

北海道オホーツク海沿岸紋別における 海氷期の大気透過率特性について

中村圭三・三谷雅肆*・石川信敬**・高山晴光

1. はじめに

北海道オホーツク海沿岸における海氷期の日射特性に関しては、三谷・中村(1987,1989)による紋別(図1)における1983年から1989年までの7年間にわたる全天日射量の観測結果から、海氷期の2-3月に紋別の大気透過率が最大になることが明らかになった。

そこで、本研究においては、同地域における海氷期の大気透過率の特性について解析した。

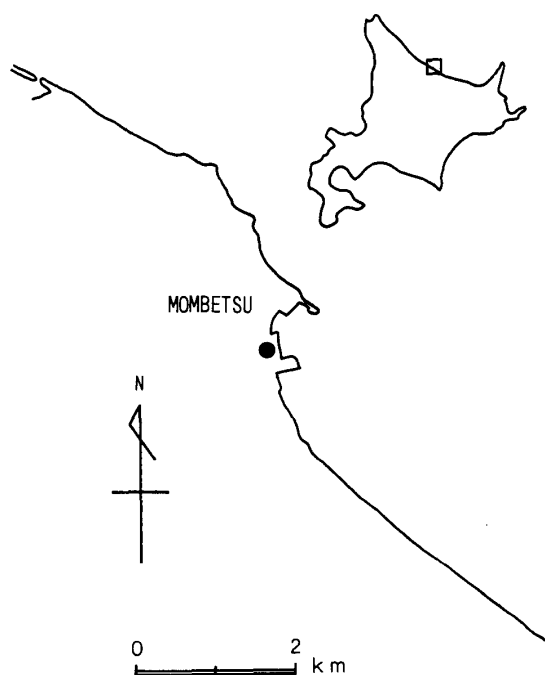


図1 観測地域
●観測地点

2. 研究方法

1993年1月以来、紋別港に位置する紋別漁業協同組合の屋上(図1)に、英弘精機製の精密全天日射計(MS-801)2台を設置し、その中の1台には直達日射を遮蔽するためのバンドを装着した(写真1)。

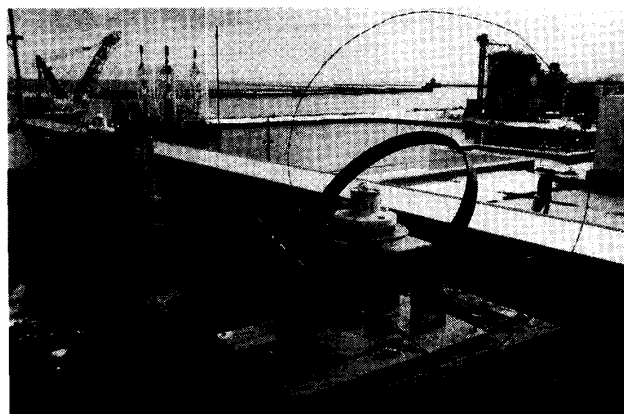


写真1 紋別港に位置する紋別漁業協同組合の屋上に設置された2台の精密全天日射計
1台には直達日射を遮蔽するためのバンドを装着されている

この2台の日射計で、冬期間30分ごとに全天日射量および散乱日射量を観測し、その差から直達日射量(MJ/m²/DAY)を算出した。また、海氷量については、北海道大学低温科学研究所附属流水研究施設による海氷観測データを使用し、観測地点から半径20マイル(32.2km)以内の海面上に占める海氷の量を%で示した。

大気透過率に関しては、日射量観測を実施した1995年から1999年までの各年の1月から4月まで

の4か月間で雲量1以下の日を対象とし、次のようにして評価を試みた。

実測された太陽より水平地表面に到達する水平面直達日射, J_{DH} と、日射の方向に対して直角をなす面が受ける法線面直達日射, J_{DN} との関係は、次式で示される。

$$J_{DH} = J_{DN} \cdot \sinh \quad (1)$$

h は太陽高度であり、次式で求められる。

$$\sinh = \sin \sigma \cdot \sin \phi + \cos \sigma \cdot \cos \phi \cdot \cos t \quad (2)$$

ここで σ は日赤緯, ϕ は当該地点の緯度, t は時角である。

J_{DN} に対しては、Bouger の次式(浅野ほか, 1983 など)が良く知られている。

$$J_{DN} = J_0 P^{1/\sinh} \quad (3)$$

ここで J_0 は太陽常数, P は大気透過率である。

Eq (3) から、 P をパラメータとした直達日射の時間を追っての曲線が得られるが、これに実測データを重ね合わせることによって適当する p を評価できよう。

Eq (3) は単位時間当たり、単位水平面に到達する直達日射量を表すが、日の出から日没までの水平面積算直達日射量 Q はその積分、Eq (4) によって表される。

$$Q = J_0 \int_{tr}^{ts} \sinh \cdot P^{1/\sinh} \cdot dt \quad (4)$$

ここで tr 、 ts は、それぞれ時角で表した日の出と日没の時間である。直達日射の経時変化が Eq (3) で表されれば、Eq (4) に P 値を代入して得られる一日積算直達日射とその実測値との比較からも、試行錯誤法により P が得られることとなる。ここでは、Eq (4) の積分は、Shimpson の式(山口二郎ほか, 1964)を適用した数値積分によることとした。ここで、 P は時間に関係なく一定であ

ることを仮定しているが、限られた時間帯、特に日の出、日没時を除けば P の時間的変動は小さく、またこれらの時間帯では一日積算日射量に占める日射量の割合が小さいことから、この仮定は平均的な P の決定に関して妥当なものであろう。

3. 研究結果

3.1 海水量の経日変化

1995年・1997・1998年の3年間における雲量1以下の日における海水量を合成し図2に示す。この図によると海水量は、2月上旬頃まではほぼ10%以下であったが、2月中旬から3月上旬にかけての期間に60%を超えた。以後、この期間を海水期間と呼ぶことにする。3月中旬を過ぎた頃から海水量は急激に減少し始め、4月になると海水は海面から完全に姿を消した。

3.1.2 散乱・直達・全天日射量の経変化

1月から4月にかけての散乱・直達・全天日射は、それぞれほぼ直線的に増加する(図3)。

3.1.3 日平均・最高・最低気温の経変化

日平均・最高・最低気温ともに、2月を中心とした海水期間に極小値を示し、 -15°C 以下の日最低気温は、この期間に出現している(図4)。

3.1.4 水蒸気圧の経日変化

日照時間の短い1月でもある程度の日射量が得られる時間帯として、9時から15時までの時間帯を考え、この時間帯の水蒸気圧の平均値を求めてその時間的推移を図5に示した。この図において、水蒸気圧は曲線的に変化し、気温分布と同様2月に極小

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

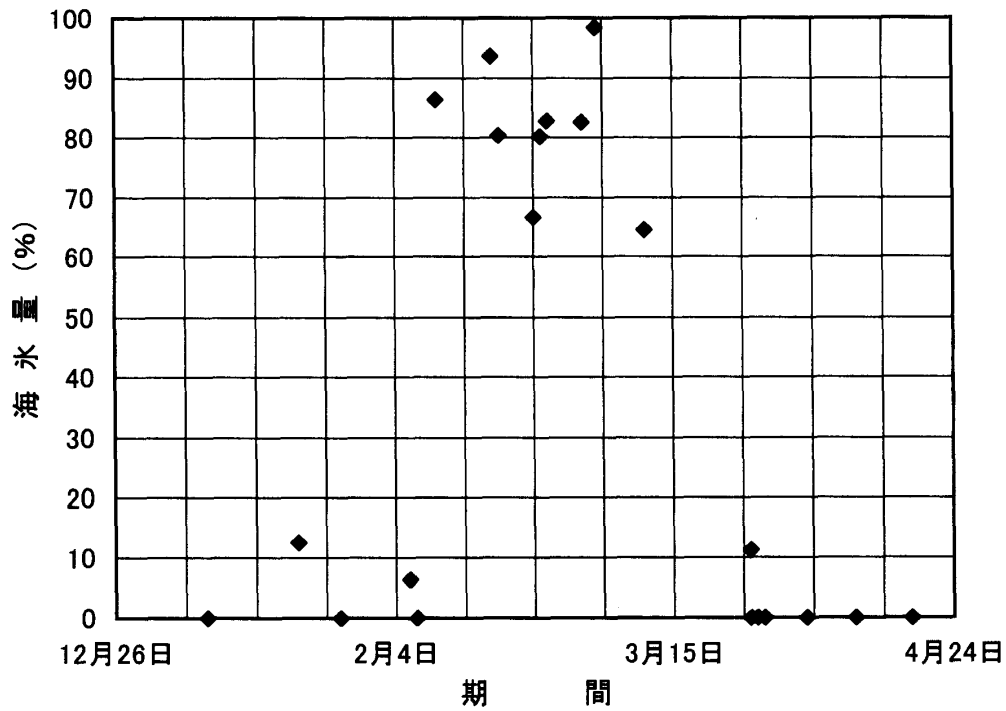


図2 海水量の経日変化

観測地点から半径20マイル以内の海面上に占める海水の量を%で示した。
1995年・1997年・1998年の3年間の1月から4月における曇量1以下の日の海水量を合成して作成

