船 の 経 年 変 化

嶋 公 治* ・ 杉 崎 昭 生**

On the Aging Characteristics of Ships

K. Shima and A. M. Sugisaki

Abstract

It is said in general that all ships degrade gradually their facilities as the time passes. The authors tried to obtain the aging characteristics of ships quantitatively as possible as they could. Some of the results are shown as follows after processing the data from engine abstracted log-books of the gigantic tankers with steam turbine engine statistically : -

F.O. consumption (constant speed) increases at the rate of 2~7% a year and F.O. consumption (constant revolution of engine) 2~5%, and ship's speed decreases 0.5~2%, propeller revolution 0.5~1.5, Admiralty number (speed) 2~5.5, and Admiralty number (revolution) 1.5~4%.

1. は じ め に

すべてのものが時間の経過とともに、そのもっている機能が劣化すると一般にいわれているが、船についてあてはめて考えたとき、機能劣化は何をもって表現したらよいか、あるいはどの要素を見たらわかるのかは、あまり明確でない。そこで数は少ないが、比較的データのとりやすい船について、経年変化をよく表現している項目を調べ、経年変化率として求めたものについて以下に報告する。したがって解析の主内容は、経年変化に関連する項目の抽出をそのうちの主要項目についての経年変化を定量的に求めることとなっている。

2. 解析対象船と解析方法

2.1 解析対象船

船舶の要目および運航データのえられることを前提として、日本郵船所属のタンカーを2隻無作意でえらんだ。この2隻をA丸とB丸とすれば、2船の主要目は表1に示すとおりとなる。いずれも現在では中型に属するタンカーであり、大きさに若干の差はあるがほぼ同程度の能力をもつタンカーといえることができるものである。

表1 解析対象船の主要目など

主 要 目 な ど	A 丸	B 丸
総 屯 数	58,550トン	72,640トン
積 載 屯 数	105,155トン	137,238
長 さ (垂線間)	245メートル	260メートル
幅 (型)	39	43.3
深 さ	21.5	22.4
主 機 の 種 類	タービン	タービン
主機出力 (Normal)	21,150馬力	25,300馬力
主機回転 (")	90rpm	82.6rpm
巡 航 速 力	16.7ノット	15.8ノット
竣 工 年 月	昭和40年12月	昭和43年12月

2.2 解析方法

解析はまず経年変化の現われる項目の抽出をし、そのうちの主項目について、数量的に処理を加える方法がとられたが、えられるデータは同一条件でのものでないので、ある状態に変換し、一定の基準のもとで解析が行なえるようにした。以下にこれらの解析方法をより具体的に述べることにする。

2.2.1 使用データとそれらの時間相関

(1) 使用データ

* 日本郵船KK (東京都千代田区丸ノ内)

** 東京商船大学 (東京都江東区越中島2-1-6)

すでに述べたA丸およびB丸について、機関撮要日誌（エンジン・アログ）をデータ源とし、A丸については約6年、B丸については約4年にわたり、航海をしている日数だけのデータを表2に示す項目について収集した。

このアログからのデータ群のほかに、ドックに検査などで入っている日数(時期と期間)、試運転時の成績および造船所作成の線図を解析に使用した。これらのうちで主なものは

航 海 次 数

ドックからドックまでの航海日数

ドックの回数

満 載 排 水 量

満 載 喫 水

常 用 回 転 数

常 用 速 力

常 用 消 費 量

喫 水

船 の 長 さ

船 幅

船 体 係 数

などである。

(2) 時 間 相 関

表2で示された19項目のうち、船令を除く18項目について、時間に関する相関を調べてみると、表3のような相関係数がえられた。この表の対象データはA丸についてのものであり、アログからのデータをそのまま用いた結果である。解析の当初、年数に若干こだわったため、年を単位としての相関係数はかなり変動している結果となったが、就航よりの6年間のものは全体の傾向を示しているものと考えられるので、就航より現在の

表3 調査項目の時間相関係数(A丸)

