

船上の雨量観測について*

原 見 敬 二**

要 旨

通常の雨量計は風が強いほど雨滴の捕捉率が小さくなる。特に船上では船体を越える気流の乱れを受けて更に捕捉率が小さくなり、甲板が濡れても雨量は零という場合も珍らしくない。

この欠点を防ぐため受水部にフラスコを倒立させたフラスコ型雨量計を作製した。地上実験を行なった上、1970年7月梅雨末期集中豪雨特別観測に参加した舞鶴海洋気象台所属観測船清風丸(355t)に設置して九州西方海上で通常の雨量計との比較観測を行なった。

もっとも、このフラスコ型雨量計で捕えられるものは定義された雨量ではなく厳密には雨のフラックスとでも云うべきであろう。しかし通常の雨量計が地面上いくらかの高さに設置されていることを考えれば、フラスコ型雨量計には若干の問題点はあるものの実状に即した船用測器と云えよう。

1. はじめに

雨量測定は風速が大きく、雨滴が小さいほど大きくなるジュボン効果と地物の影響に左右されるわけだから船上でも風速が大きいほど正確な雨量は求められないことになる。

従って船上に於ては通常の雨量計では雨滴の捕捉率が小さくなる。これを防ぐため風よけを付けたりするが、今回はフラスコを利用した雨量計を作製し、清風丸に設置して観測の結果、他の型の雨量計よりも大きな捕捉率を得ることが出来た。以下はその観測と調査である。

2. 予備実験

手持ちの5種類の雨量計について陸上実験を行なった。用いた雨量計の種類は後で述べるが、口径20cmと14cmの2通りがある。

さて、面積sなる受水口からはいる雨滴数nは次式で表わされる。

$$n = \frac{smt}{\frac{4}{3}\pi r^3} \dots\dots\dots(1)$$

ここで r : 雨滴の半径

m : 単位時間内の降水量

t : 降水時間

ところでnは無秩序の法則にしたがうとみてよく、ポアソン分布にもしたがいが、その標準偏差は \sqrt{n} で表わさ

れるので誤差の割合は受水口の半径をaとすると

$$\frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{r}{a} \sqrt{\frac{r}{mt}} \dots\dots\dots(2)$$

いま雨滴の半径を0.1cm、降水量を10mmとすれば(2)式から

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \doteq 0.036 a \dots\dots\dots(3)$$

となる。(3)式から

$$\left. \begin{aligned} a = 10\text{cm} \text{ で } \frac{1}{\sqrt{n}} &= 0.0036 \\ a = 7\text{cm} \text{ で } \frac{1}{\sqrt{n}} &= 0.0058 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

(4)式から、雨滴の無秩序分布による変動は両者の間で0.2%の差しかなく、雨量計の口径の差異は無視できる。

ここで1970年6月に舞鶴海洋気象台海洋課の前の空地で得た雨量観測値のうち平均風速が1m/sec以下であった場合のみを第1表に示す。

第1表 各種雨量計による雨量の比較

日	型	フラスコ	指 示	自 記	ロボット	旧 算
6月20		0.4	0.5	0.4	0.4	0.5
22		1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
21		1.9	2.0	1.9	1.7	1.8
18		20.5	20.8	20.0	21.1	21.0
19		27.0	27.0	27.5	27.3	26.2
平均		10.2	10.3	10.2	10.3	10.1

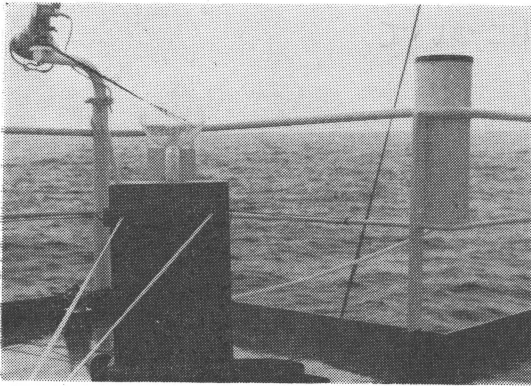
注) 日界は9~9時、単位はmm

* On the Rain Pluviometry of the Ships.