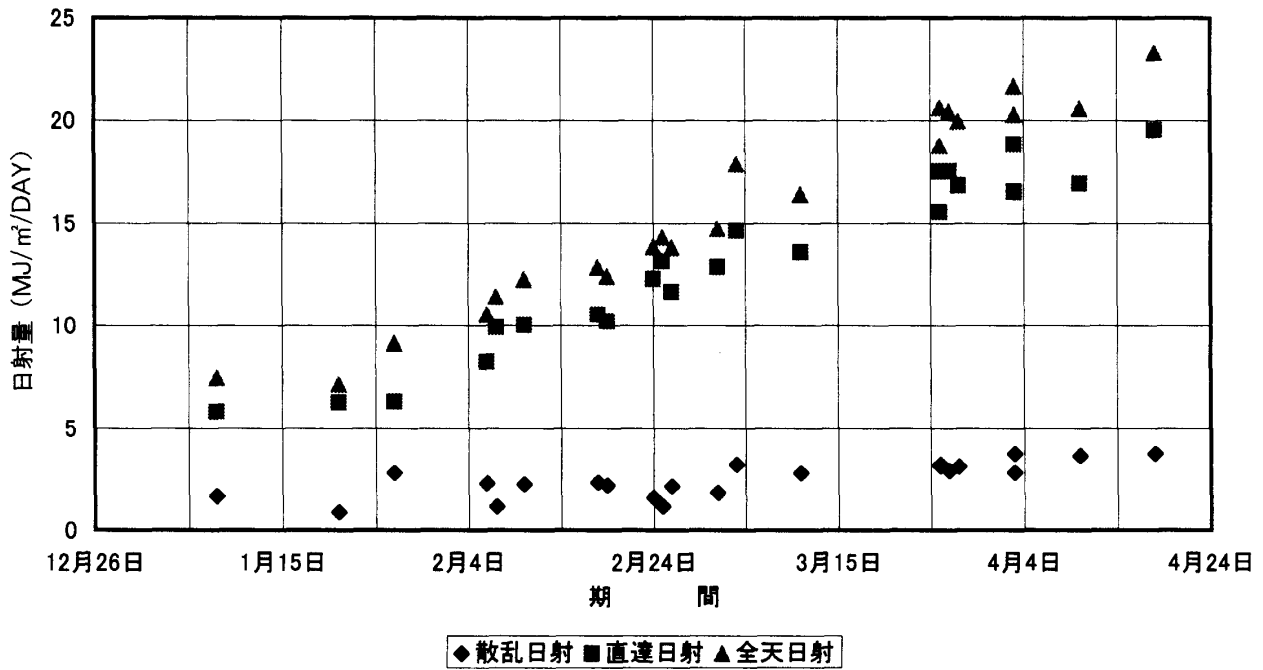


図3 冬期の紋別における1日積算散乱・直達・全天日射量の経日変化

1995年・1997年・1998年の3年間の1月から4月における曇量1以下の日の各日射量を合成して作成
単位：MJ/m²/DAY

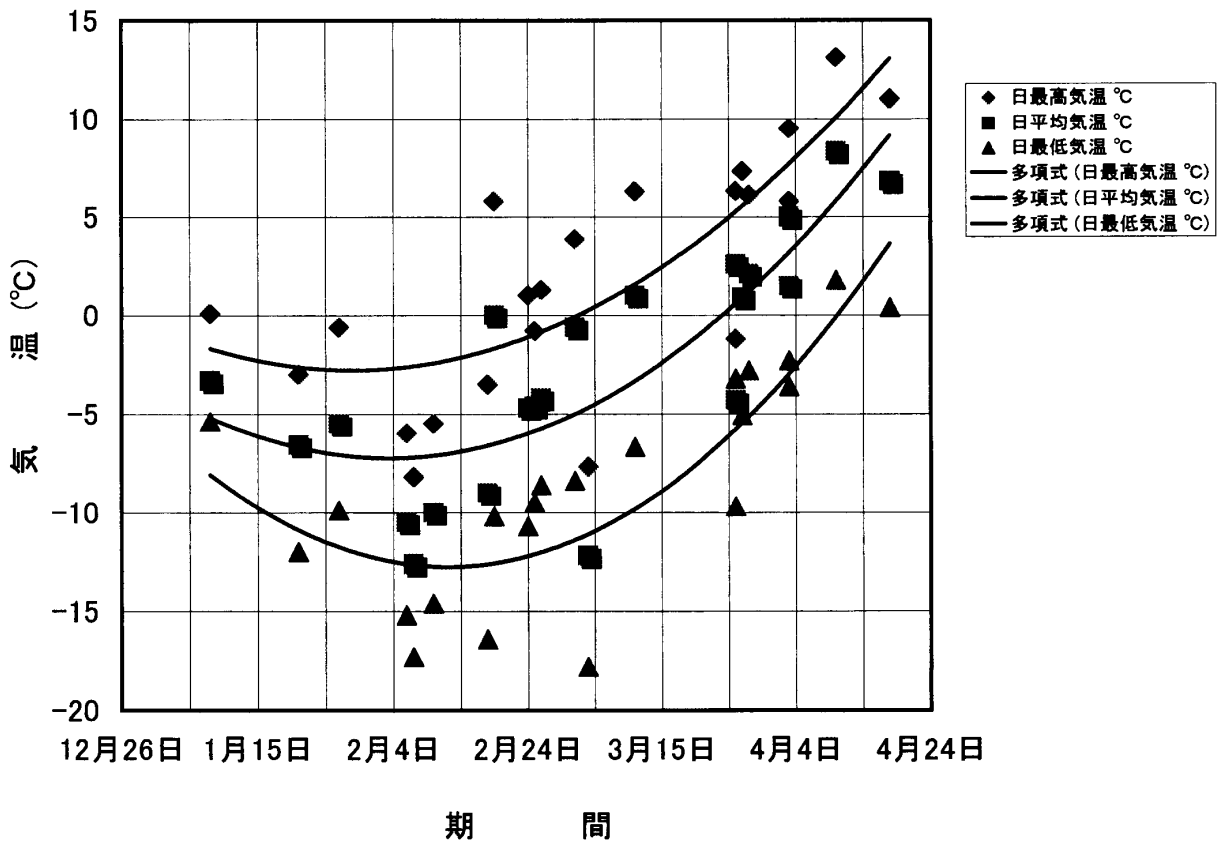


図4 冬期の紋別における日平均・最高・最低気温の経日変化
1995年・1997年・1998年の3年間の1月から4月における曇量1以下の日の各気温を合成して作成

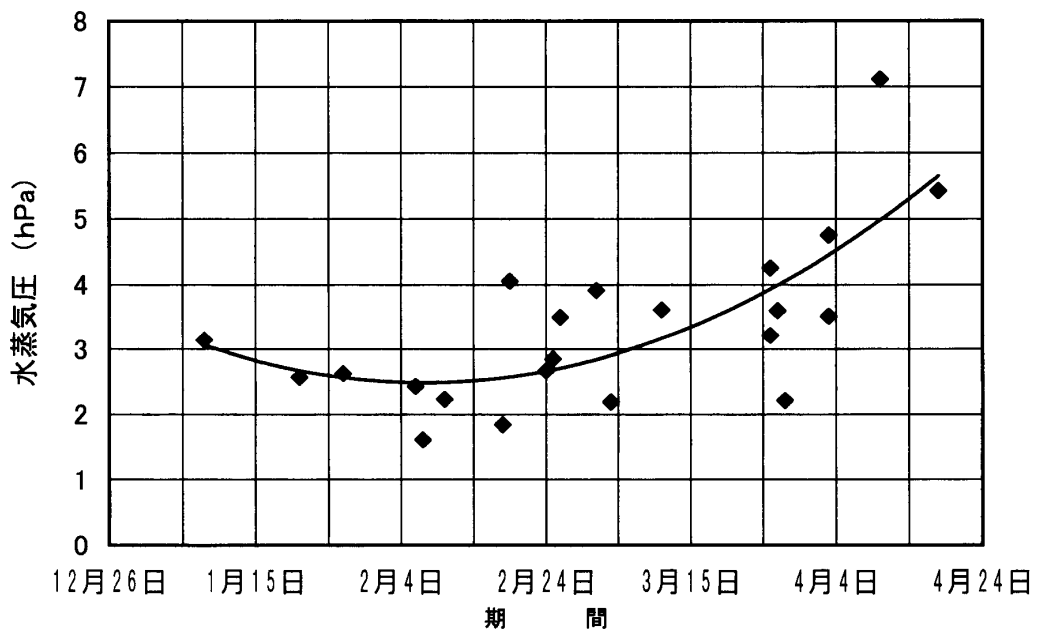


図5 冬期の紋別における水蒸気圧の経日変化
1995年・1997年・1998年の3年間の1月から4月における曇量1以下の日の水蒸気圧の9時から15時までの平均値を合成して作成