項 目 \ 年	1	2	3	4	5	就航より 現在まで
船 速	0.31	-0.33	-0.90	-0.77	-0.90	-0.63
プロペラ回転数	-0.92	0.00	-0.95	-0.73	-0.85	-0.73
スリッブ	-0.61	0.47	-0.46	0.48	0.72	0.77
機関室温度	0.86	0.51	0.14	0.31	0.73	-0.34
海水温度	0.64	0.32	-0.37	0.44	0.48	-0.75
主機ハンドル	-0.92	0.11	-0.76	0.47	0.17	0.64
〃 ノズル数	0.01	0.42	0.0	-0.76	0.54	-0.72
〃 高圧蒸気圧	0.0	0.89	0.0	0.0	-0.84	-0.84
〃 コンデンサー圧力	-0.77	-0.80	-0.75	-0.20	-0.12	-0.09
〃 排気温度	0.67	0.58	0.71	0.26	0.64	0.14
〃 高圧蒸気温度	-0.50	-0.01	0.88	0.39	0.11	0.09
ボイラ空気予熱器温度	0.78	0.84	0.83	-0.26	-0.19	-0.10
〃 排ガス温度	0.79	0.89	0.86	0.77	-0.87	-0.04
発電機負荷	0.88	0.43	-0.00	-0.06	0.64	-0.68
〃 排気蒸気圧力	0.26	0.73	-0.52	0.05	-0.47	-0.20
燃料消費量	-0.61	0.54	-0.76	-0.06	0.02	0.77
ボイラ補給水量	0.42	0.32	0.66	0.39	0.26	0.15
風力および風向	0.80	0.79	0.61	0.27	0.57	0.07

表2 経年変化関係要素
(調査項目)

船令(日数)
船速(ログスピード:ノット)
プロペラ回転数(RPM)
スリッブ
機関室温度(℃)
海水温度(℃)
主機操縦ハンドル位置
主機ノズル数
主機高圧蒸気圧(kg/cm ²)
主機コンデンサ真空圧力(mmHg)
主機コンデンサ内排気温度(℃)
主機高圧蒸気温度(℃)
ボイラ空気予熱器出口温度(℃)
ボイラ排ガス温度(℃)
発電機負荷(KVA)
発電機排気蒸気圧力(kg/cm ²)
燃料消費量(kl/h)
ボイラ補給水量(トン/日)
風(風力, 風向)

欄の係数をもって相関を判断した。これはドックからドックまでの期間が1年でないために、データの質が異なるものを同一として解析したために生じた問題である。

表3の相関係数から、経年変化を示す項目として、船速、プロペラ回転数、スリップ、主機操縦ハンドル位置、主機ノズル数、主機高圧蒸気圧、発電機負荷、燃料消費量などがあげられることがわかる。これらのうちで、船の全体的な性能をよく示してくれる船速、プロペラ回転数および燃料消費量について以下定量的解析を止めることとする。なおこれら3項目は船に対するエネルギーの入力と出力およびその結果を表現している点からも興味深いものである。

2.2.2 データの標準化

船の運航状態は時間および場所によって変動しており、同一の状態であることはきわめて少ないと考えられる。そこで定量的に解析をするには運航状態の基準を定め、変動を除去して基準の運航状態に換算して行なうことが必須である。このためには

- (i) 環境（波浪、風などが主影響項となる）
- (ii) 船体（排水量などが影響項となる）
- (iii) 動力（馬力/負荷などが主影響項となる）

の三つの項目について考慮すべきである。これらの項目について影響事項を調べてみると、①風、②波浪、③潮流、④水深、⑤温度、⑥喫水、⑦トリム、⑧操船状態、⑨船体・プロペラの変形および⑩主機関の状態などがあげられるが、このうち②、③、⑧および⑨についてはデータがえられなかったので考慮しなかった。

①については風力段階ごとに結果を求めることで、④については浅水影響がでるおそれのある海域の通過時のデータを除外することで処理した。⑤については、船体抵抗の増減とコンデンサに対する影響[1]の二つにわけ、それぞれを修正して、一定状態のものに換算した。⑥についてはすべて満載排水量に修正をしたが、これは船の馬力は排水量の2/3乗に比例することを利用した。⑦についてはほとんど差がみとめられないので修正を行わず、⑩については常用負荷および常用速力を基準にとり、二つの修正を行なった。

