

II-45

寒候季における河川周辺の微気象

北海道大学工学部 正 員 藤田 睦博
北海道大学工学部 正 員 長谷川 和義
北海道大学大学院 学生員 魚本 康弘
秋田工業高等専門学校 正 員 榎 国夫

1. はじめに

近年、河川が周辺大気に及ぼす影響が注目され研究が行われるようになってきた。それらは主に暖候季に顕著に現れる冷却効果に関するものである。一方、寒候季においては気温より河川の水温の方が高くなるので、むしろ温暖効果が予想される。北海道という地理的条件を考慮するとこの効果に着目する必要がある。しかし、多くの観測例は暖候季のものであり、寒候季のものは少なくその影響度についても知られるところが少ない。本研究では、この現象を単純化した気象方程式によって解析するとともに、実河川における観測の結果を示し、その特徴を述べるものである。

2. モデルによるシミュレーション

基礎方程式として、以下のようなブシネスク近似による流れ方程式、渦度拡散式、温度拡散式を用いる。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -\zeta \tag{1}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial z} = \alpha g \frac{\partial T'}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z^2} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial T'}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial T'}{\partial z} = \Gamma \frac{\partial \psi}{\partial x} + \kappa \left(\frac{\partial^2 T'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} \right) \tag{3}$$

ここで、 ψ = 流関数、 ζ = 渦度、 T' = 基本場の温位からの差、 α = 体膨張係数、 g = 重力加速度、 Γ = 基本場の温位減率、 ν = 渦動粘性係数、 κ = 温度伝導率、である。これを差分化し、図1、表1に示すような河道を含む鉛直断面を想定した計算領域、境界条件ではば定常に達するまで計算を行った。ここで計算領域下面の河川部分の温位差を $\Delta T'$ 、上面の流関数を ψ_1 として、ケース1、3が暖候季、ケース2、4が寒候季で、またケース1、2が左側境界からの風がない場合、ケース3、4がある場合を想定している。

	$\Delta T'$ (°C)	ψ_1 (m ² /sec)
ケース1	-5.0	0.0
ケース2	5.0	0.0
ケース3	-5.0	150.0
ケース4	5.0	150.0

表1 計算条件

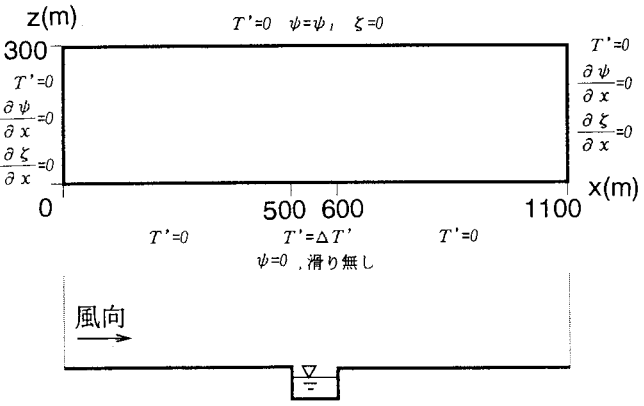


図1 設定モデル

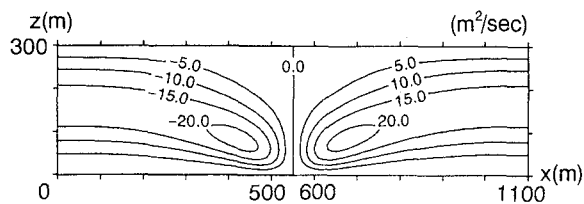


図2 流関数分布 (ケース1)

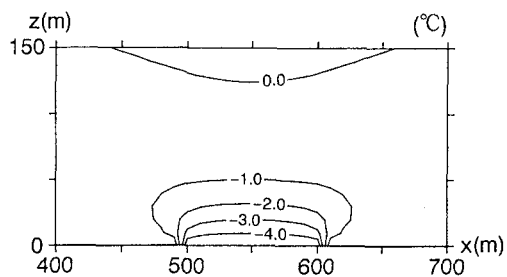


図6 温位差分布 (ケース1)