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

値が現われる。

を図6に示す。この図からは、大気透過率が2月中旬から3月上旬にかけて上昇していることが理解される。

3.1.5 大気透過率の経日変化

研究方法で示した式により算出した大気透過率

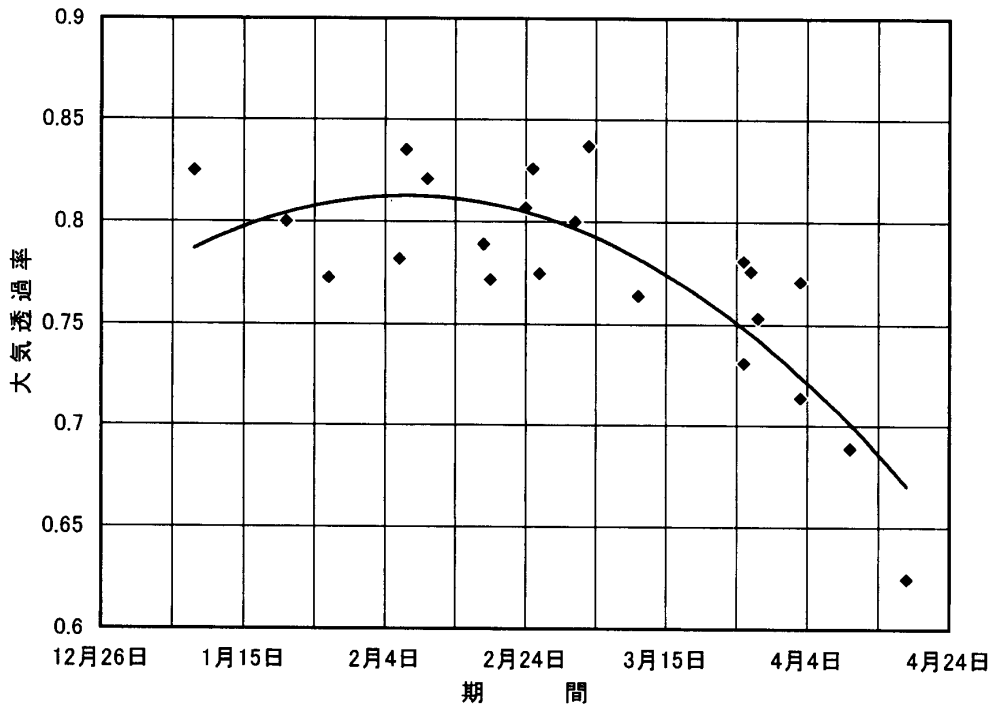


図6 冬期の紋別における大気透過率の経日変化
1995年・1997年・1998年の3年間の1月から4月における雲量1以下の日の1日積算直達日射量から算出した大気透過率を合成して作成