つぎにデータの示す燃料消費量を常用の消費量としたときの船の速力およびプロペラ回転数は

$$F.LOG = (\nabla_D / \nabla_F)^{2/9} \cdot (FO_0 / FO_D) \cdot V_D \quad \dots\dots(1)$$

$$F.RPM = (\nabla_D / \nabla_F)^{2/9} \cdot (FO_0 / FO_D) \cdot RPM_D \quad \dots\dots(2)$$

で示され、データの示す船速または回転数を常用速力または常用回転数としたときの燃料消費量は

$$F.FO.L = (\nabla_F / \nabla_D)^{2/3} \cdot (V_0 / V_D)^3 \cdot FO_D \quad \dots\dots(3)$$

$$F.FO.R = (\nabla_F / \nabla_D)^{2/3} \cdot (RPM_0 / RPM_D)^3 \cdot FO_D \quad \dots\dots(4)$$

で示されるので、これらの式を用いて換算を行なった。なおここでは

$F.LOG$: 常用燃料消費量時の速力

$F.RPM$: 常用燃料消費量時の回転数

$F.FO.L$: 常用速力時の燃料消費量

$F.FO.R$: 常用回転数時の燃料消費量

∇ : 排水量

V : 速力

RPM : (プロペラ) 回転数

FO : 燃料消費量

を表わし、添字D、FおよびOはそれぞれデータで与えられたもの、満載のときのものおよび常用のものを示すためのものである。

またアドミラルティ係数についても修正をしたが、係数それ自体は

$$ADM.L = \nabla^{2/3} \cdot V^3 / FO \quad \dots\dots(5)$$

$$ADM.R = \nabla^{2/3} \cdot RPM^3 / FO \quad \dots\dots(6)$$

によって求めた。なおADM.LおよびADM.Rはそれぞれ船の速力および回転数より求めたアドミラルティ係数を表わしている。

2.2.3 時間相関

標準化されたデータを用い、船令と燃料消費量、プロペラ回転数および船の速力、さらにアドミラルティ係数との相関を一般に用いられる式を利用して、相関係数の形で求め、さらにそれぞれの値の変化率を求め、直線回帰式を求めるようにした。一つの時間のとり方は、年(365日)というものと、別のとり方はドックとドックとの間を一つの単位とするものがある。とくに標準化の段階で、船底のファウリングについては考慮しなかった(よごれの程度を知ることがむずかしいことから)ので、ドックからドックまでを一つの単位として考えることが合理的といえる。

3. 解析結果

上述の解析方法により、積荷状態のみのデータを用い、A丸およびB丸について、IBM360-40およびFACOM 270-20により、解析しつぎのような結果をえた。

3.1 燃料消費量の変化

時間の1単位をドックからドック(dock to dock と以後いう)としたときのみについて解析した結果、 $F.FO.L$ および $F.FO.R$ で燃料消費量と時間との関係は図1および図2、図3および図4により示されるようなものとなった。図1および3はA丸のもので、図2および4はB丸についてのものである。図1から図4で、全体傾向が実直線で示されているのに対し、dock to dock の傾向は点直線で示されている。なお縦線の位置はドックに入ったときの日数を示している。

図1 一定速力における燃料消費量の変化 (A丸)

図2 一定速力における燃料消費量の変化 (B丸)

図3 一定回転数における燃料消費量の変化 (A丸)

図4 一定回転数における燃料消費量の変化 (B丸)

図5 一定燃料消費量における船速の変化 (A丸)

図6 一定燃料消費量における船速の変化 (B丸)

図7 一定燃料消費量におけるプロペラ回転数の変化 (A丸)

図8 一定燃料消費量におけるプロペラ回転数の変化 (B丸)

図1および3では、5回目および6回目の dock to dock の傾向が全体傾向と反対傾向であるのは、4年後のドックで機関の大改裝を行なったことおよびその後のドックでその修正をしていることによるものである。なお図示されているデータはほぼ5週間に1個の割でえられたものであり、全体ではない。

3.2 船の速力変化

F.LOG における速力と時間の関係は図5および6に示されたとおりとなる。図5はA丸のであり、図6はB丸のものとなっているが、図1および2と同質の傾向がうかがえる。