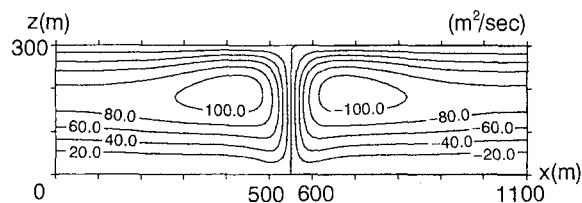


図3 流関数分布 (ケース2)

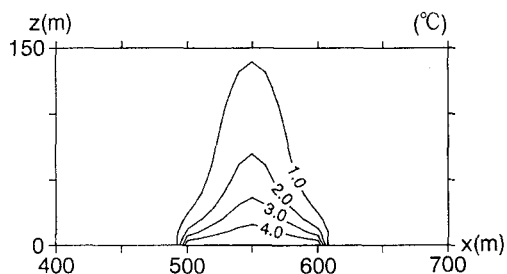


図7 温位差分布 (ケース2)

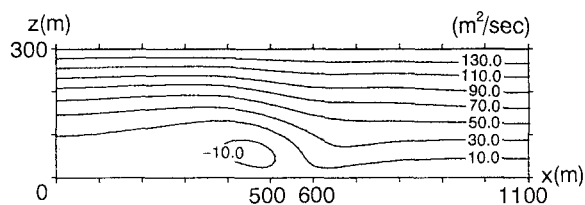


図4 流関数分布 (ケース3)

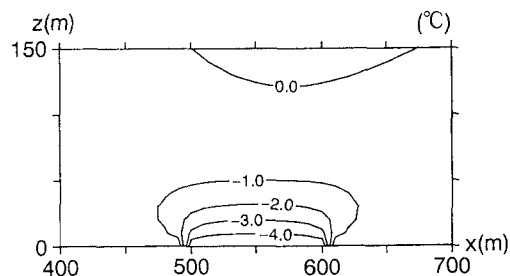


図8 温位差分布 (ケース3)

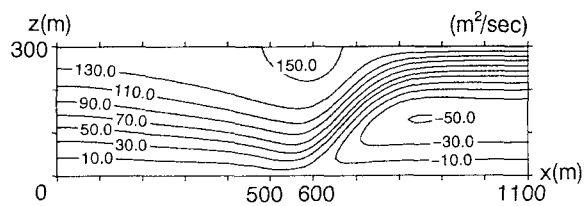


図5 流関数分布 (ケース4)

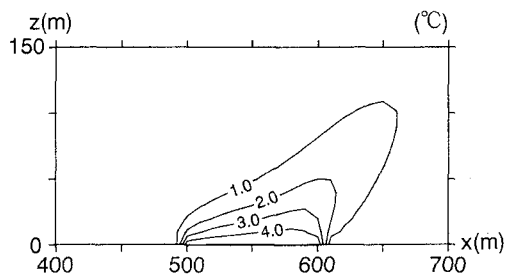


図9 温位差分布 (ケース4)

パラメーターの値は、 $\alpha = 3.66 \times 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$ 、 $g = 9.8 \text{ (m/sec}^2\text{)}$ 、 $\Gamma = 4.0 \times 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{C/m)}$ 、 $\nu = \kappa = 10.0 \text{ (m}^2\text{/sec)}$ とした。