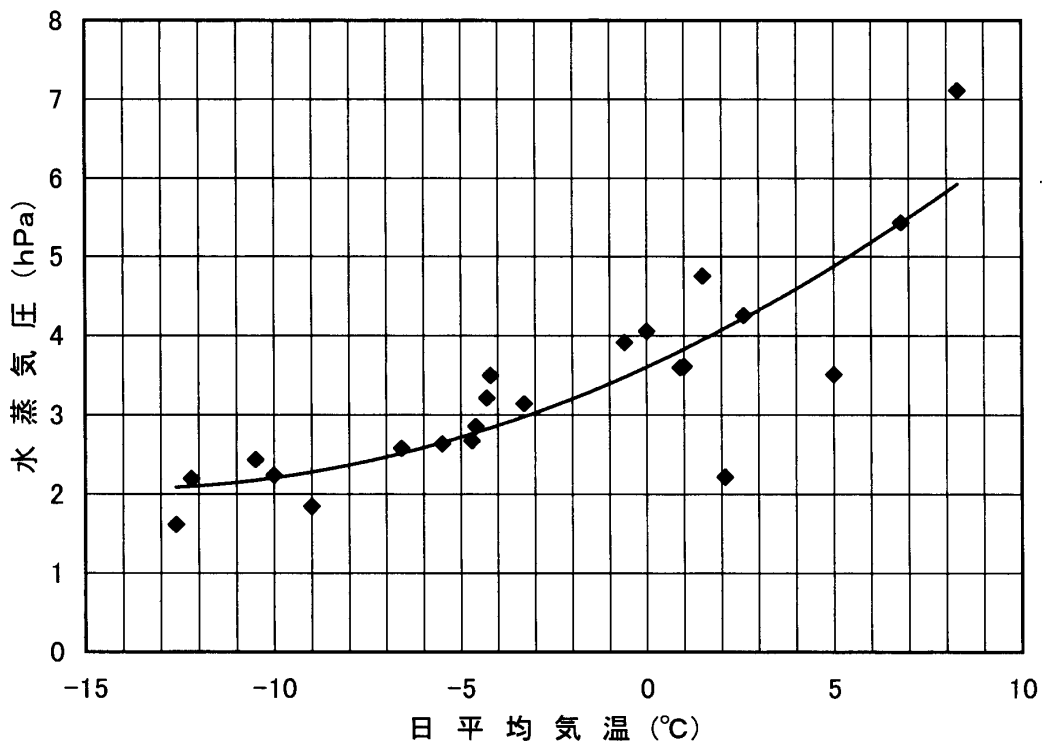


図7 冬期の紋別における日平均気温と水蒸気圧との関係
日平均気温：図4による 水蒸気圧：図5による

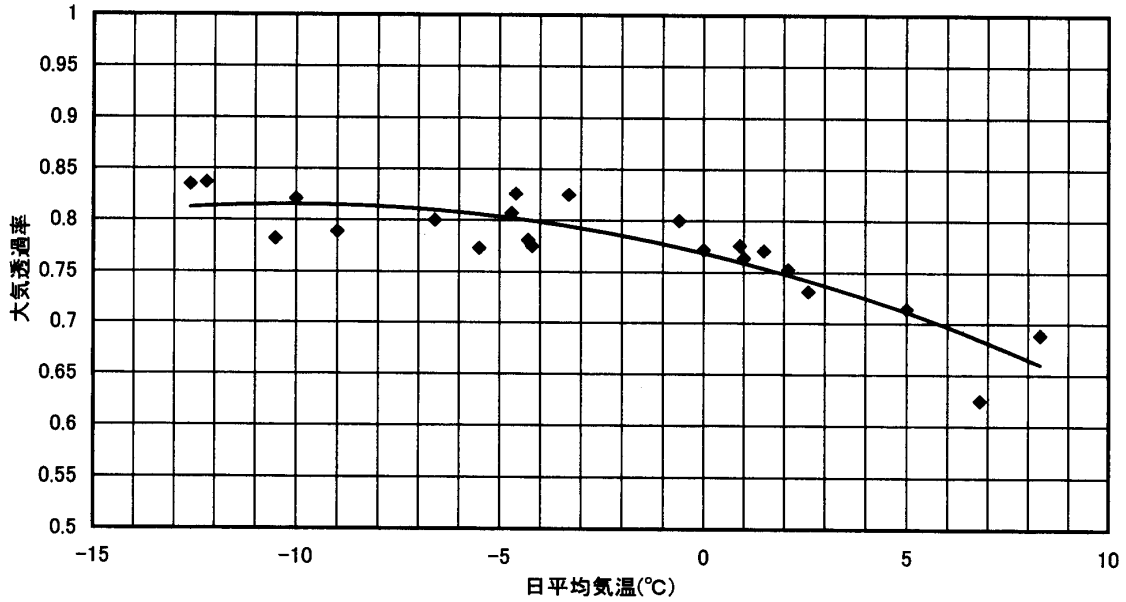


図 8 冬期の紋別における日平均気温と大気透過率との関係

日平均気温：図4による 大気透過率：図6による

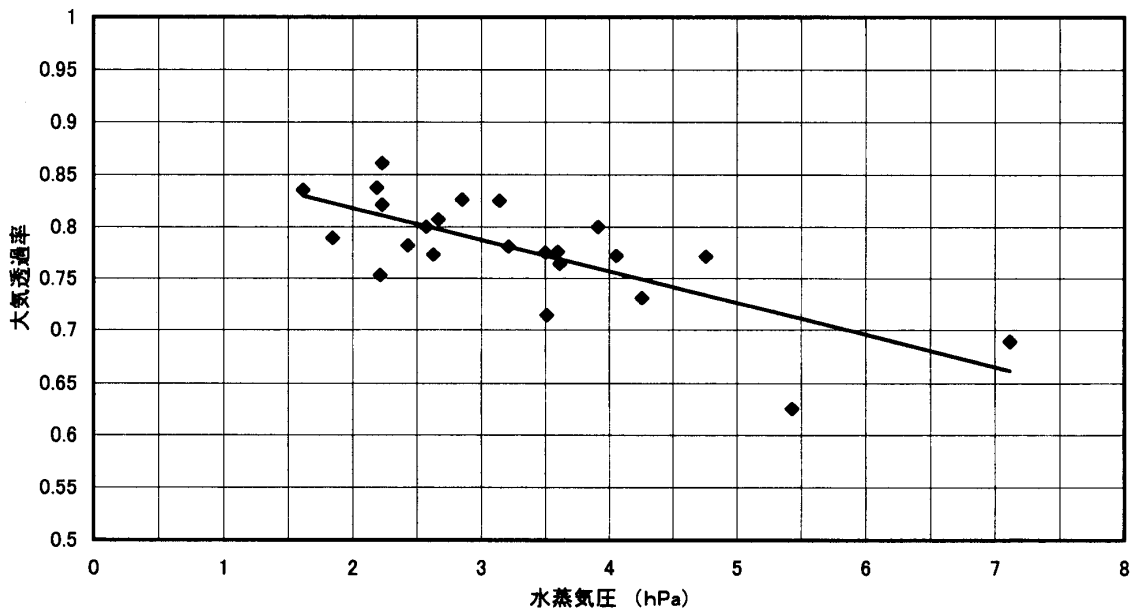


図 9 冬期の紋別における水蒸気圧と大気透過率との関係

水蒸気圧：図5による 大気透過率：図6による

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

3.1.6 日平均気温と水蒸気圧との関係

日平均気温と水蒸気圧との間には、非常に良い正の相関である。このことは、気温が下がることにより大気中の水蒸気量が減少することを意味している(図7)。

3.1.7 日平均気温と大気透過率との関係

日平均気温と大気透過率とは負の相関を示し、特に、日平均気温が -5°C を上回る頃より大気透過率の減少傾向が大きくなる(図8)。

3.1.8 水蒸気圧と大気透過率との関係

9時から15時までの平均値として求めた水蒸気圧と、直達日射の1日の合計値から求めた大気透過率との相関は、相関係数 $r = -0.738$ と高い負相関を示す(図9)。

3.2 1995年・1997年・1998年の海水期

3.2.1 海水量と気温との関係

図10の海水量と気温との間には、負の相関が見られる。海水量85%以下では日最高気温がプラスになることが多い。しかし、85%を超えると日最高気温は氷点下となり、それに伴って日最低気温が -15°C を下回ることが多くなる。

