

日本海海面からの蒸発量について*

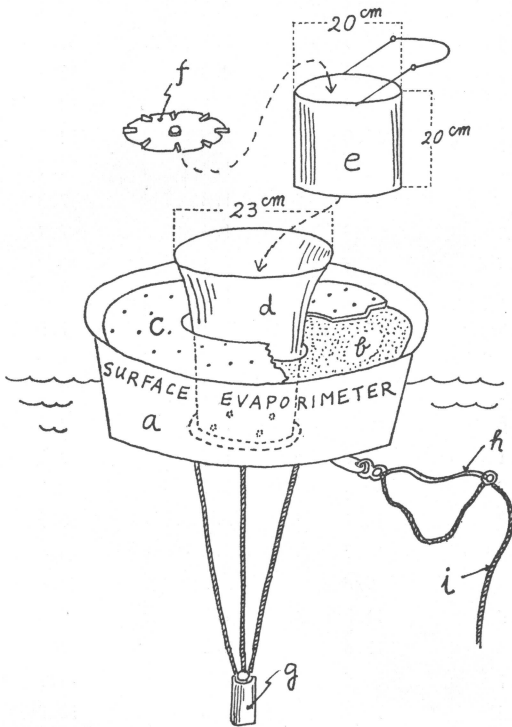
原 見 敬 二**

要 旨

口径20cmの海面蒸発計を作製し、清風丸（舞鶴海洋気象台所属観測船、355 ton）により約70の観測例を得ることができた。これから蒸発量の特徴を明らかにするとともに実験式をつくり、冬期の日本海からの蒸発量を推定してみた。この結果は従来の調査結果と同じ傾向を示し、最多蒸発量海域は暖水域にあって14mm/dayを呈した。

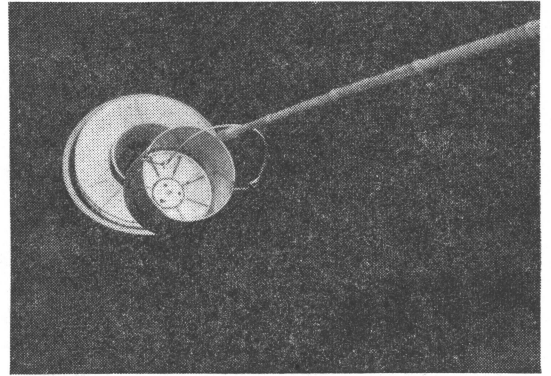
1. はしがき

一人または二人で船上より操作できる軽便な蒸発計を



第1図 海面蒸発計見取図

- a : ポリエチレン製たらい
- b : 発泡スチロール
- c : ハンガーボード
- d : 屑籠
- e : 蒸発計本体, 亜鉛板製白塗り
- f : 羽根輪
- g : おもり
- h : ゴムひも
- i : ロープ



第2図 蒸発計本体を引揚げるところ。たらいは付いているロープで引張りあげる。

作製した。第1図はその見取図であり、第2図はその観測状況である。第1図により明らかなとおり材料のほとんどはプラスチック製の家庭用品から成り立っている。

測定は雨量ますによったが、観測を続けている間に塩素量を用いてもよいことがわかった。特に降水のあった場合は海面雨量計（海面蒸発計と同寸法で蒸発計本体のかわりに雨量計を仕込んだもの）の助けを借りねばならないが、塩素量を用いれば雨量計の必要は全くない。ただ雨量ますの方が、すぐ蒸発量を求められる利点がある。

観測は1964年10月から4年間にわたり、舞鶴港（水深3m点）で42例、日本海（水深200m以深）で23例、その他の港湾で約10例の蒸発量が得られた。この資料から舞鶴港及び沖合いの実験式を作製する一方、季節変動などを調査した。沖合い用の実験式から船舶資料の多かった1968年1月について、日本海全域の蒸発量を求めたうえ、大型蒸発計に換算し、更に水収支結果から求めた係数を乗じて実際の蒸発量の分布図を作製してみた。