ケース1～4の流関数、温位差の分布を図2～9に示す。但し温位差の分布は $x = 400 \sim 700$ 、 $z = 0 \sim 150$ の範囲のみを示す。まずケース1の流関数(図2)、温位差(図6)の分布をみると、図2では河川の上で大気は冷やされ下降し、周辺へと流れているのがわかる。これにより河川上の冷却された大気は周辺へ流れて冷却効果が表れ、図6のような温位差の分布を示す。次にケース2の流関数(図3)、温位差(図7)の分布をみると、図3では今度は河川の上で大気は上昇し、その補償流として周辺から河川上へと吹き込んでいる。また流関数の絶対値は、周辺との温位差の絶対値が等しいにもかかわらず、図2に比較して図3の方が5倍程度全体的に大きくなっていて流れがより速く、また対流セルの中心も図3の方が高くなっている。これは図6、7をみると、河川上に下降してくる場合(ケース1)より周囲から吹き込んでくる場合(ケース2)の方が河川上に入ってくる大気の温位差と河川境界の温位差との差は大きく、従ってより大きな熱量の交換が行われているためと考えられる。図7の分布では上昇流の為図6に比較して鉛直方向に影響範囲が広がっていて、また逆に水平方向では狭くなっている。次にケース3の流関数(図4)、温位差(図8)、ケース4の流関数(図5)、温位差(図9)の分布をみると、風の影響で図4では下流側、図5では上流側の対流セルが消えている。また図8では風による移流の効果はあまり表れないが、図9では温位差の分布が下流側に広がっている。

3. 河道内の観測

実際に寒候季に河川がどのような影響を持つのかを調べるため、橋を利用して河道内で風速、気温、相対湿度の測定を行った。観測地点は札幌市内を流れる豊平川の南22条大橋で、1992年11月28日の昼間(9時～16時)と12月10日の夜間(1時～7時)に行った。図10に示してあるA～Eの5地点で地(水)面からの高さ0.5・1.0・2.0・4.0・6.0(m)の5点、全25点をロープの先に取り付けた測定装置を橋から降ろし移動させる。これを1時間毎に行い、観測点1点につきサンプリング周期0.25秒で15秒間データを取り込みその平均をその点の値とした。また同時に川岸の水温とA、B点の地温も測定した。天候は11月28日昼間が曇り時々雪、12月10日夜間がやや曇りであった。

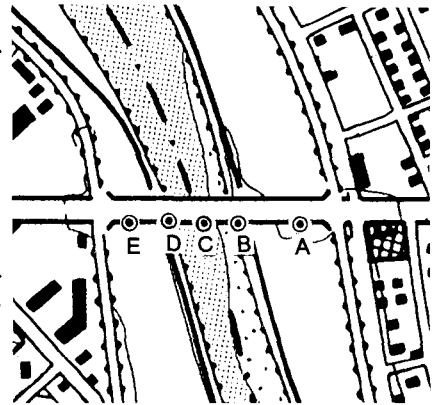


図10 観測地点

以下の観測結果では、大気に含まれる水分量を表すための指標

として相対湿度の代わりに水蒸気圧を扱う。気温 $T \text{ (}^\circ\text{C)}$ 、相対湿度 $H \text{ (\%)}$ 、飽和水蒸気圧 $E \text{ (mmHg)}$ とすると、求める水蒸気圧 $e \text{ (mmHg)}$ は

$$e = E \times H / 100 \quad (4)$$

今回は E を与える式として、次のようなAntoniioneの式を用いた。

$$E = \exp [18.6686 - 4030.183 / (235 + T)] \quad (5)$$

上の(4)、(5)式によりその地点の気温、相対湿度から水蒸気圧を計算した。

まず測定時の各気象要素の時間変化を見るために、高度毎にA～E5地点の測定値を平均した気温、水温、地温、水蒸気圧、風速の時間変化を図11～18に示す。図11、12、13、14の気温、水温、地温変化は、昼間は水温が13時、気温が14時頃まで上昇しその後一定になるのに対し、地温はほぼ一定である。一方、夜間は気温、水温、地温共に変化は小さかった。昼間、夜間共に水温は気温、地温より高くなっていた。図15、16の水蒸気圧変化は、昼間は上昇を続けるのに対し、夜間はこれもほぼ一定である。図17、18の風速変化は、昼間は時間毎に変動が大きく、大気が乱れている様子を示すが、夜間は安定している。