3.3 プロペラ回転数の変化

F.RPM におけるプロペラ回転数と時間との関係は図7(A丸)および図8(B丸)に示されたとおりである。図3および4とは同質の傾向が見られるが、図5および6とは若干内容を異にしている傾向がある。この差は結果すべてについていえることであるが、速力そのものに問題があるためと見られる。すなわち速力のデータがかなりあいまいな数値を含んでいるために生じたと考えられることを示している。

3.4 アドミラルティ係数の変化

A, B丸について, ADM.L および ADM.R の時間に対する変動の傾向を図9および10(ADM.L) および11, 12(ADM.R) に示している。図9および11がA丸についてのものであり、残りがB丸についてのものである。図9, 10は図1, 2と、図11, 12は図3, 4と同質の傾向を示しているが、図9, 10と図11, 12とを比較すると、dock to dock のデータの変化の傾向が大きいことが目立っている。

3.5 各項目の変化量と相関係数

すでに図示された結果をデジタル的に見たものと、そのときの相関係数を示したものが表4 AおよびBと表5 AおよびBである。表4 Aおよび表5 AがA丸についてのものであり、残りののはB丸についてのものである。また

図9 船速より求めたアドミラルティ係数の変化 (A丸)

図10 船速より求めたアドミラルティ係数の変化 (B丸)

図 11 回転数より求めたアドミラルティ係数 (A丸)

図 12 回転数より求めたアドミラルティ係数 (B丸)

表 4 A 各 項 目 の 変 化 量 (A)

年	項 目	燃料消費量 ton/h		船 速 knot	プロペラ 回 転 数 rpm	アドミラルティ係数	
		船 速 より 求めたもの	回転数より 求めたもの			船速より求め たもの $\times 10^6$	回転数より求め たもの $\times 10^8$
1		-0.02	0.53	0.05	-3.38	0.026	-0.409
2		-0.25	0.27	0.05	-1.66	0.032	-0.196
3		-0.53	0.32	0.38	-1.88	0.134	-0.217
4		0.64	0.40	-0.62	-2.11	-0.248	-0.234
5		0.65	0.35	-0.64	-1.98	-0.258	-0.227
6		0.80	0.42	-0.80	-2.49	-0.320	-0.289
4 年 分 集 計	dock to dock 平均値	0.64	0.38	-0.62	-2.26	-0.248	-0.264
	dock to dock 平均%	14.8%	8.78%	-3.73%	-2.59%	-10.0%	-7.35%
	全 経 年 値 %	0.290	0.215	-0.304	-1.27	-0.125	-0.147
	全 経 年 値 %	6.7%	4.97%	-1.83%	-1.46%	-5.53%	-4.08%
6 年 分 集 計	dock to dock 平均値	0.70	0.38	-0.70	-2.25	-0.272	-0.262
	dock to dock 平均%	16.2%	8.8%	-4.4%	-2.6%	-12.0%	-7.3%
	全 経 年 値 %	0.18	0.08	-0.19	-0.47	-0.80	-0.06
	全 経 年 値 %	4.2%	1.9%	-1.1%	-0.54%	-3.46%	-1.53%

表4B 各項目の変化量(B)

年	項目	燃料消費量 ton/h		船速 knot	プロペラ 回転数 rpm	アドミラルティ係数	
		船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの			船速より求め たもの×10 ⁶	回転数より求め たもの×10 ⁸
1		0.219	0.304	- 0.243	- 1.41	- 0.108	- 0.155
2		1.55	0.679	- 1.45	- 2.98	- 0.595	- 0.317
3		0.123	0.412	- 0.107	- 1.77	- 0.042	- 0.185
4		- 0.144	- 0.051	1.40	0.267	0.584	0.0305
	dock to dock 平均値	0.63	0.465	- 0.60	- 2.05	- 0.248	- 0.219
	dock to dock 平均%	13.1%	9.7%	3.81%	- 2.48%	-10.5%	- 7.6%
	全経年値	0.099	0.102	- 0.104	- 0.456	- 0.0453	- 0.049
	全経年%	2.06%	2.13%	- 0.662%	- 0.553%	- 1.93%	1.70%