2. 蒸発量観測結果

観測は清風丸より蒸発計を浮遊させて実施した。接岸

* On the Evaporation from the Japan Sea

** K. Harami 舞鶴海洋気象台

—1969年1月8日受理—

第1表 舞鶴港の24時間蒸発量

| 観測日 | 蒸発量 E | 降水量 | 海面蒸気圧 E_w | 蒸気圧 E_a | 平均風速 V | $(E_w - E_a) V$ |
|------------|---------|-----|-------------|-----------|----------|-----------------|
| 年月日 | mm | mm | mb | mb | m/sec | |
| 1964 10 16 | 5.5 | — | 27.4 | 16.5 | 2.0 | 22.9 |
| 1964 10 19 | 6.1 | 0.0 | 21.4 | 8.0 | 2.1 | 28.1 |
| 1965 8 6 | 6.2 | — | 42.4 | 27.1 | 2.8 | 42.8 |
| 1965 8 7 | 6.8 | 0.0 | 35.3 | 25.8 | 5.2 | 49.4 |
| 1965 8 8 | 6.5 | — | 33.6 | 20.9 | 2.9 | 36.8 |
| 1965 11 3 | 7.0 | 0.0 | 22.7 | 11.0 | 3.7 | 43.3 |
| 1966 8 9 | 4.4 | — | 40.2 | 27.6 | 2.2 | 27.7 |
| 1966 8 10 | 4.9 | — | 41.3 | 30.1 | 2.0 | 22.4 |
| 1966 8 11 | 5.0 | — | 42.8 | 31.5 | 2.0 | 22.6 |
| 1966 8 12 | 5.2 | — | 42.3 | 31.4 | 2.4 | 26.2 |
| 1966 8 13 | 4.9 | — | 42.3 | 28.7 | 2.2 | 29.9 |
| 1966 8 14 | 4.5 | 0.0 | 38.6 | 28.1 | 2.1 | 22.1 |
| 1966 8 15 | 5.0 | 0.0 | 37.3 | 28.2 | 2.0 | 18.2 |
| 1966 8 16 | 3.4 | 4.1 | 34.7 | 28.5 | 2.1 | 13.0 |
| 1966 8 17 | 3.5 | — | 35.1 | 30.0 | 2.6 | 13.3 |
| 1966 12 16 | 2.0 | — | 14.1 | 6.3 | 1.4 | 10.9 |
| 1966 12 17 | 1.1 | 1.9 | 12.3 | 6.7 | 1.3 | 7.3 |
| 1966 12 18 | 1.2 | 0.8 | 12.1 | 7.9 | 1.6 | 6.7 |
| 1966 12 19 | 1.0 | — | 12.9 | 7.8 | 2.1 | 10.7 |
| 1966 12 22 | 2.0 | — | 12.7 | 7.2 | 1.7 | 9.4 |
| 1966 12 23 | 1.1 | 9.8 | 12.3 | 7.9 | 1.7 | 7.5 |
| 1966 12 24 | 1.3 | — | 12.4 | 7.9 | 1.5 | 6.8 |
| 1966 12 25 | 1.6 | 1.3 | 12.1 | 7.7 | 2.1 | 9.2 |
| 1967 4 13 | 1.1 | 1.8 | 13.8 | 10.5 | 2.2 | 7.3 |
| 1967 4 14 | 1.7 | 6.1 | 15.1 | 12.8 | 1.3 | 3.0 |
| 1967 4 15 | 5.1 | 0.2 | 13.9 | 10.5 | 6.1 | 20.7 |
| 1967 4 30 | 1.9 | — | 19.8 | 18.1 | 2.3 | 3.9 |
| 1967 5 4 | 3.6 | — | 19.5 | 14.7 | 3.0 | 14.4 |
| 1967 5 5 | 6.0 | — | 20.5 | 9.8 | 2.3 | 24.6 |
| 1967 5 6 | 3.6 | — | 19.5 | 11.2 | 1.3 | 10.8 |
| 1967 5 8 | 1.7 | 0.2 | 19.3 | 17.6 | 2.2 | 3.7 |
| 1967 5 9 | 4.3 | — | 19.7 | 14.5 | 2.9 | 15.1 |
| 1967 5 26 | 4.1 | — | 24.2 | 18.4 | 2.3 | 13.3 |
| 1967 5 27 | 2.7 | 2.6 | 23.3 | 19.7 | 2.0 | 7.2 |
| 1967 5 28 | 0.5 | 1.0 | 21.7 | 19.7 | 1.2 | 2.4 |
| 1967 5 29 | 2.3 | 0.2 | 23.1 | 17.2 | 1.6 | 9.4 |
| 1967 5 30 | 4.7 | — | 24.4 | 18.2 | 2.5 | 15.5 |
| 1967 5 31 | 3.5 | — | 26.1 | 17.8 | 1.5 | 12.5 |
| 1967 6 1 | 4.2 | — | 27.0 | 20.1 | 1.9 | 13.1 |
| 1967 6 2 | 4.4 | — | 26.1 | 21.2 | 2.2 | 10.8 |
| 1967 6 3 | 4.0 | — | 29.1 | 20.8 | 1.6 | 13.3 |
| 1967 6 4 | 5.0 | — | 28.0 | 20.8 | 2.1 | 15.1 |