3.2.2 海水量と水蒸気圧との関係

相関はあまり高くないが、両者間には負の相関 ($r = -0.506$)が見られる(図11)。

3.2.3 日平均気温と水蒸気圧との関係

日平均気温と水蒸気圧との関係は、非常に高い正相関 ($r = 0.908$)を示し(図12)、気温の低下に伴い次第に水蒸気圧が減少していることが明瞭に示さ

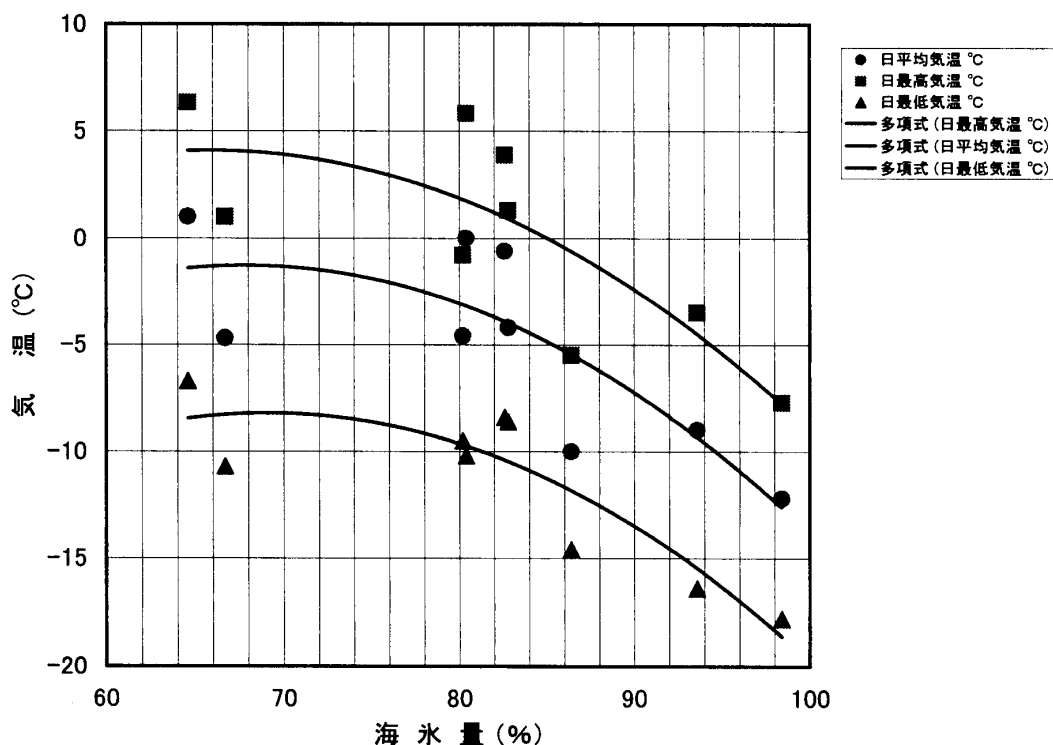


図10 海水期の紋別における海水量と気温との関係
海水量：図2による 気温：図4による

れている。

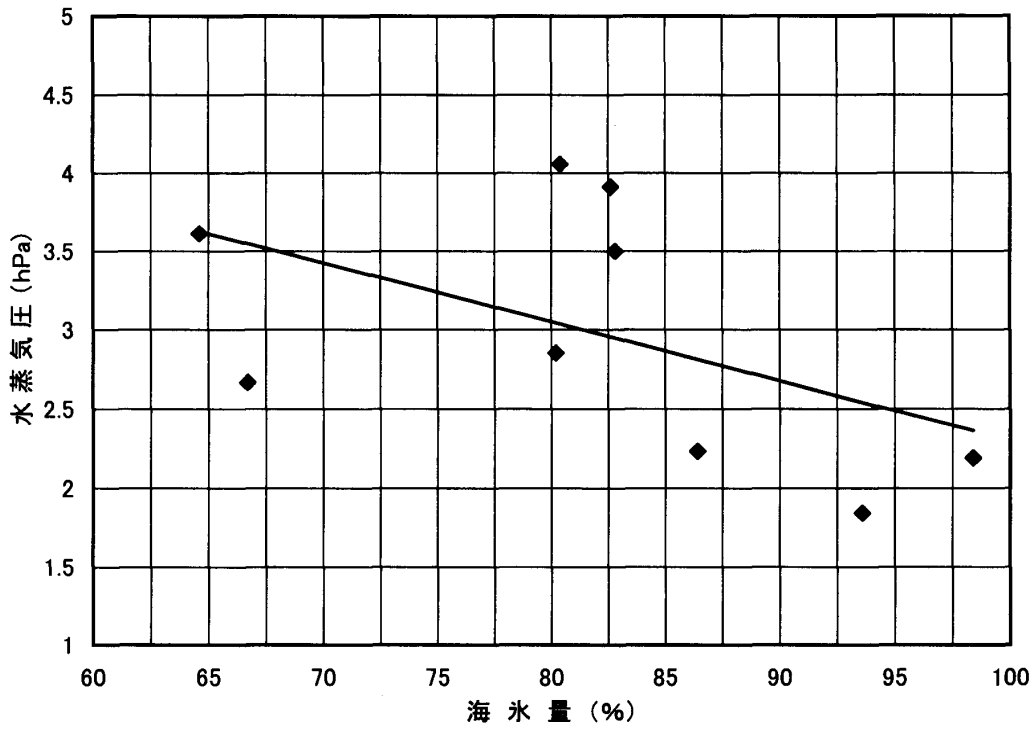


図11 海水期の紋別における海水量と水蒸気圧との関係
海水量：図2による 水蒸気圧：図5による

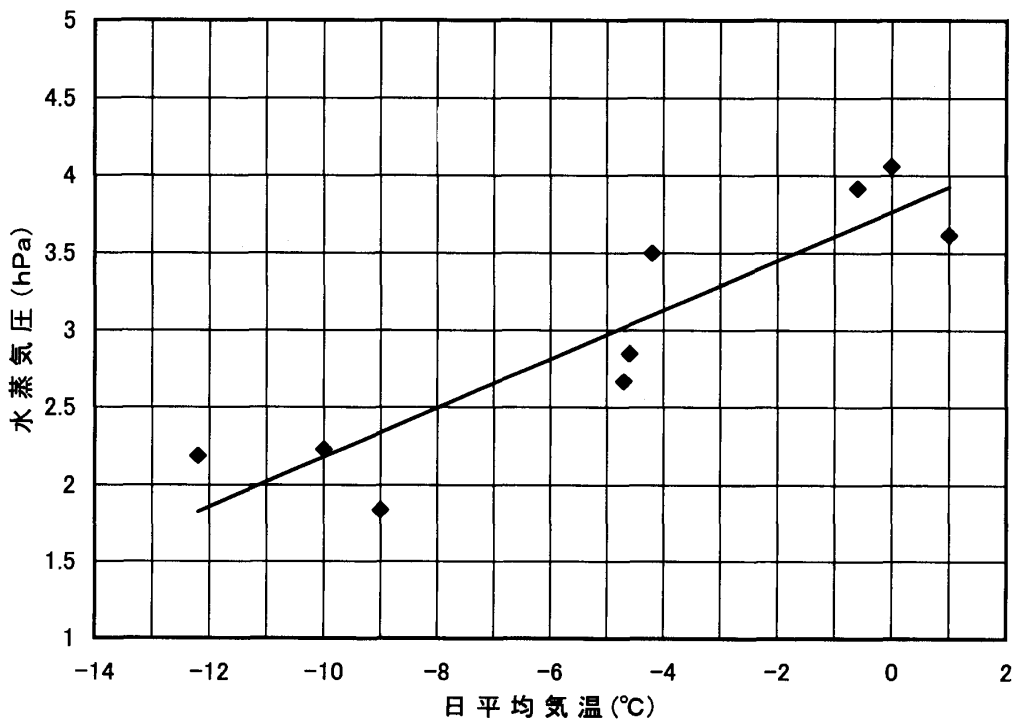


図12 海水期の紋別における日平均気温と水蒸気圧との関係
日平均気温：図4による 水蒸気圧：図5による

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

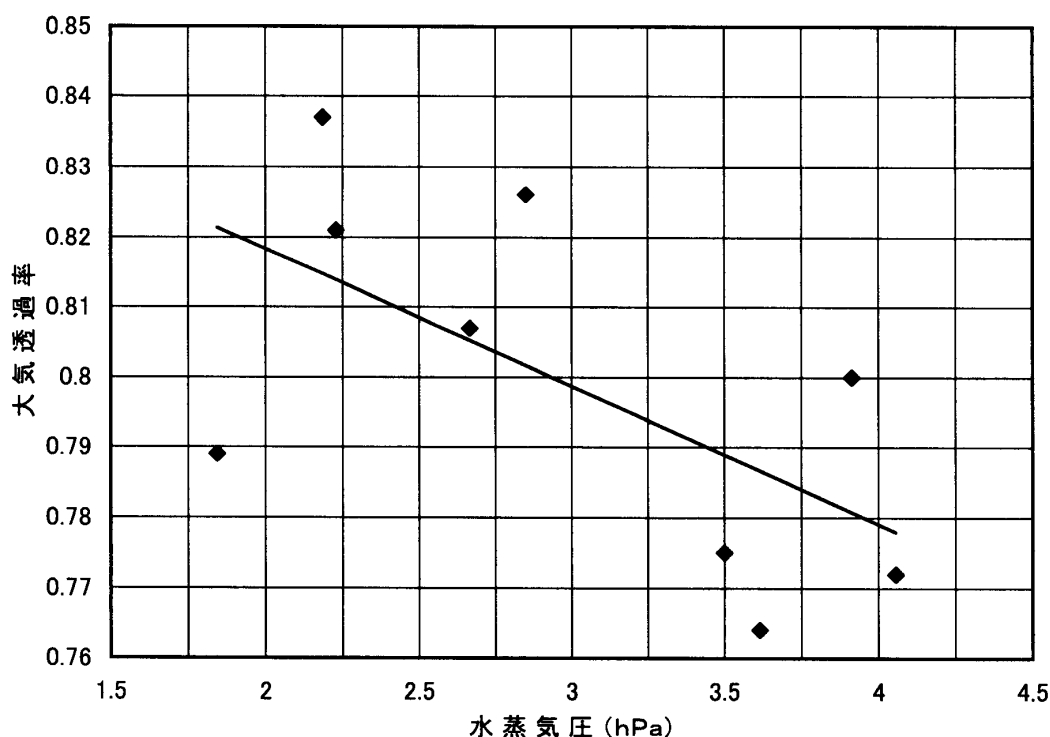


図13 海水期の紋別における水蒸気圧と大気透過率との関係
水蒸気圧：図5による 大気透過率：図6による

3.2.4 水蒸気圧と大気透過率との関係

海水期間中に限って見ても、水蒸気圧の減少に伴い大気透過率が上昇していることが認められる(図13)。

3.3 1998年の1月から4月の期間

3.3.1 海氷量

海氷は、1月中旬に海面上に現われた。2月に入って海氷量は急激に増加し、2月中旬から3月上旬頃までは広く海面を覆った。その後、海氷は急激に減少し、4月以降は海面から消えた。

3.3.2 日射量の時間的推移

1月から4月にかけてのこの期間中の散乱・直達・全天日射量は、時間の経過とともにほぼ直線的な増加傾向を示す(図15)。

3.3.3 気温の時間的推移

図16は、1998年の1月から4月の期間の雲量1以下の日における最高・最低・日平均気温の時間的推移を示したものである。この年には、雲量1以下の日が1月にはなかったため、気温は、最も低い2月からの上昇傾向が示されている。

3.3.4 水蒸気圧の時間的推移

気温と同様に、水蒸気圧も2月から4月にかけて、上昇傾向にあった(図17)。

3.3.5 大気透過率の時間的推移。

大気透過率は、2月下旬頃に一時的に変動が大きくなるが、その他の期間では、2月から4月にかけてほぼ直線的に減少している(図18)。

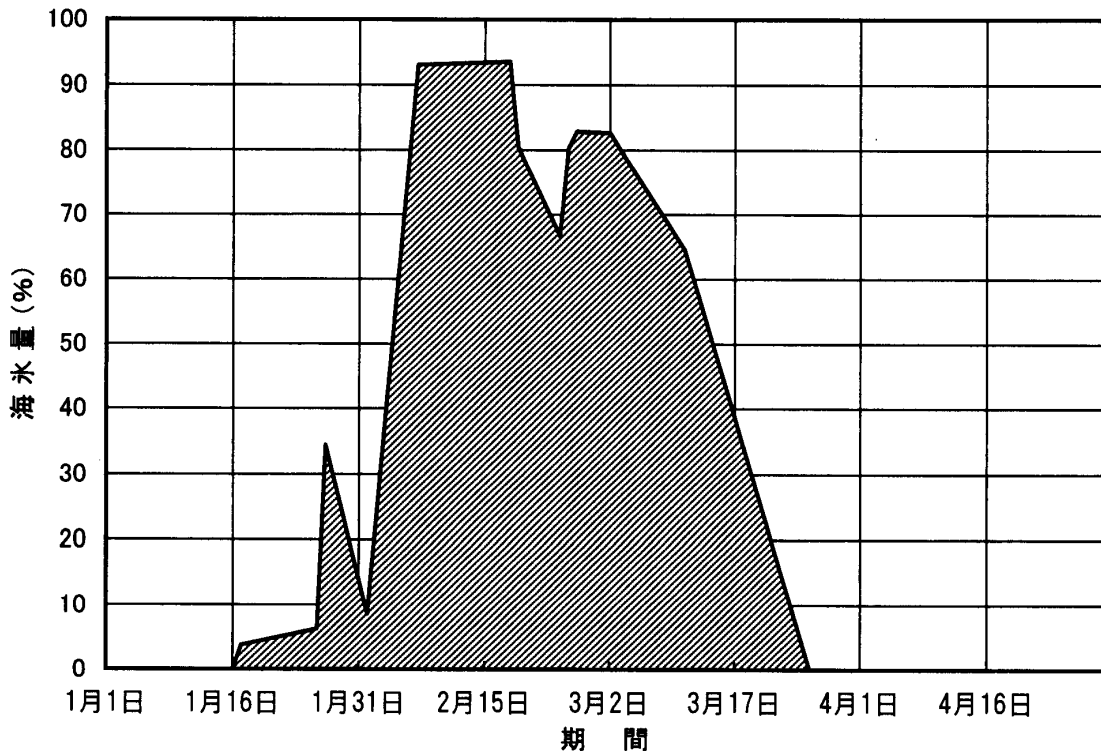


図14 1998年冬期の紋別沿岸における海水量の経日変化
 1998年の1月から4月の期間における曇量1以下の日の海水量
 観測地点から半径20マイル以内の海面上に占める海氷の量を%で示す

