度も継続時間も明らかに増加し、特に交通が輻輳するとこれらの増加傾向が顕著となる。一方、図の上段に示す水路幅が400メートルの場合、追い越し等の出現頻度も継続時間もそれほど顕著な増加傾向はみられない。

図7 規制を受けない船に課される負荷
(水路幅400m)

図8 速力規制実施前後における追い越し状況
(一様分布と正規分布の場合の比較)

このことは、水路幅が狭いときは一様分布で航行している状態でも船同士の左右距離が近くなる機会が多いので、もともと追い越し状態が生じる機会が多かったことに起因している。一方、水路幅が広い場合は、水路一杯に分散して航行していたものが水路の中央寄りに航行することになるので追い越しの機会が顕著に増加することになる。

4.2 速力規制実施前後における平均追い越し時間

表3は、実際の状態に近い航行状態と考えられる正規分布で航行する場合、速力規制実施前後における追い越し等(追い越し、追い越され、並走のすべてを含む)の1回あたり平均追い越し時間のデータを整理したものである。

速力規制の実施は、正規分布で航行する場合にも一様分布で航行する場合と同様に、追い越し等の発生回数を減少させる一方で、1回あたり追い越し等の平均時間が長くなる傾向がみられる。具体的な追い越しの出現頻度の減少率(大まかにみて15~25%)

表3 正規分布で航行する時の速力規制実施前後における平均追い越し時間

水路幅	交通量 (隻/時)	速力規制前			速力規制後		
		出現頻度	継続時間	平均	出現頻度	継続時間	平均
400m	10	25.8	35.7	1.4	18.4	26.8	1.5
	20	94.2	158.0	1.7	72.8	178.1	2.4
	30	193.8	345.1	1.8	147.4	373.0	2.5
1000m	10	27.8	27.7	1.0	22.6	21.3	0.9
	20	95.6	126.8	1.3	85.6	145.8	1.7
	30	176.6	282.3	1.6	149.6	321.3	2.1

の減少)と追い越しに要する平均時間の増加率(大まかにみて20%の増加)は一様分布の場合とほぼ同様である。

なお、表2との比較からは、一様分布で航行する場合より正規分布で航行する場合の方が1回あたり追い越し等の平均継続時間は約10%弱長くなるようである。

4.3 船型による負荷の相異

速力規制の実施によって船型ごとに課される負荷に違いがあるかどうかを12ノット速力規制実施前後において比較した。船型は小型船、中型船、大型船に分類し、20総トン～1,000総トンを小型船、1,000総トン～10,000総トンを中型船、10,000総トン以上を大型船とした。それぞれの船型別構成割合は、小型船は78.6%、中型船は16.0%、大型船は5.4%である。

図9 速力規制による船型別負荷増減変化(出現頻度)

図9、図10は、30隻/時の交通量が正規分布で航行する条件において、5時間のシミュレーション評価対象時間内の追い越し等(追い越し、追い越され、並走のすべてを含む)の総出現回数と追い越し等の継続時間の総計をとりまとめたものである。図の上段は水路幅400メートル、下段は水路幅1,000メートルの場合である。なお、追い越し状況については5分以内の短時間追い越しと5分以上の長時間追い越しの2種として取りまとめた。

速力規制実施前後を比較すると、いずれの水路幅の条件においても、また、いずれの船型においても速力規制実施前に比べ速力規制実施後は追い越しの出現頻度の面からは短時間追い越しの減少、長時間追い越しの増加が明らかである。また、追い越しの継続時間の面からも短時間追い越しでは水路幅1,000メートルではやや横ばい傾向がみられるものの水路幅400メートルでは継続時間が減少し、長時間追い越しではいずれの水路幅の場合も継続時間が増加する傾向が明らかである。そして、船型ごとに課される負荷の違いに関しては、船型が大きくなるほど長時間追い越しの継続時間が大きくなる傾向が見られる。

5. 結 論

狭水道における航行の困難性の面からみると、追い越しの頻度と追い越し状態の継続時間の長さが操船に困難をもたらす原因となる。速力規制の有無にかかわらず交通輻輳は追い越しの機会の増加と平均追い越し時間の長時間化をもたらすことは表2(一

図10 速力規制による船型別負荷増減変化(継続時間)

様分布の場合)、表3(正規分布の場合)に示した数値結果からも明らかである。一般に交通量が時間あたり10隻増えるごとに追い越し発生頻度は3倍に、そして、追い越しに要する平均時間はばらつきはあるが時間あたり交通量10隻増加に対して大まかにみて25%増しとみることができる。

しかし、航行速力の上限を一律に抑える速力規制は、追い越し機会の減少をもたらす反面追い越し時間に要する時間の長時間化を招くことになる。速力規制は航行船舶の相対速力を小さくする施策であることからすればこれは必然である。