第2表 日本海の12時間蒸発量

| 観測日時 | 海 域 | 位 置 | | 蒸発量 E | 降水量 | 海面 蒸気圧 E _w | 蒸気圧 E _a | 平均風速 V | (E _w -E _a) × V |
|---------------|-------|------|-------|----------|-----|-----------------------------|-----------------------|-----------|---|
| | | 北緯 | 東経 | | | | | | |
| 年 月 日 時 | | ° | ° | mm | mm | mb | mb | m/sec | |
| 1965 1 19 6 | 佐渡島西方 | 37.8 | 137.5 | 6.2 | — | 14.1 | 7.0 | 4.3 | 30.5 |
| 1965 12 10 6 | 飯田湾 | 37.4 | 137.3 | 3.9 | — | 17.0 | 6.8 | 2.5 | 25.5 |
| 1966 4 21 6 | 日本海中部 | 39.0 | 132.5 | 0.5 | — | 9.2 | 10.3 | 5.7 | -6.3 |
| 1966 4 21 18 | 日本海中部 | 39.0 | 132.5 | 1.3 | — | 9.7 | 10.4 | 5.1 | -3.6 |
| 1966 4 22 6 | 日本海中部 | 39.0 | 132.5 | 0.2 | — | 10.1 | 10.7 | 3.5 | -2.1 |
| 1966 4 26 6 | 出雲沖 | 35.6 | 132.6 | 0.2 | — | 17.8 | 15.7 | 4.9 | 10.3 |
| 1966 11 24 18 | 日本海中部 | 40.0 | 134.5 | 0.2 | — | 13.0 | 11.4 | 6.1 | 9.8 |
| 1966 11 24 24 | 日本海中部 | 40.0 | 134.5 | 1.1 | — | 13.0 | 10.7 | 6.3 | 14.5 |
| 1967 4 21 8 | 萩沖 | 35.5 | 131.5 | 2.8 | — | 15.9 | 12.9 | 7.5 | 22.5 |
| 1967 4 24 24 | 鳥取沖 | 36.0 | 134.0 | 2.3 | — | 15.4 | 8.6 | 0.9 | 6.1 |
| 1967 5 13 6 | 日本海中部 | 40.0 | 134.0 | -1.3 | 0.8 | 12.9 | 12.5 | 2.8 | 1.1 |
| 1967 5 13 18 | 日本海中部 | 40.0 | 134.0 | 0.0 | 0.0 | 12.4 | 13.4 | 5.0 | -5.0 |
| 1967 5 18 6 | 萩沖 | 36.0 | 131.5 | 0.7 | — | 17.6 | 17.0 | 3.0 | 1.8 |
| 1967 5 19 18 | 若狭沖 | 36.0 | 135.3 | 1.4 | — | 19.5 | 14.7 | 2.9 | 13.9 |
| 1967 5 20 6 | 若狭沖 | 36.0 | 135.3 | 3.8 | — | 18.7 | 12.4 | 3.7 | 23.3 |
| 1968 4 20 6 | 隠岐島東方 | 35.9 | 133.8 | 2.5 | — | 15.1 | 8.9 | 3.8 | 23.6 |
| 1968 4 20 18 | 隠岐島東方 | 35.9 | 133.8 | 2.7 | — | 15.4 | 9.7 | 3.1 | 17.7 |
| 1968 4 24 18 | 石見沖 | 35.7 | 131.7 | 1.5 | — | 16.9 | 6.6 | 1.7 | 17.5 |
| 1968 4 25 6 | 石見沖 | 35.7 | 131.7 | 2.1 | — | 15.7 | 14.6 | 4.3 | 4.7 |
| 1968 5 16 18 | 日本海中部 | 39.8 | 134.2 | 2.1 | — | 12.5 | 9.3 | 3.3 | 10.6 |
| 1968 5 21 6 | 佐渡沖 | 39.0 | 137.8 | 1.8 | — | 15.8 | 11.5 | 3.1 | 13.3 |
| 1968 5 21 18 | 佐渡沖 | 39.0 | 137.8 | 2.2 | — | 16.4 | 12.0 | 4.4 | 19.4 |
| 1968 5 26 18 | 若狭沖 | 36.3 | 135.0 | 1.3 | — | 17.2 | 14.9 | 7.4 | 17.0 |