** K. Harami 舞鶴海洋気象台

—1971年1月7日受理, 改稿受理1971年7月26日—

第1表の雨量計について簡単な説明を加える。



第1図 清風丸のアップーブリッジに設置されたフラスコ型雨量計(左)と貯水型指示雨量計(右)

フラスコ型：第1図(船上の場合であるが)に示すように市販の容積3 lのフラスコを倒立させ、その下の木箱内に受水用のバケツをおいた簡単なものである。フラスコ外側の直径は20cmで、これに付着した雨滴は口管を伝わり貯水される仕掛である。上記はかつて岩手山で観測した球形雨量計(佐藤, 橋本, 1953)に準じたものである。

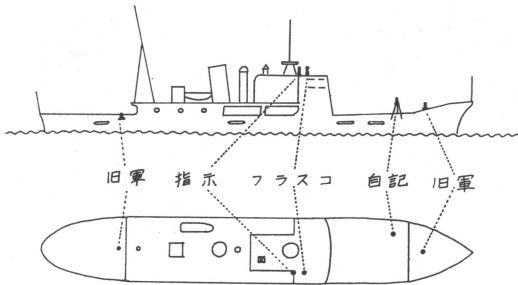
指示：貯水型指示雨量計のこと。口径20cmで気象庁型でもある。清風丸で常用。

自記：サイフォン式貯水型自記雨量計の略。口径20cmカバー付。

ロボット：無線ロボット雨量計受水部で佐貫型風よけ付。口径14cm。

旧軍：小型の貯水型指示雨量計。口径14cm旧軍用

第1表でわかるように口径や形状が異っても、地上からの高さがまちまちでもジュボンス効果は小さい方である。また心配したフラスコに対する雨滴のはねかえりも小さいとみてよいだろう。



第2図 清風丸の雨量計配置図

3. 船上観測

船上での雨量の捕捉率は何処が大きいかを知るため予備実験ずみの雨量計(ロボット型を除く)を第2図のとおり清風丸に設置し、しぶきのとび込みが全くない場合について調査した。

1970年7月、鹿児島県南西海上で停船して観測した結果、4例を得た。この雨量の合計値の捕捉量の多い方からの順位を第2表に示す。

第2表 船上の雨量と捕捉順位

雨量計	フラスコ	指示	自記	旧軍(首)	旧軍(後)
雨量	9.5	5.5	5.0	5.7	6.2
順位	1	4	5	3	2

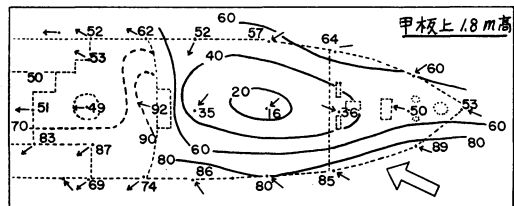
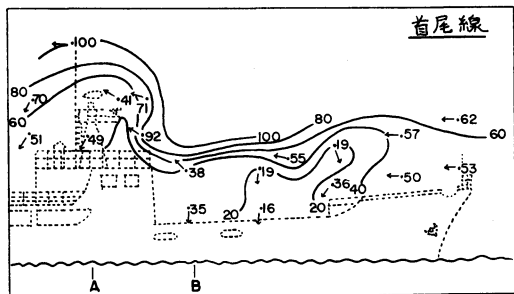
注(首)は船首、(後)は後甲板、単位mm

第2表によれば降雨量は全般に少ないがフラスコ型を除き後甲板に設置した旧軍型の捕捉量をもっとも多い。これは後甲板の雨量計の周囲には掃除道具入箱を始め種々の突起物があり風よけとなるからであろう。これに反して自記雨量計の捕捉量をもっとも少ない。これは受水器がブルワークより背の高い雨量計カバー上部に組こまれているから前甲板を吹きこえる右舷やや前方からの風により雨滴が横に流されるからであろう。第3図は向い風と横風を受けたときに生ずる船上の気流の乱れの例であり、それぞれの雨量計が受ける風の影響もまちまちであることを示している。