表5A 各項目の時間相関係数(A)

年 dock to dock	項目	燃料消費量		船速	プロペラ 回転数	アドミラルティ係数	
		船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの			船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの
1		- 0.012	0.889	0.030	- 0.889	0.037	- 0.889
2		- 0.230	0.603	0.007	- 0.608	- 0.132	- 0.610
3		- 0.661	0.732	0.516	- 0.736	0.457	- 0.737
4		0.672	0.775	- 0.656	- 0.779	- 0.649	- 0.780
5		0.815	0.785	- 0.854	- 0.789	- 0.869	- 0.792
6		0.659	0.800	- 0.691	- 0.807	- 0.704	- 0.810
4年分	全経年	0.991	0.996	- 0.994	- 0.998	- 0.994	- 0.998
6年分	全経年	0.929	0.665	- 0.929	- 0.676	- 0.927	- 0.681

表5B 各項目の時間相関係数(B)

年	項目	燃料消費量		船速	プロペラ 回転数	アドミラルティ係数	
		船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの			船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの
1		0.398	0.828	- 0.397	- 0.831	- 0.396	- 0.833
2		0.829	0.916	- 0.818	- 0.915	- 0.812	- 0.914
3		0.275	0.739	- 0.250	- 0.750	- 0.237	- 0.755
4		- 0.979	- 0.013	0.976	0.158	0.974	0.171
全経年		0.537	0.854	- 0.574	- 0.860	- 0.591	- 0.864

表4は変化量そのものであり、表5は相関係数を表わしている。なお全経年は就航時よりのデータ全体のもので、4年分全経年とは就航時より4年間のデータ全体のことを表わしている。A丸については機関の大改装が行なわれる以前と全体を見るために4年分と6年分とを求めている。

なお各項目のデータの拡がりを示すために各項目の標準偏差を表にまとめている。

3.5 風による差

各項目について、風向、風力を風向影響係数〔2〕を用いて処理し、一本化したデータを用いるべきであったが、データの質が悪く思うとおりとならなかったため、風力段階を

$$> -6, -6 > > 4, -4 > > -2, -2 > > 0, 0 < < 2, 2 < < 4, 4 <$$

の7段階にわけ、各階級ごとに変化量を調べてみた。なお風力に負号がついているのは追風を示す。この結果は思わしくなかったため、バラツキの多い風力4以上のデータをおとし、

$$-4 < < -1, -1 < < 1, 1 < < 4$$

表6 各項目の標準偏差

	項目 dock to dock	燃料消費量		船速	プロペラ 回転数	アドミラルティ係数	
		船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの			船速より 求めたもの	回転数より 求めたもの
A 丸	1	0.269	0.121	0.319	0.768	0.139×10^6	0.0928×10^8
	2	0.291	0.120	0.187	0.727	0.0646	0.0858
	3	0.233	0.128	0.216	0.741	0.0852	0.0853
	4	0.237	0.128	0.237	0.676	0.0953	0.0744
	5	0.221	0.122	0.205	0.693	0.0795	0.0792
	6	0.339	0.147	0.323	0.861	0.127	0.0997
	6年分全経年	0.328	0.197	0.343	1.160	0.141	0.135
B 丸	1	0.155	0.104	0.173	0.479	0.0774×10^6	0.0523×10^8
	2	0.490	0.194	0.463	0.854	0.191	0.0910
	3	0.123	0.154	0.118	0.647	0.0488	0.0674
	4	0.140	0.037	0.136	0.161	0.0568	0.0169
	4年分全経年	0.187	0.121	0.184	0.538	0.0778	0.0574

表7 経年変化

(年当りパーセント)

項目	全経年変化		dock to dock の変化	
	A 丸	B 丸	A 丸	B 丸
燃料消費量 (一定船速における)	4.0~7.0	2.0	15~16	13
燃料消費量 (一定回転数における)	2.0~5.0	2.0	9.0	9.5
船の速力	-1.0~-2.0	-0.5	-3.5~-4.5	-4.0
プロペラ回転数	-0.5~-1.5	-0.5	-2.5	-2.5
アドミラルティ係数 (船速より)	-3.5~-5.5	-2.0	-10~-12	-11
アドミラルティ係数 (回転数より)	-1.5~-4.0	-1.5	-7.5	-7.5