中は9時を日界とした24時間観測を主とし、沖合いで停船している場合はつとめて6~18時・18時~翌6時の12時間観測を行なうよう留意した。このうち舞鶴港での観測結果を第1表に、沖合いのものを第2表に示した。これらの表には蒸発量以外に蒸気圧とか風速等の欄がある。この値を測定した乾湿温度計の海面上の高さは6.7mで、風速計のそれは12.2mである。なお、海面蒸気圧は海面水温に対する飽和水蒸気圧である。そして舞鶴港(第1表)での気象要素は9~9時の24時間平均値であり、沖合い(第2表)は昼夜それぞれの12時間平均値である。この資料から蒸発量を横軸に、海水と空気の蒸気圧差に平均風速を乗じた指数を縦軸にとると第3図および第4図を得る。これらの実験式を求めると次のとおりとなった。

舞鶴港 $\log(E_w - E_a)V = 0.5723 + 0.1508E$

または $(E_w - E_a)V = 3.735e^{0.3472E}$

沖合い $(E_w - E_a)V = 5.112E + 2.791$

ここで E:蒸発量 (mm), E_w:海面蒸気圧 (mb),

E_a:蒸気圧 (mb), V:平均風速 (m/sec) である。

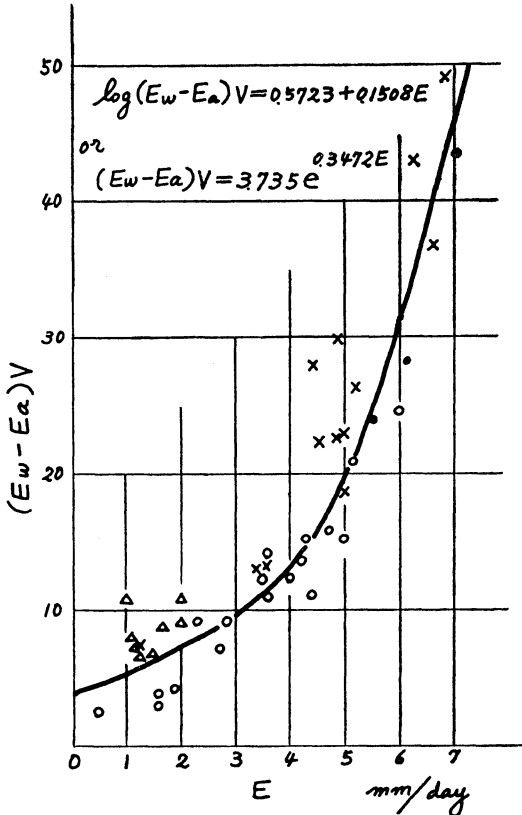
第3表 蒸発量の季節変動

| | | mm/day | | | | |
|----|-----|--------|-----|-----|------|-----|
| 量 | 場所 | 季節 | | | | |
| | | 春 | 夏 | 秋 | 冬 | 平均 |
| 平均 | 舞鶴湾 | 3.2 | 4.9 | 6.3 | 1.4 | 4.0 |
| | 沖合い | 2.6 | — | 0.4 | 10.2 | 4.4 |
| 最大 | 舞鶴湾 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 2.0 | 5.4 |
| | 沖合い | 7.2 | — | 0.4 | 12.2 | 6.6 |

第4表 春期の昼間と夜間の蒸発量

| mm/12h | | | |
|--------|-----|-----|-----|
| 場 所 | 昼 | 夜 | 平均 |
| 沿 岸 | 2.9 | 1.8 | 2.4 |
| 沖 合 い | 1.6 | 1.2 | 1.4 |