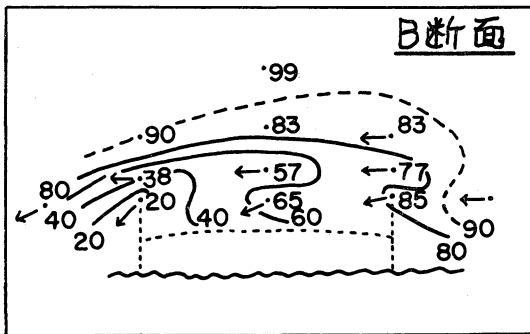
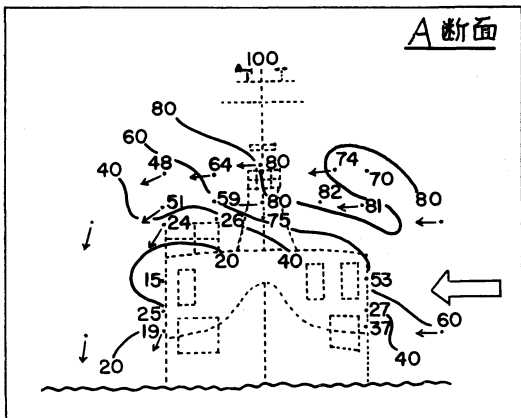
清風丸で得られた雨量資料のうち、フラスコ型雨量計と貯水型指示雨量計による値と、降雨期間中の平均風速を第3表に示す。

第3表 船上におけるフラスコ型と貯水型指示の雨量計による観測資料

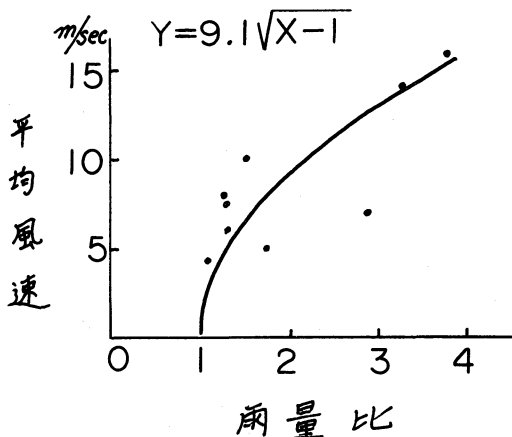
日	海 域	フラスコ型	貯水型	比 率	平 均 風 速
		mm	mm		
7月7	鹿児島県南西沖	3.25	2.65	1.23	8
8	〃	2.40	1.60	1.50	10
9	〃	2.86	0.88	3.29	14
10	〃	1.00	0.35	2.86	7
11	九州西方海上	4.84	1.29	3.75	16
12	長崎港	38.2	22.2	1.73	5
13	〃	5.2	4.1	1.27	7.5
15	対馬海峡	54.5	52.0	1.05	4
16	山陰沖西部	15.0	11.6	1.29	6



第3図 (a) 船上の風速比分布(NW 4.5m/sec時) マストの光進ベーンの間風速100をとしてあらわした。〔船首よりの風〕



第3図 (b) 船上の風速比断面, (a)図のA Bの断面をとる。(N 8.2m/sec時) 〔横風〕



第4図 船上での平均風速と雨量比との関係

第3表で得た雨量比(フラスコ型/指示)を横軸にとり, 平均風速を縦軸にして第4図を得た。第4図によれば風速が増大するほど雨量比が大きくなっており, フラスコ型による雨滴の捕捉量が大きいことを示している。この実験式として次式を得る。

$$Y = 9.1\sqrt{X-1} \dots\dots\dots(5)$$

ここで X:雨量比(フラスコ型/指示)

Y:風速(m/sec)

なお, これは資料が少ないが, 次節で述べる陸上で測定した実測値を補充しても同様な放物線が得られることを付記しておく。

さて, 清風丸が隠岐海峡中央部で1969年4月25日から26日にかけて停船中に地雨を観測している。この雨の区域はかなり広く, 山陰沖一帯をおおっていた。雨は一様に降るものと仮定し, 隠岐島の西郷・山陰沿岸の松江・境・米子・鳥取・香住の雨量により等雨量線を書いて清風丸位置での推定雨量を求め清風丸での実測雨量(アッパーブリッジ上の指示雨量計による)と比較してみた。実測雨量をx, 推定雨量をyとすれば

$$y = 2.7x \dots\dots\dots(6)$$

と思ったより良い関係を得ることが出来た。(舞鶴海洋気象台・海上気象概報 No. 181, 1969) この時は北東風であり, 風速の変動も小さく平均風速は7.5m/secであった。従って, 指示雨量計の捕捉率は陸上の雨量を1とした場合は3割7分となる。