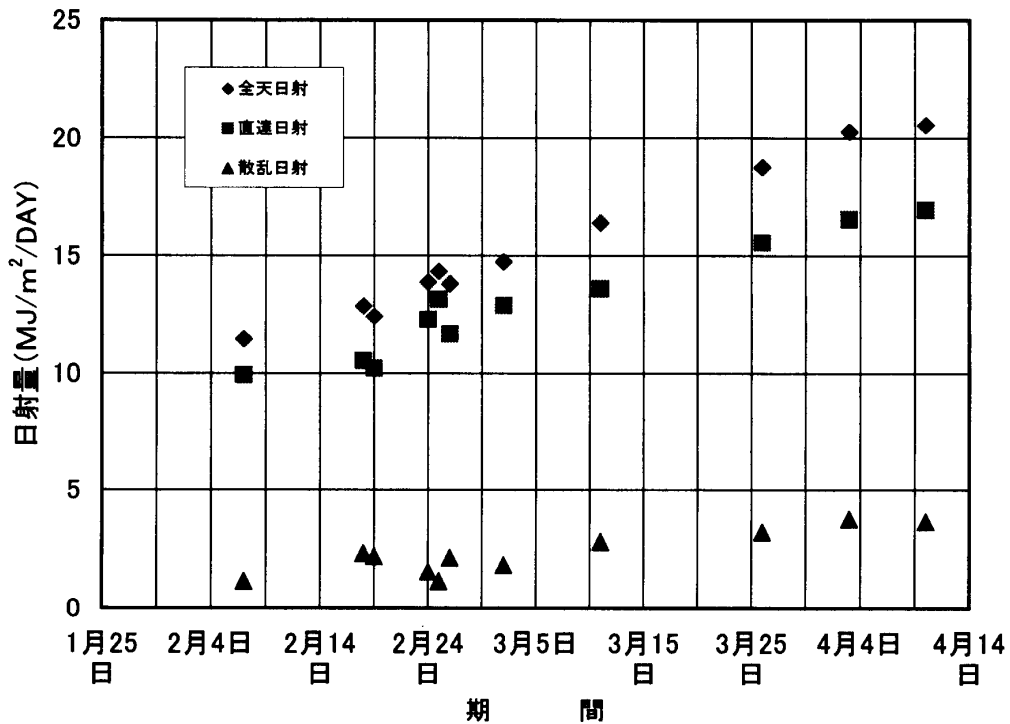


図15 1998年冬期の紋別における1日積算散乱・直達・全天日射量の経日変化
 1998年1月から4月の期間における曇量1以下の日の日射量
 単位: MJ/m²/DAY