注) 沿岸とあるのは舞鶴, 境, 浜田港。



第3図 蒸発量と接水気層状態との関係（舞鶴港）
○：春 ×：夏 ・：秋 △：冬

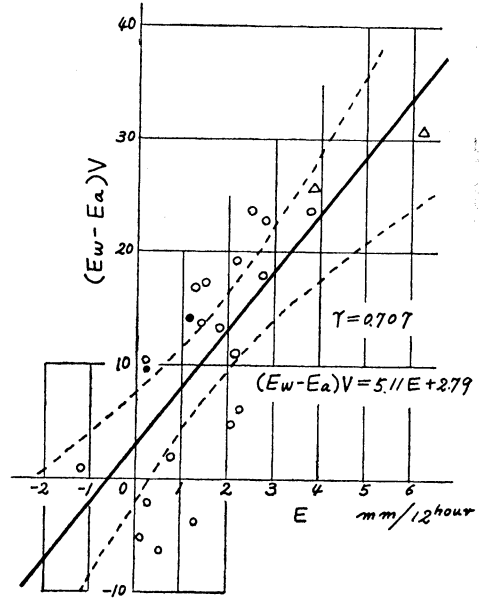
第3表は四季別の蒸発量で、舞鶴港では秋に多く冬に少なく、沖合いでは冬に多いことなどを示している。第4表は観測例の多い春季を選んで昼と夜の蒸発量と比較したものである。これによると沿岸・沖合いとも昼に多く、夜に少ないことがわかる。この表の平均蒸発量は第3表の春季のそれとは値が異なるが、これは沿岸には境・浜田港での観測値を用いており、沖合いの方は昼と夜の観測数が一致していないからである。

3. 冬期の日本海海面からの蒸発量の推定

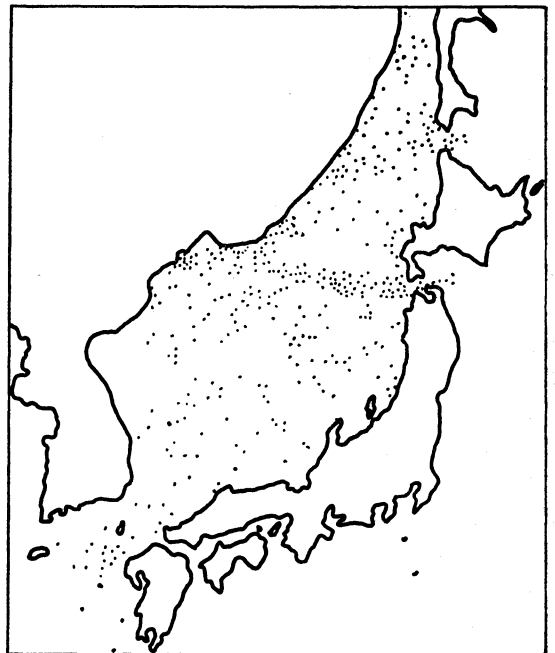
前節で得た日本海での12時間蒸発量の実験式を用いて1968年1月の蒸発量を推定してみた。

このために必要な海上気象資料は主としてソ連邦のハバロフスク気象放送のうち、R・D・Wによった。1月のうち毎日9時の気温・海面水温・風速・降水日の分布図を描き、これから月平均値を求めるといった方法によった。

用いたソ連邦船舶資料の密度は第5図のとおりで、日

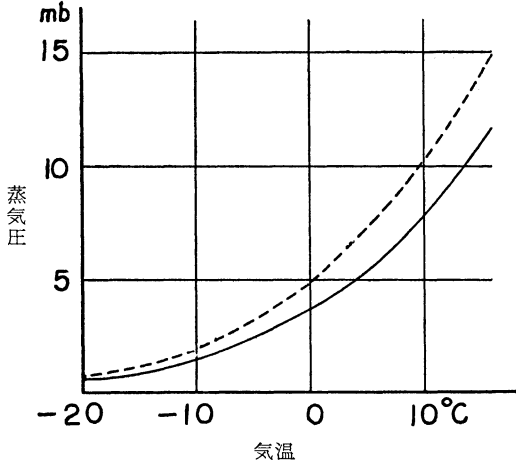


第4図 蒸発量と接水気層状態との関係（沖合い）
○：春 ×：夏 ・：秋 △：冬
相関係数0.707は危険率0.05で有意であり、
……はEの値に対する(Ew-Ea)Vの平均の95%信頼区間の推定である。