図13 燃料消費量の風力による差 (船速一定)

の3段階で行なったところ、まずまずの結果がえられた。その結果の1例は図13に示されている。しかしこれは経年変化を見るべきものではなく、データの標準化に役立つものでしかないと考えられるものである。

4. 考察と結論

今回の解析結果からつぎのようなことが判明した。

4.1 考察

(1) 結果は一応経年変化らしいものがえられたが、データに若干問題があるので、どのように扱うことがよいのかははっきりしない点がある。たとえば負荷が増えれば人為的に機関のハンドルの絞るが、時間が短かければデータに表われてこない。

(2) 経年変化をみる場合、船速よりも回転数による方がバラツキが少なくなっているの、今後回転数によって詳しい処理が望まれる。これは船速と回転数のデータの精度によるもので、ある程度当然と思われる。

(3) 機関の改裝が行なわれたとき（たとえばA丸の4年目）、変異点が表われるが、この変化度合は回転数に顕著に表われてくる。

(4) 燃料消費量およびアドミラルティ係数の変化を、船速およびプロペラ回転数の両方を用いて求めたが、結果はかなり差がでてきている。スリップが同じであれば、差がないはずであるが、差のあることはスリップの変化（ここでは増加）と見るべきであろう。

(5) A丸とB丸の結果を比較してみると、定性的には同じであるが、定量的にはまだ一つの値にしばれる段階の結果とはなっていない。これには大きさや型などの問題も解決しなければならないと考える。

(6) アドミラルティ係数によるものが経年変化の目安としてはよいと考えられる。しかし直感性に乏しいので、変換係数などを求めておき、燃料消費量などに変換する方法がよいだろう。

(7) 今回の解析では、回帰式を一応直線と見なして処理したが、曲線回帰式をも考慮した方がよいと考えられる。それは dock to dock 間の変化からある程度類推できるし、一般にいて経年変化は曲線的傾向をもっていることからいえることだろう。

4.2 結論

考察のところで述べたことを前提として、今回解析したことを数量的にまとめてみると表7のようになる。dock to dock のものは、船底のファウリング+経年変化と見られるが、ほとんどはファウリングによるものである。

5. おわりに

この研究は、船を一つのまとまったものとしてのみ扱ってきたので、細かい解析はなされていない。この一つの理由としては、データ源をアブストラクト・ログによったこともあげられる。この種の解析には正確なデータがあってはじめてよい結果が生まれるので、要すれば、この経年変化用の計測器を設備した船が生まれないと問題は解決できないと思われる。つぎの段階としてはそこまではむずかしいが、ログブックからのデータを利用して、より定量的な解析をしたいと考えている。この方面のデータがあまりないということで、まとめて見たが、ご批判をあおぎたい。

最後にデータ収集などで便宜を計ってくれた日本郵船KKに謝意を表します。

参考文献

- [1] 堀田秀夫：冷却水入口温度の復水器真空に及ぼす影響について 日本機関学会誌 第4巻第1号 昭和44年2月
- [2] 大串雅信：理論船舶工学下巻 p. 216 海文堂

〔質問〕

たとえばプロペラ回転数の変化は1500日経過からは、カーブが上昇していると思われるが、これを一様に減少する直線で近似するのは無理があるのではないのでしょうか。

もしデータがここで異なった条件を含んでいるならば異なった取扱いをすべきではないのでしょうか。

他のグラフについても同様のことがいえると思います。

（飯島 幸人）

〔解答〕

本来なら曲線回帰式を求めてみることもすればよいのであるが、4年後に機関の大改装をし、続いてつぎのドックで改装の調整をしていることがわかったので、一括して求めたものと、4年間のものとを求めている。しかし、機関の大改装をしてもある程度全体としては4年間のものと同じ傾向を示すので、傾向については図表の示すとおりで問題はないと考えています。ただ6年間のデータを使って求めた数値は若干変動することは予測されますが、その点に関しては2船で求めた数値を扱うことと同じレベルの問題であると考えていましたので、6年間のデータも内容に盛込んでおります。