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

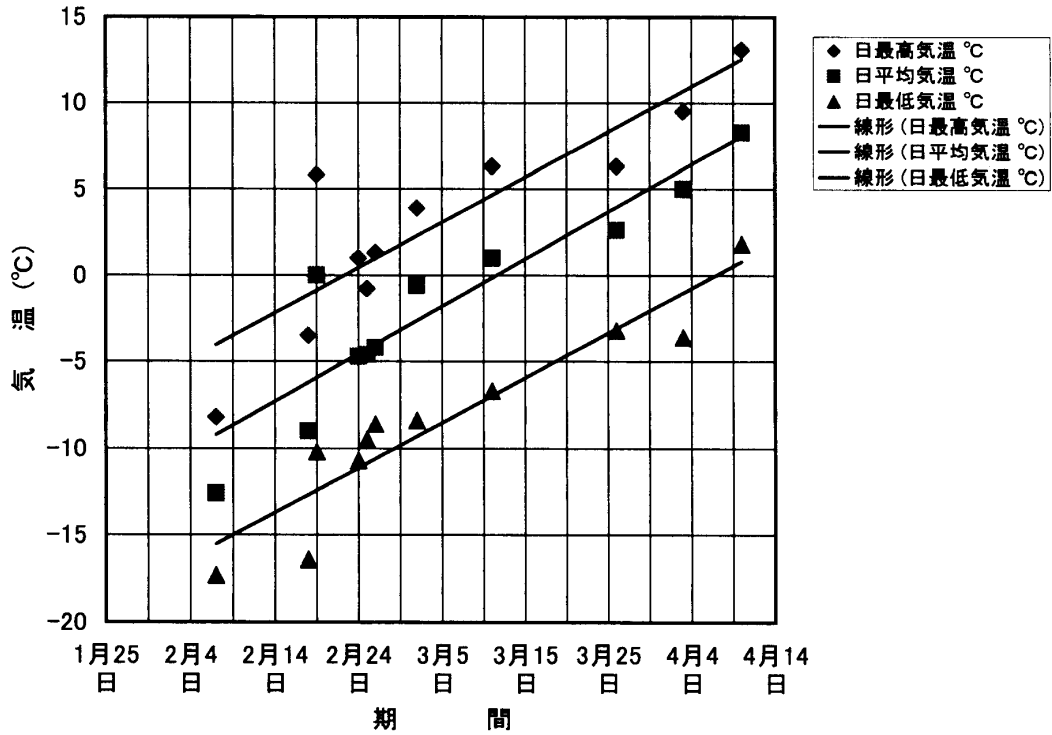


図16 1998年冬期の紋別における日平均・最高・最低気温の経日変化
1998年1月から4月の期間における曇量1以下の日の気温

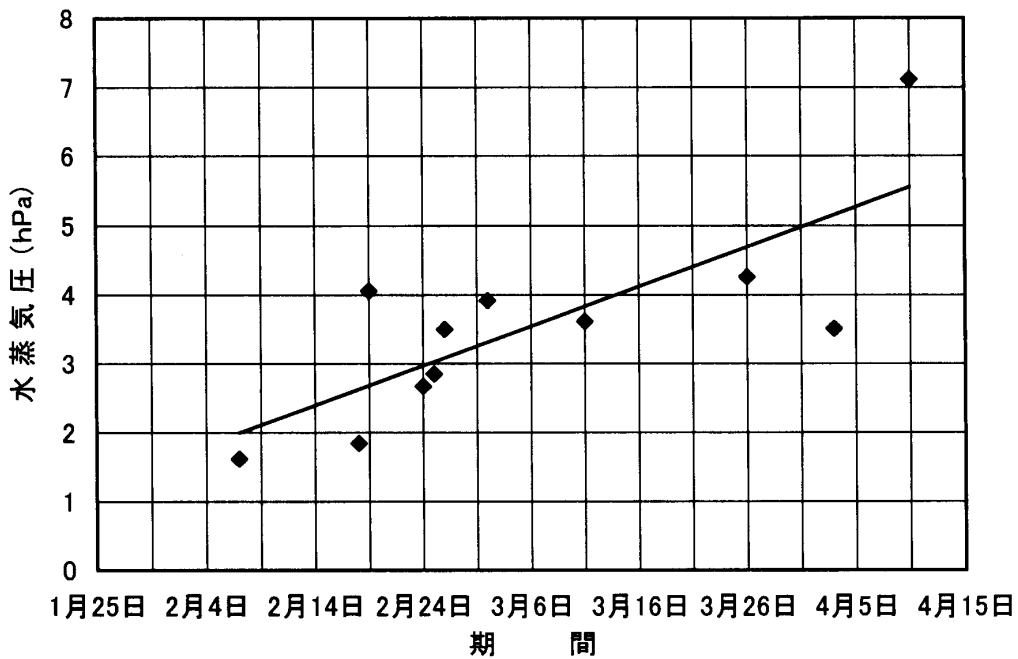


図17 1998年冬期の紋別における水蒸気圧の経日変化
1998年1月から4月の期間における曇量1以下の日の水蒸気圧の9時から15時までの平均値

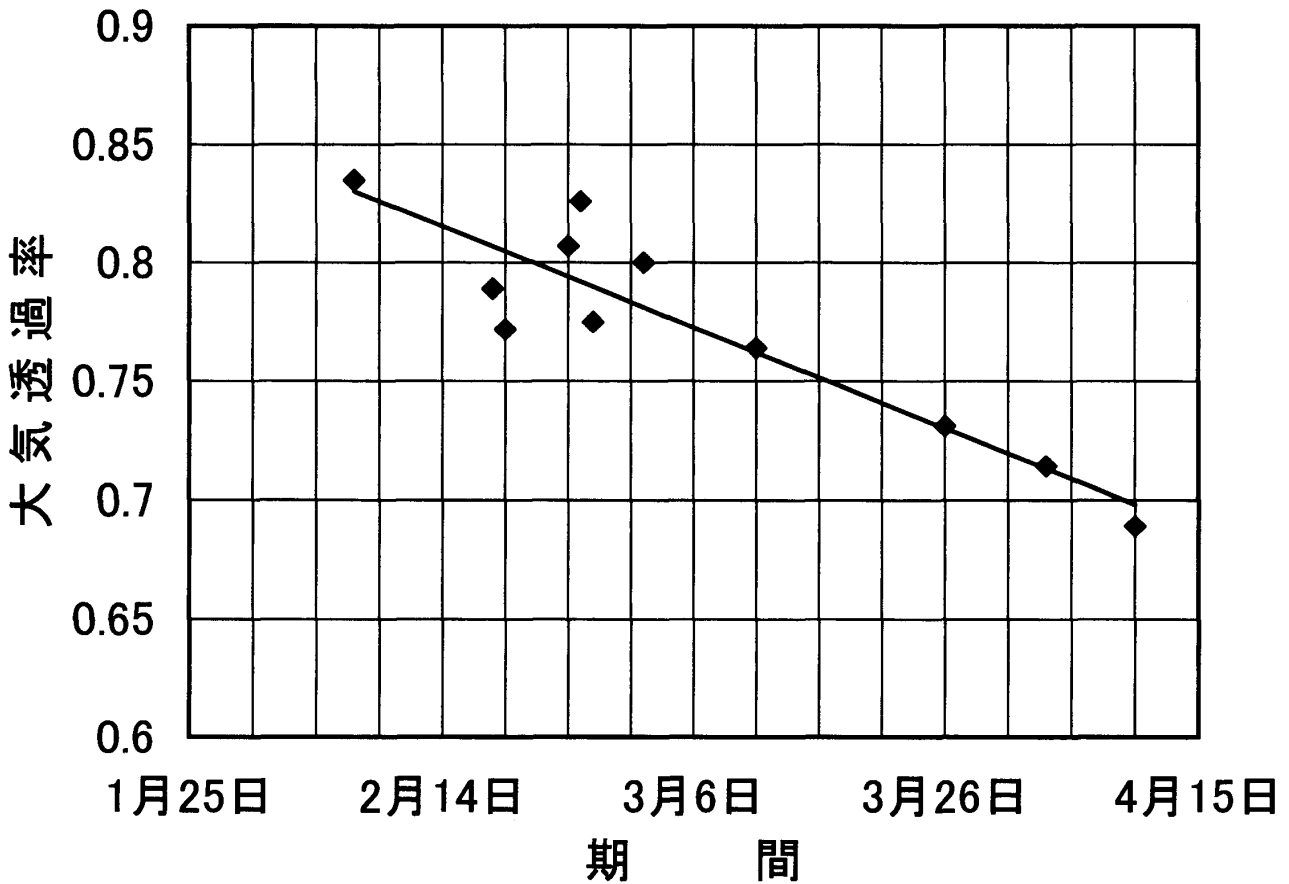


図18 1998年冬期の紋別における大気透過率の経日変化
1998年1月から4月の期間における曇量1以下の日の1日積算直達日射量から算出

3.3.6 日平均気温と水蒸気圧との関係

日平均気温と水蒸気圧とは、非常に高い正相関 ($r = 0.876$) を示す(図19)。

3.3.7 水蒸気圧と大気透過率との関係

大気透過率, P と、水蒸気圧, e とは負の相関 ($r = -0.789$) を示し、その関係は次式で示される(図20)。

$$P = -0.0247 e + 0.8605$$

3.3.8 大気透過率と散乱日射との関係

散乱日射には、1)青天空からの放射、すなわち天空日射、2)水平面に達する雲からの散乱日射(透過および反射日射)、3)障害物からの反射日射等が含まれる。大気透過率の高い場合には、上記の1)、2)による日射が少ないので散乱日射は減少するものと考えられる。