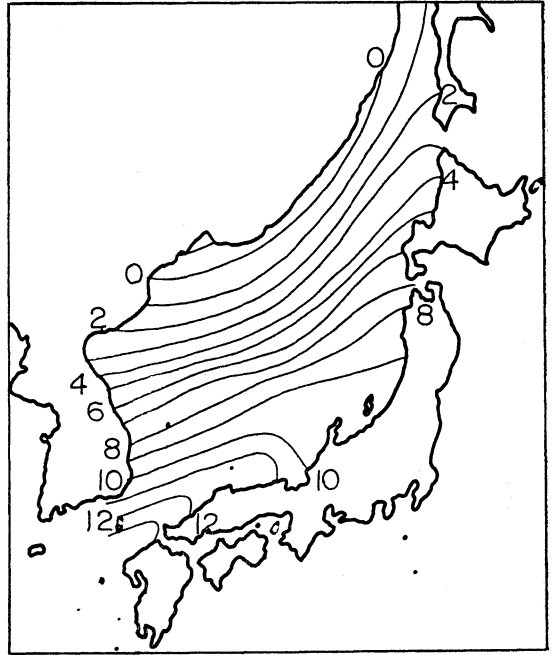
第5図 ソ連船の観測位置（1968年1月9時）

本海北西部に乏しいが、全部で 401 点分があり、日々の分布図を描くのに難点はなかった。問題はむしろ蒸気圧にあった。これを求めるため、清風丸が就役（1964年3月）以来の1月の観測値から日中の気温と蒸気圧との関係を求め第6図とした。第6図は降水時または南偏風が

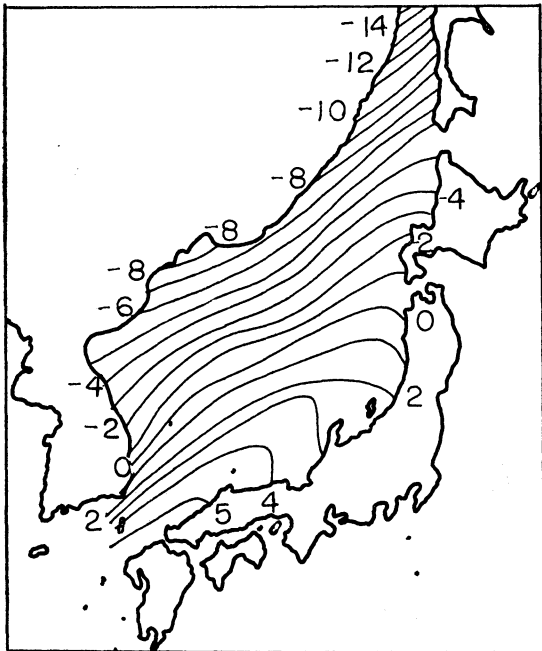


第6図 気温と蒸気圧との関係

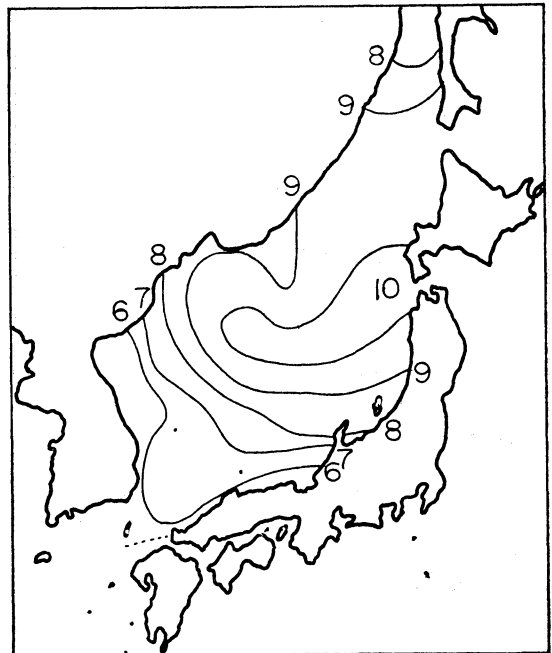
清風丸が得た1965~1968年の1月日中の値から求めたもの。……：降水時または南偏風が 15m/sec を越えるとき、——：それ以外の天気の時。