次に夜間の場合は1時～7時、昼間の場合は気温がほぼ一定となった14時～16時のデータを平均した各地点

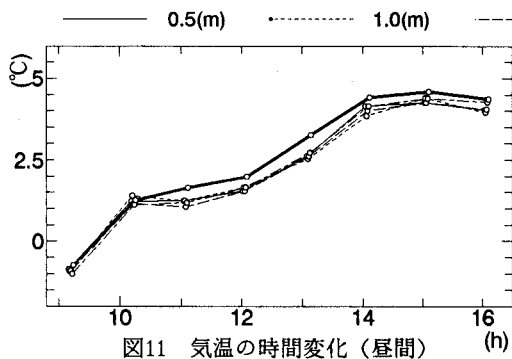


図11 気温の時間変化 (昼間)

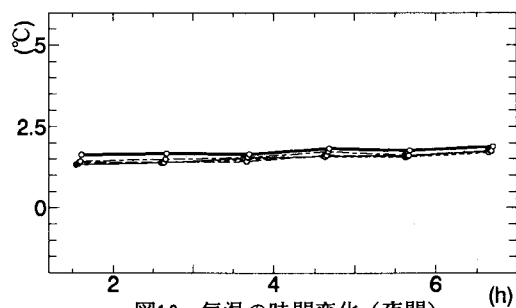


図12 気温の時間変化 (夜間)

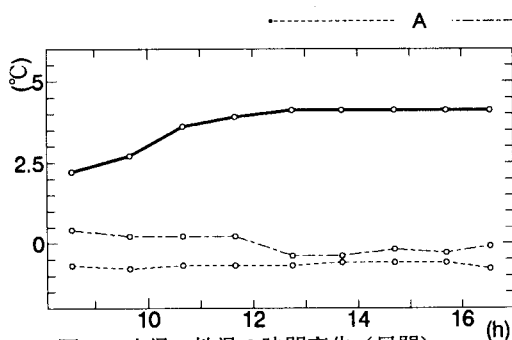


図13 水温、地温の時間変化 (昼間)

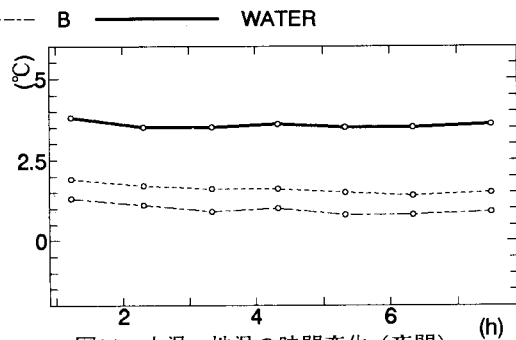


図14 水温、地温の時間変化 (夜間)

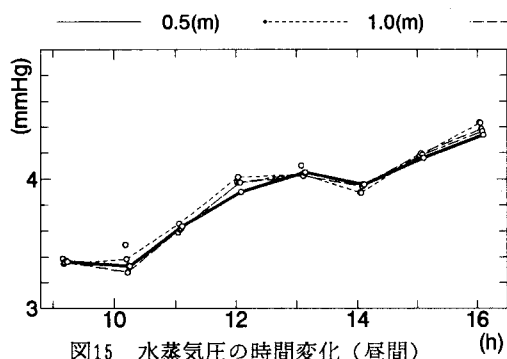


図15 水蒸気圧の時間変化 (昼間)

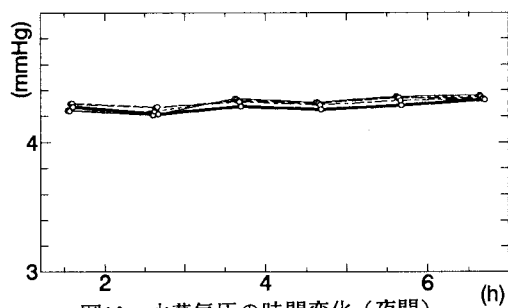


図16 水蒸気圧の時間変化 (夜間)