今回の船上での実験式(5)から同じ風速7.5m/secのときの雨量比は1.7となる。フラスコ型雨量計による雨量をFとすれば

$$F = 1.7x \dots\dots\dots(7)$$

(6)式と(7)式から

$$y = 1.6F \dots\dots\dots(8)$$

すなわち、フラスコ型雨量計を用いる場合、風速 7.5 m/sec のときには陸上の 6 割 2 分の降水量を得ることになる。

4. 追加調査

船上の観測資料を補うため、舞鶴海洋気象台の測風塔上にフラスコ型と貯水型指示の雨量計を設置し、1970年7月下旬から10月中旬までの雨量資料を得第4表に示し

第4表 陸上での雨量資料

月 日	フラスコ	指示	比率	風向・風速	
	mm	mm			m/s
7. 31	0.8	0.6	1.33	SE	4.8
8. 6	22.4	20.7	1.08	W	3.0
8. 7	8.2	7.4	11.1	N	2.3
8. 14	20.8	19.8	10.5	SW	1.3
8. 14	5.8	5.4	10.7	SE	0.9
8. 14	26.6	25.1	10.6	S	1.0
8. 15	9.3	4.2	2.21	S	10.0
8. 15	1.4	1.4	1.00	—	0.3
8. 15	10.7	5.6	1.91	S	9.0
8. 16	2.0	1.9	1.05	E	2.3
8. 21	1.4	0.9	1.56	ESE	7.4
8. 30	6.2	6.3	0.98	SW	0.7
9. 3	2.7	2.6	1.04	N	3.0
9. 10	6.4	4.0	1.60	N	5.8
9. 12	12.4	10.4	1.19	NW	7.0
9. 13	8.2	8.3	0.99	—	0.2
9. 14	14.5	7.9	1.84	W	8.3
9. 15	5.0	5.0	1.00	E	0.7
9. 17	10.4	8.2	1.27	NW	7.2
9. 18	23.0	21.0	1.10	E	1.5
9. 22	45.1	41.5	1.09	E	1.0
9. 23	26.7	27.3	0.98	WNW	0.9
9. 25	11.4	9.3	1.23	E	4.0
9. 26	0.9	0.9	1.00	N	3.0
9. 28	2.0	1.7	1.18	SW	1.5
9. 29	16.5	16.1	1.02	S	1.5
10. 4	8.2	7.8	1.05	SE	1.0
10. 5	0.8	0.6	1.33	SE	4.5
10. 10	8.9	9.0	0.99	—	0.3
10. 12	29.9	27.6	1.08	W→N	2.7
10. 13	6.5	4.5	1.44	N→E	5.9
10. 16	16.2	16.1	1.01	W→SE	0.6

た。この表には測風台の影響を知るため風向も記録しておいた。

この測風塔基部は海拔29mの文庫山山頂にある露場と同じ高さであり、露場には降雨計と貯水型指示雨量計があり、いずれも口径は20cmである。露場より9.4mの高さの測風塔上には先に述べたフラスコ型雨量計と貯水型指示雨量計を特設してあるわけで、以上4つの降水量を風向別に比較してみた。雨量は風向別に集計しその平均値を用いた。フラスコ型雨量計によるものを100とした指数をとり第5表に示した。

第5表 陸上での雨量比較

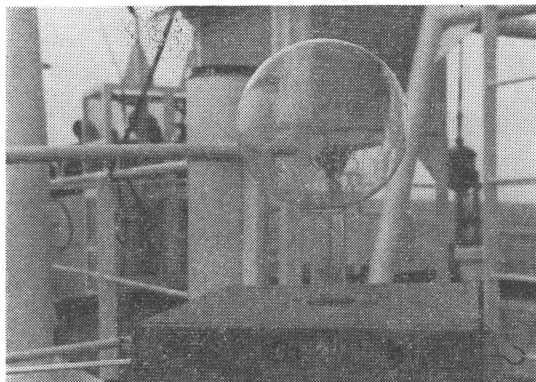
風向	雨量計		測風塔		露場	
	位置	回数	フラスコ	指示	降雨計	指示
N	3.3	4	100	80	78	93
E	1.9	4	100	91	99	99
S	3.8	3	100	87	93	98
W	5.7	2	100	77	107	110

注) 風速は風向別平均値

第5表によれば西風の場合以外はフラスコ型雨量計による雨量多く、測風塔上の貯水型指示雨量計によるものは常に少ない。西風の場合、測風塔上の雨量が両方とも少ないのは両雨量計の西側に測風塔があり、その陰にはいるからであろう。北風の場合についてみると、降雨計の雨量は少なく測風塔上の貯水型指示雨量計によるものとはほぼ同値である。これは次の理由によると考えられる。