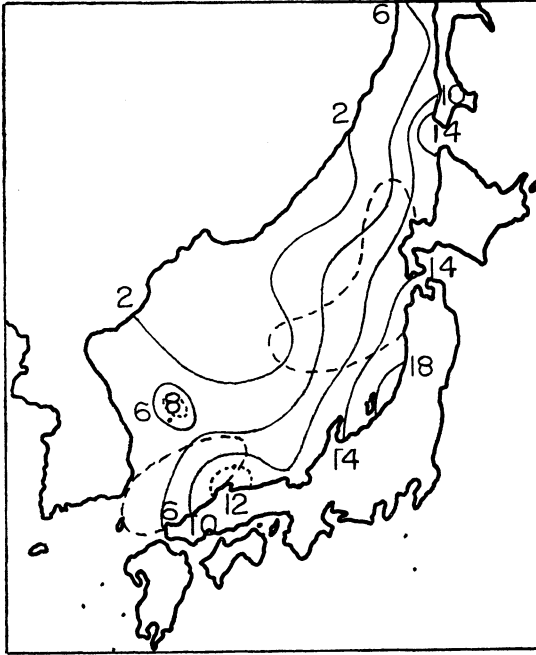
第8図 海面水温分布 (°C) (1968年1月)



第7図 平均気温分布 (°C) (1968年1月)



第9図 平均風速分布 (m/sec) (1968年1月)
船舶よりの実測風を用いた。



第10図 降水日数(——)と南偏風 15m/sec 以上(----)の発現域で、これは1日のみである。

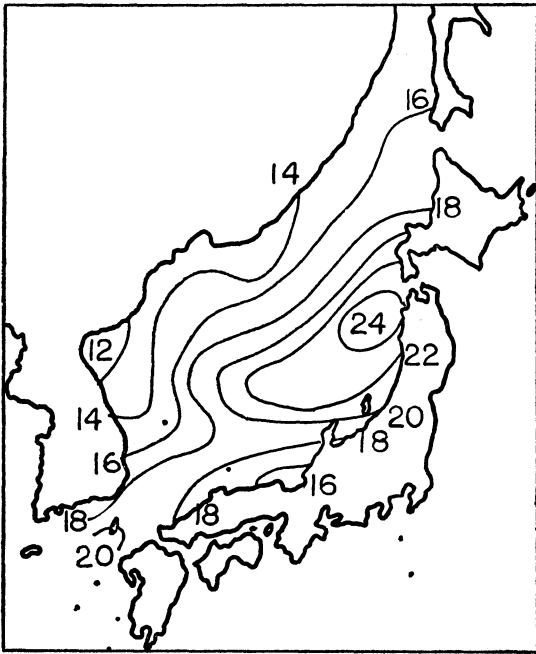
15m/sec を越える曲線とそれ以外の天気の時曲線から成り立っている。この関係はかつて宮崎氏が用いた方法により求めた研究があり(藤田・本田, 1965) これと同様な値となった。

さて、1月の蒸発量を求めるための気象要素の平均分布図として、第7図に気温・第8図に海面水温・第9図に平均風速・第10図に降水日数・南偏強風日数を示した。これらの資料から沖合いの蒸発量を求めたものが第11図である。

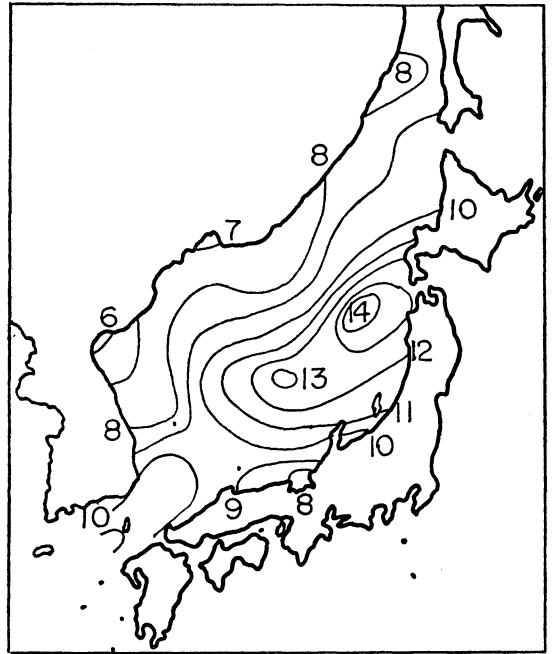
第11図で得た蒸発量分布は口径 20cm の小型蒸発計による値であるから伊藤氏(1968)のいう次式による大型蒸発計の値に換算した。