しかし、このような操船者に困難をもたらすように見える速力規制の施策はこれまで国内各所の狭水道において安全対策の手段として導入されてきたが、この速力規制は明らかに追い越し機会の減少効果をねらった施策であったと考えて良い。

確かに2隻の船だけの追い越し関係に着目する限り、追い越し機会が減れば安全は増すとの図式が描ける。つまり2隻の船が十分な間隔をあけて航行できるなら2隻の船の相対速力が小さいほど追い越しの発生機会は限られるので安全なことは明白である。

しかしながら、交通が輻輳する場合はどうか。交通が輻輳すると2隻の船の関係が多数の船との関係となる。船と船の間隔を十分にあげて航行することができなくなると、結局、長時間を要する追い越しや団子状態での長時間航行を余儀なくされ、本来の速力規制のねらいとは逆の面が表面化することになる。

近年、運航実務者から速力規制の効果や意義に疑問が投げかけられるのは、この点を指摘するものであろう。

本研究では、日本において実施されてきた12ノット速力規制が操船者にどのような負荷を課すかを、環境ストレスモデルを導入して客観的に検証した。その結果、交通が輻輳すると、(1)速力規制の実施は、追い越しの機会を減少させる代わりに、1回あたり追い越し所要時間が平均的に長くなるという質的变化をもたらす。(2)追い越しの出現頻度は速力規制の実施によって大まかにみて15~25%減少し、平均追い越し時間は大まかにみて20%増加する。(3)速力規制の実施は、長時間にわたる追い越しの機会を増加させる形で、特に速力規制を受ける船に負荷を課すことになる、ことがわかった。

以上のように、速力規制実施に伴う困難性は長い時間を要する追い越しや並走の増加に現れ、そして、追い越しに機会や追い越しに要する時間の増加は交

通量の増加に比例する。このように速力規制の功罪は交通輻輳の条件に左右されるものであることが明らかになった。

参 考 文 献

- (1) 井上欣三・増田憲治・世良 亘：海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究—I。—環境負荷の概念に基づく操船の困難性評価—, 日本航海学会論文集, 第98号, pp. 225-234(1998)。
- (2) 日本海運集会所：日本船舶明細書, 内航船舶明細書
- (3) 日本海難防止協会・本州四国連絡橋公団：南北備讃瀬戸大橋の緩衝工に関する調査検討報告書, pp.16-31, 平成11年12月。
- (4) 井上欣三・川瀬雅勇己・安田 克・原 大地：海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究—III。—困難性評価とヒューマンファクター—, 日本航海学会論文集, 第100号, pp.191-198(1999)。
- (5) E. M. Goodwin, J. F. Kemp and W. G. P. Lamb. "Speed Control as a Factor in Marine Traffic Management", the Fifth International Symposium on Vessel Traffic Services, April 1984.
- (6) 井上欣三：直線航路における航跡分布のモデル化と航路分離に関する一考察, 日本航海学会論文集, 第56号, pp.103-115(1977)。

質 疑 応 答

稲田健二(海上保安庁)：シミュレーションの前提として、個々の船舶の操縦性能を加味しているのかをご教示下さい。功罪検証をする上においては検討に値するものと思います。

朴 榮守：本研究では、個々の船舶に課される潜在的な困難性を評価しています。潜在環境負荷の大きな値は、他船や障害物を避けるための操船行動の必要性を意味するもので、したがって、このシミュレーションでは避航操船の必要性を示してはいますが、個々の船舶に実際の操船が行われるものではありません。実際の操船を行ったときに課される操縦負荷は別途操縦性能を加味して評価することになります。

鈴木三郎(神戸商船大学)：制限幅のある一方向の船舶流によるストレスモデルより反方向の同可航幅がある場合(備讃瀬戸東航路)は、功罪はどのようなになるでしょうか。

朴 榮守：この場合は、本研究での出会い形態（追い越し、追い越され、並走）に反航船との行き会いの影響が追加される形になりますので、交通環境ストレス値（ESs値）が高くなることが予想されます。このとき速力規制の有無は隣接レーンの行き会い船との相対速力に相違が生じることになります。

福戸淳司（海上技術安全研究所）：航路内において低速船は右側、高速船又は規制上限の速度の船は左

側と言うような規制を加えた場合、環境ストレス値が改善されるかどうか検討されていたら、その結果をお教え下さい。

朴 榮守：この場合も、本研究での条件に速力条件が異なる同航船の影響が追加されるもので、交通環境ストレス値（ESs値）が変化すると考えます。まだ、ご指摘した条件においては検討しておりませんが、本研究での環境ストレス値を用いて検討できる項目であります。