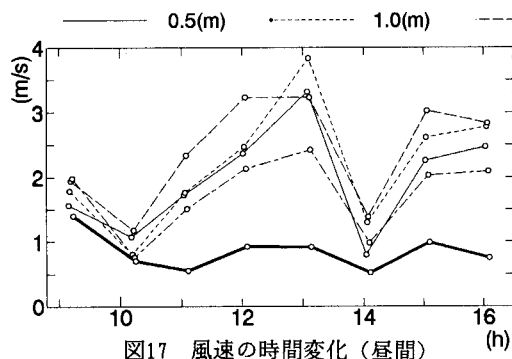


図17 風速の時間変化 (昼間)

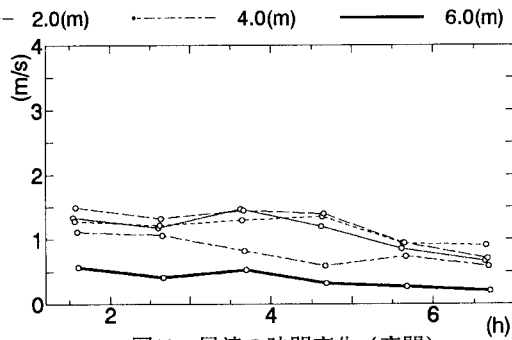


図18 風速の時間変化 (夜間)

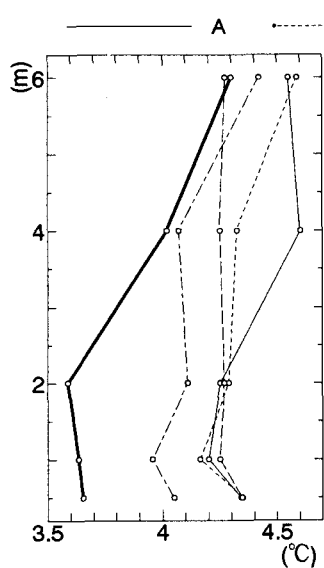


図19 気温の鉛直分布 (昼間)

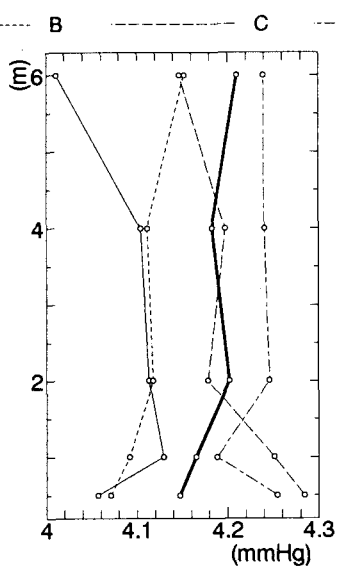


図20 水蒸気圧の鉛直分布 (昼間)

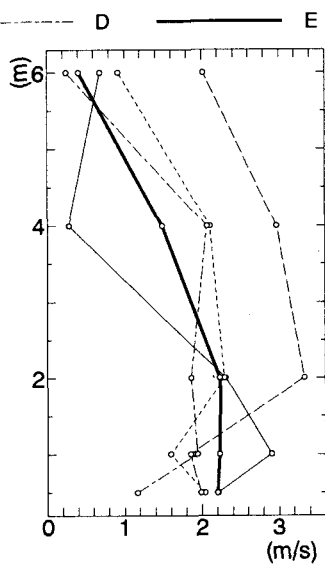


図21 風速の鉛直分布 (昼間)

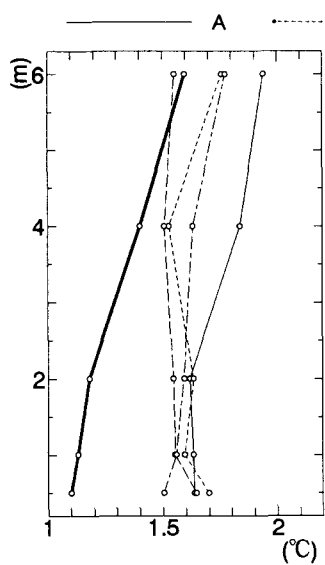


図22 気温の鉛直分布 (夜間)