$$A\text{-Pan 蒸発量} = \text{小型 Pan の蒸発量} \times 0.78$$

さらに、大型蒸発計(A-Pan)による蒸発量を実際の蒸発量に換算するには0.70を乗ずればよいと考えられる。これらの換算方法はいずれも真水のものであるが、12時間以上の蒸発量では真水でも海水でも相違ないことから(藤田・本田, 1968) 第11図の蒸発量分布は第12図のそれに換算できた。これによると、蒸発量の多いところは暖水域に限られ、最大値は 14mm/day で秋田沖にあり、暖水域で、しかも風速の強いところに現われている。これに反し蒸発量の少ないところは寒流に支配され



第11図 蒸発実験式より求めた蒸発量分布(mm/day) (1968年1月)



第12図 補正して得られた蒸発量分布(mm/day) (1968年1月)

る日本海北部は当然のことであるが、風速の弱い東朝鮮湾、若狭湾付近にもみられる。

4. むすび

簡便な20cm海面蒸発計を開発し、観測結果を舞鶴港と沖合いに分けて、それぞれの蒸発実験式を作製した。四季別の蒸発量では観測場所の水深の影響、つまり熱容量の差があらわれており、冬は沖合いに多く、沿岸に少なく、夏・秋は沿岸に多いことがわかった。昼夜の別では、受熱量の多い昼間に蒸発量が多いこともわかった。また、空気力学的方法により1968年1月の日本海海面からの蒸発量を推定した。計算には第2節で得た沖合いの実験式を使用した。換算を二段階にわけて行なっているので、この補正を施すと日本海に適用できる蒸発量の実験式は

$$E=0.214(E_w-E_a)V-0.147$$

となる。これを用いて蒸発量分布を得た第12図は従来から計算されている蒸発量分布の平年値(藤田・本田, 1965)とは大きな差がないことがわかった。これは海面

上12.2mの風速(第2表よりの平均風速4.1m/sec)を用いているので、海面上6mに換算して整理すると

$$E=0.128(E_w-E_a)V-0.147$$

となる。また、常数を省略すれば Jacobs の得た係数0.143に近い値となる。

おわりに、この調査の機会を与えられた北田・山本・青木・喜多村の歴代台長に厚くお礼申し上げるとともに、観測・調査をすすめるにあたって海面蒸発計の作製はじめ、種々の御指導をいただいた当時の井野海上気象課長、観測に協力下さった大島海上気象係長ほかの皆様深く感謝致します。

引用文献

- 伊藤昭三, 1968: 蒸発量観測の現状と将来展望, 電力と気象, **17**, 125-133.
 藤田敏夫・本田庸浩, 1965: 冬期の日本海からの蒸発量及び顕熱放出量の推定, 天気, **12**, 204-212.
 藤田敏夫, 本田庸浩, 1968: 短時間の蒸発量の測定, 日本気象学会 秋季大会講演予稿集, 302.

第15期 第9回常任理事会議事録

日 時 昭和44年6月30日 15:00~19:00

場 所 気象庁予報部会議室

出席者 山本理事長 大田 毛利 根本 有住 朝倉
岸保 大井 神山 小平 各常任理事

列席者 須田理事 藤田哲也会員

議 題

議決事項

1. アメリカ気象学会との Jointmeeting について
開催の主旨には同意するが目下の諸状勢からみて、1971年以降に行なうこととなろう。その時期に改めて検討する。

2. 九州大会のシンポジウムの題目について
九州支部から「降雨機構とその応用」としたい旨申出があったので、同意する。内容は雲物理、メソ解析、人工制御とする。

3. 外国文献集について
30巻とし3年間で刊行する。価格は1巻700円~800円とし送料は購読者負担とする。

承認理項

賛助会員トーテックスKK, 通常会員安井春雄
外19名の入会を承認する。