そこで、大気透過率と散乱日射との関係を知るために、図21を作成した。この図から、両者は非常に高い負相関 ($r = -0.972$) を示すことが確認できた。

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

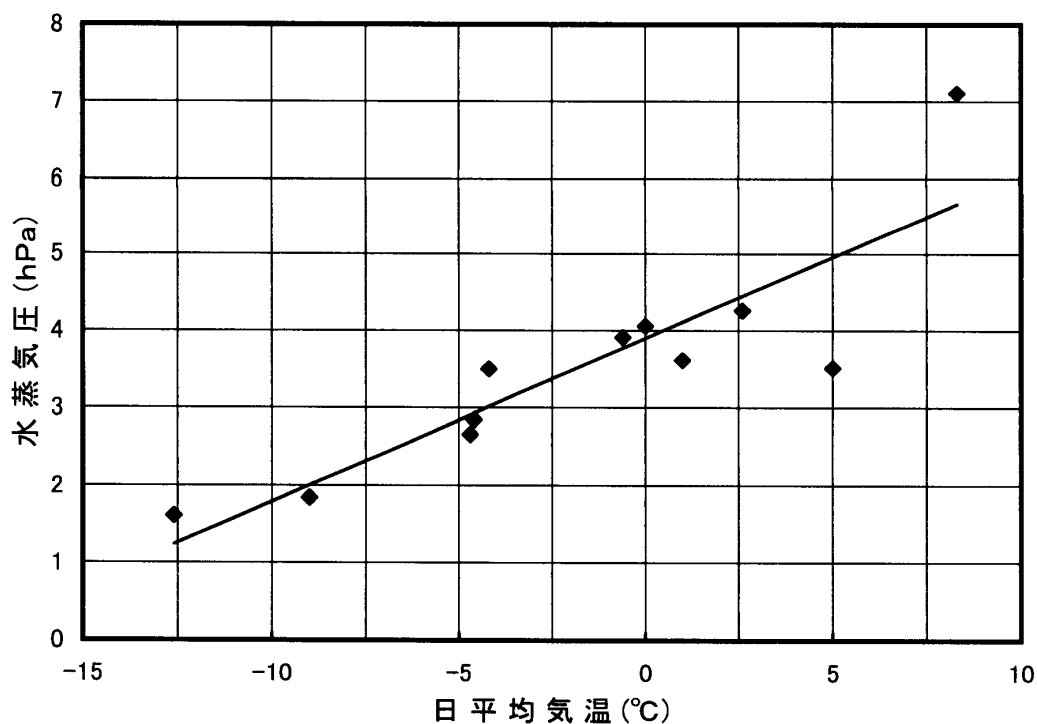


図19 1998年冬期の紋別における日平均気温と水蒸気圧との関係
 日平均気温：図16による 水蒸気圧：図17による

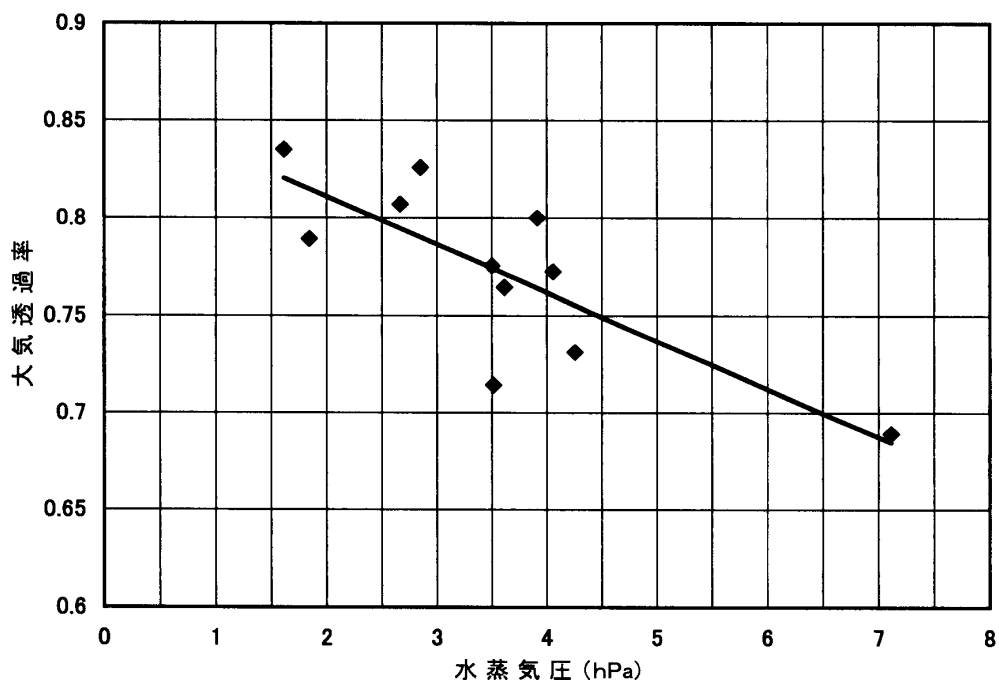


図20 1998年冬期の紋別における水蒸気圧と大気透過率との関係
 水蒸気圧：図17による 大気透過率：図18による

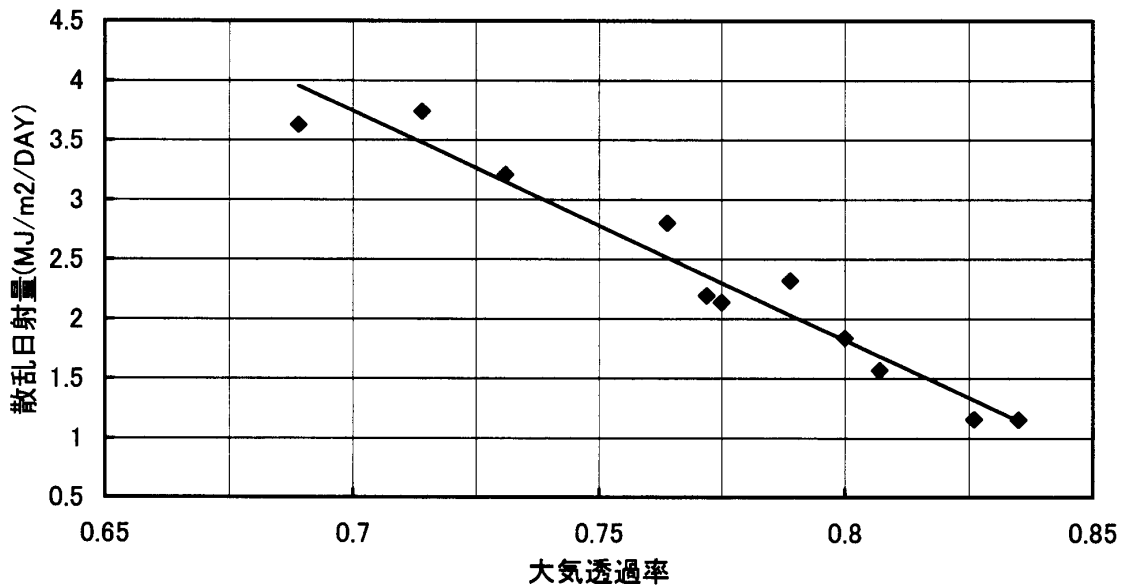


図21 1998年冬期の紋別における散乱日射量と大気透過率との関係
 散乱日射量：図15より 大気透過率：図18による

3.4 考察

3.4.1 3年分(1995年・1997年・1998年)を合成した1月から4月までの期間の大気透過率

海氷が海面を広く覆う2月に気温が低下する。水蒸気圧もほぼ同様の变化傾向を示し、日平均気温と水蒸気圧とは非常に高い正相関 ($r = 0.857$) を示す。さらに、大気透過率と日平均気温および水蒸気圧とはそれぞれ負相関 ($r = -0.877$, $r = -0.738$) を示す。このことは、海面を海氷が覆うことにより気温が下がり、さらにそのことによって水蒸気圧も低下することを意味するものと考えられる。また、水蒸気圧の低下には、海面が海水面から海氷面に变化したことによる蒸発条件の変化も大きく影響しているものと推察される。このようにして、大気中の水蒸気圧が低下したため、2月を中心とした海氷期の大気透過率は上昇したものと考えられる。

3.4.2 海水期間の大気透過率

2月を中心とした海水期間中に限ってみると、日平均気温と水蒸気圧との相関はさらに高まり ($r = 0.908$) 両者間の相互の関係が理解できる。水蒸気圧と大気透過率との関係は、データ数が少なく相関係数は上記期間中よりも低い ($r = -0.618$) が、負の相関が認められる。

3.4.3 1998年の1月から4月までの期間の大気透過率

雲量1以下の日が1月になかったため、海氷の最盛期から減少期にかけての期間が対象になる。この期間の気温も水蒸気圧とともに時間の経過とともに上昇し続け、両者間には高い正相関 ($r = 0.876$) が認められる。この間、大気透過率は減少傾向を示し、水蒸気圧とは負相関 ($r = -0.789$) を示す。

また、大気透過率と散乱日射との間には非常に

北海道オホーツク海沿岸紋別における海水期の大気透過率特性について

高い負相関 ($r = 0.972$) が認められる。

このことから、大気透過率が上昇する条件下では、散乱日射が少ないことが理解される。

3.5 まとめ

北海道オホーツク海沿岸の紋別港において、1993年から2000年までの1月から4月までの期間に、全天日射・直達日射・散乱日射について観測し、海水期の大気透過率の特性について解析した。

その結果得られたおもな知見は、次の通りである。

- 1) 海面を海水が覆うことにより、気温が低下する。
- 2) 気温の低下に伴い、大気中の水蒸気圧が低下する。
- 3) 水蒸気圧の低下により、大気透過率が増加する。
- 4) 大気透過率の増加に伴い、散乱日射は減少する。

謝 辞

海氷データのご提供と有益なご助言を頂いた北大低温科学研究所附属流水研究施設の青田昌秋教授をはじめとする所員の方々、および日射量観測にご協力頂いた紋別漁業協同組合総務部長 片岡靖氏に対し衷心より厚く御礼申し上げます。

本研究の一部には、北海道大学低温科学研究所共同研究費 研究代表者 中村圭三 研究課題「北海道オホーツク海沿岸における海水期の日射特性に関する研究」を使用した。

本稿の概要は、2000年度日本地理学会秋季学術大会において発表した。

参考文献

浅野正二・村井潔三・山内豊太郎(1983)：大気混濁係数の算出法の改良について。気象庁研究時報, 35, 135-144.

柴田和雄・内嶋善兵衛(1987)：『太陽エネルギーの分布と測定』。学会出版センター, 191 p.

三谷雅肆・中村圭三(1987)：紋別における水平面全天日射について。道都大学紀要(教養部), No.6, 1~12.

三谷雅肆・中村圭三(1989)：紋別における水平面全天日射 特に流氷期における全天日射特性について。道都大学紀要(教養部), No.8, 1~10.

山口二郎・森口繁一・一松信(1964)：『電子計算機のための数値計算法 I』。培風館, 239 p.

* 道都大学 教養部

** 北海道大学 低温科学研究所

ABSTRACT

On the Atmospheric Transmittance for Solar Radiation in the Sea Ice Season on the Area of the Sea of Okhotsk, Mombetsu, in Hokkaido

Keizo NAKAMURA, Masashi MITANI*, Nobuyoshi ISHIKAWA**
and Harumitsu TAKAYAMA

On a site of Mombetsu harbor in the coastal area of the Sea of Okhotsk in Hokkaido, the total solar radiation and its components, that is, the direct solar radiation and diffused sky radiation, were observed in the winter seasons, January to April, from 1993 to 2000. Base upon the observation, the characteristic of the atmospheric transmittance for solar radiation in the sea ice season is investigated. Some knowledge obtained from this investigation is summarized as follows.

- 1) Sea surface covering with the sea ice causes the lowering of the air temperature.
- 2) With the lowering of the air temperature the humidity of the atmosphere also lowers.
- 3) The lowering of the humidity of the atmosphere results in increase of the atmospheric transmittance for the solar radiation.
- 4) With the increase in the atmospheric transmittance the diffused sky radiation decrease outstandingly.

* Dohto University

** Hokkaido University