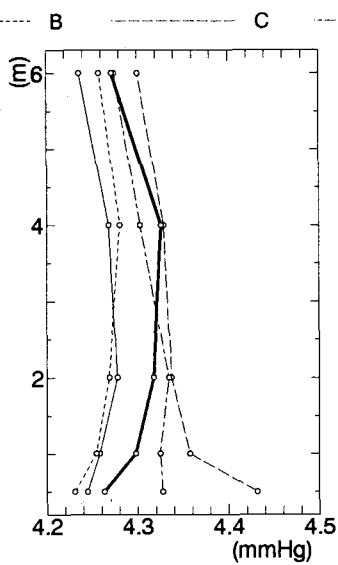


図23 水蒸気圧の鉛直分布 (夜間)

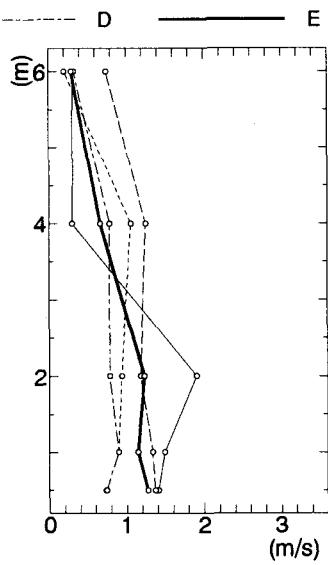


図24 風速の鉛直分布 (夜間)

毎の気温、水蒸気圧、風速の鉛直分布を図19～24に示す。図19、22の気温分布は、昼間、夜間共に河川から遠いA、E点では地表に近づくにつれて値が小さくなっているが、河川に近いB、C、D点では分布はほぼ一様になっていて、河川水面が周辺に比べて相対的に温暖効果をもつ事がわかる。図20、23の水蒸気圧分布も昼間はC、D点、夜間はC点が水面に近づくにつれて値が大きくなっていて、水分の供給源としての効果もあるようである。図21、24の風速分布はまず全体的に高くなるにつれて減少しているが、これは観測地点の橋の影響によるものと思われる。地表付近以外ではC点の値が他より大きく、地形の効果が表れている。

4. まとめ

以上、シュミレーションと観測から寒候季に河川がもつ微気象効果について調べて、それぞれ次のような結果を得た。

1. シュミレーションによると、寒候季の場合は河川とその周囲との温度差で起こる対流により河川の影響範囲が水平方向に狭く、鉛直方向に広がり、一方暖候季の場合は逆になる。また周囲との温度差が同じ条件では寒候季の方が強い対流セルが生成される。

2. 実際の河川では、寒候季において昼間、夜間共に気温より水温の方が高く、それにより気温の鉛直分布に変化が表れていた。また水蒸気圧も水面付近がやや高かった。しかし水平方向にみると河川の影響は特に気温に関しては確認できず、周辺市街地等の別の影響が強いと考えられる。

今後の課題としては、シュミレーション結果に大きな影響を与える渦動粘性係数と渦温度伝導率の値の正確化である。これらは一般的には気温や風速等様々な条件で変化する値であり、よくわかっていないのが現状である。実際の現象を定量的に再現するにはこの点を解決する事が不可欠である。また今回の観測データは例年よりやや暖かい日のものであり、寒候季のデータとして評価するには十分ではない。今後気温がより下がる時期での観測を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 村上三郎ほか3名：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第393号，pp. 25-34，1988
- 2) 菊池立：河川周辺の気温分布，東北地理，26-1，pp. 22-28，1974
- 3) 木村竜治：地球流体力学入門，東京堂出版
- 4) 水野明哲：流れの数値解析入門，朝倉書店