普通の雨滴は直径が1~2mmでその落下速度は5 m/sec とみられる。いま測風塔の高さをh、降雨計までの距離をdとすると、h=dの場合、北風5 m/secで雨の地面に対する角度は45度となり雨量に影響を与えることになる。降雨計は測風塔の南方16mの露場に設置されており、測風塔上には高さ3.7mの隙間のある測風台があるのでhである測風塔の高さを10mとみなせるであろう。すなわち、h=10m、d=16mである。これらの比例関係から8 m/sec以上の北風で降雨計による雨量は影響を受けるようになる。実際、この降雨計より6 m西方に設置されている貯水型指示雨量計によるものはそう少ないことはない。

南風の場合も降雨計によるものは少な目であるが、これは文庫山の南斜面の影響による上昇気流が東および西の斜面よりも大きいことを示すらしく周辺地形とあって



第5図 船上でのフラスコ型雨量計の受水状況

いる。

なお、この追加調査は大型船に雨量計を設置する場合、種々の構造物の影響をとり除く際の参考にもなると考えられる。

5. フラスコ型雨量計の捕捉率

円筒型である貯水型指示雨量計に風のため斜めに雨滴が落下する場合を考えると、その受水口をベースとする雨のフラックスの断面は楕円となる。しかも雨滴の傾斜角がどのように変動しようとも長軸は変わらず短軸のみ変動する。このように、見掛け上は円筒型雨量計の受水口をベースとする雨のフラックスの断面積は風がある場合には減少する。ところでフラスコ型雨量計の受水状況は第5図(船上観測)のとおりで、口管と木箱上部の穴で受水する雨滴を無視すればフラスコ型雨量計が受ける雨のフラックスの断面積は風の有無にかかわらず一定である。このため円筒型雨量計では、風によって雨滴の捕捉量が減少し、フラスコ型雨量計では不変のような錯覚を抱かせるが、風速の影響を考慮すると、単位時間にフラックスの断面を通過する雨滴の数が増加するため、通常の雨量計では捕捉量は不変であり、フラスコ型雨量計では増加するのである。また当然ながら無風時の捕捉量はフラスコ型でも円筒型雨量計でも同じである。

要するにフラスコ型雨量計は風速に比例して円筒型雨量計の半径/短軸の径の比で雨量をより多く捕捉していることになる。

6. おわりに

フラスコ型雨量計は理論的には風が強いほど雨滴の捕捉率は大きくなり、実際には(5)式の実験式を得ている。このフラスコ型雨量計を船上や測風塔のような風当りの強いところで用いた場合、通常の雨量計よりも当然多くはいることになるが、これを低所の雨量計と比較すると(第5表)ほぼ同量を示している。このことからフラスコ型雨量計は雨のフラックスを受けているとは云えある程度実用性が認められる。また、フラスコ型雨量計を用いることにより陸上の雨量計と比較した(8)式のように船上で6割2分の雨量を得ることになる。このことは一面現用の雨量計はジュボンス効果を大きく受けていることを示すものであろう。なお、この雨量計は一種の指示雨量計であるため改稿時現在ではフラスコを取りつけた木箱をステンレス製・砲弾型に変え、内部には電磁弁を応用した0.5ミリづつ電接・排水する自記器が完成している。近く清風丸のマストなどに取り付け強雨の観測をしたいものと思っている。

フラスコ型雨量計(指示)については秋田地方気象台の橋本公司主任技術専門官より貴重な資料の提供を受け、製作には舞鶴海洋気象台の川崎力技官、船上据付については今儀憲章技官のご援助を受けた。また、この報文作製については気象庁予報部電子計算室の関口理郎補佐官始め、舞鶴海洋気象台川鍋安次海上気象課長・和田徳弘予報官に御教示を受けた。ここに御礼申し上げますとともに観測に協力して頂いた清風丸中村実船長以下の乗組員・海上気象課の方々に感謝致します。

参考文献

- 舞鶴海洋気象台, 1969: 昭和44年度海上予報特別観測について, 海上気象概報 No. 181, 33-34
- 佐藤義正・橋本公司, 1953: 球形雨量計の試み, 福島地区気象研究会誌。