

都市河川感潮域における水熱エネルギー利用が 河川水温に与える影響に関する研究

THE INFLUENCE OF WATER HEAT ENERGY USE ON STREAM
TEMPERATURE IN URBAN RIVERS UNDER TIDAL VARIATION

木内 豪¹, 河原能久², 末次忠司³, 小林裕明⁴

Tsuyoshi KINOCHI, Yoshihisa KAWAHARA, Tadashi SUETSUGI and Hiroaki KOBAYASHI

¹正会員 工修 建設省土木研究所河川部都市河川研究室主任研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭一番地)
²正会員 工博 建設省土木研究所河川部都市河川研究室主任研究員 (同 上)
³正会員 博(工) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室室長 (同 上)
⁴正会員 建設省土木研究所企画部企画課企画係長 (同 上)

To predict the water temperature in lower reaches of urban rivers, field measurements and model development were performed for simultaneous transport of water and heat in a stream. Detailed information on river flow and heat transport under tidal motion was obtained through an intensive measurement in the lower reach of the Ara River. Based on the knowledge of time variations and cross-sectional profiles of the flow and the stream temperature, a one-dimensional dynamic model is developed to predict flow and water temperature in tidally affected urban streams. The model takes into account of tidal motion, longitudinal dispersion, water exchange with tributaries, wastewater effluent and the heat exchange between the atmosphere and the stream water. Using the calibrated model, effects of heated water discharge on the stream temperatures due to the district heating and cooling system were estimated for a possible scenario in which the river thermal energy is used through the water heat pump technology.

Key words: Stream temperature, tidal variation, urban river, heat energy, district heating and cooling system, field measurement, one-dimensional modeling

1. 序論

本研究は土木研究所が現在実施している重点プロジェクト「都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究」の一環として行ったものである。このプロジェクトは、悪化する都市気候を改善するための各種方策の効果を検討し、快適な生活空間を確保するとともに、エネルギー消費抑制と地球温暖化現象の原因物質の一つである二酸化炭素の排出抑制を図ることをねらいとする。

各種方策のひとつとして河川の水熱エネルギー利用による化石燃料消費量の削減があげられる。すでに河川の水熱エネルギー利用に関する指針¹⁾が出され、河川沿いの再開発に伴って河川の水熱エネルギーを冷暖房や給湯に利用する事例もいくつかあるが、その数は限られる。水熱エネルギー利用の普及が進まない原因としては、設置コストや適地の問題とともに、適切な効果の算定と排熱の影響把握が行われていないことにも原因があると考えられる。そこで本研究では、沿岸部に位置する大都市における水熱エネルギー利用の影響評価を行うため、我が国最大の都市、東京を流れる荒川を対象に検討を行った。この検討では流量と水温が最も重要な物理項目であ

る。水温変化は魚類の生息領域を脅かすばかりでなく、微生物による分解の反応速度を変えることから、水質変化予測や河川生態系評価にとっても重要な要素である。しかしながら、荒川のような感潮河川における流れや水温の実態、水温変化の要因は必ずしも詳細に把握されていない。また、感潮河川における水熱エネルギーの使用に伴う流れ、水温への影響予測に関する研究報告も数少ない²⁾。そこで、まず荒川にて短期間の現地観測を実施して流れと水温等の実態を把握した上で、現地観測の結果から得られた知見等をもとに1次元水温予測モデルを構築し、水温の定期観測データとの比較を行い、本モデルの信頼性を検証するとともに、都市域感潮河川における熱収支の実態を推定した。最後に、地域冷暖房システムの導入可能性と将来熱需要予測に基づくシナリオを与えて、水熱エネルギー利用に伴う水温変化を計算し、水熱エネルギー利用による河川水温への影響予測を行った。

2. 感潮河川の流量・水温の実態調査

(1) 対象河川と計測手法

今回の検討対象とした荒川本川における実態調査区間

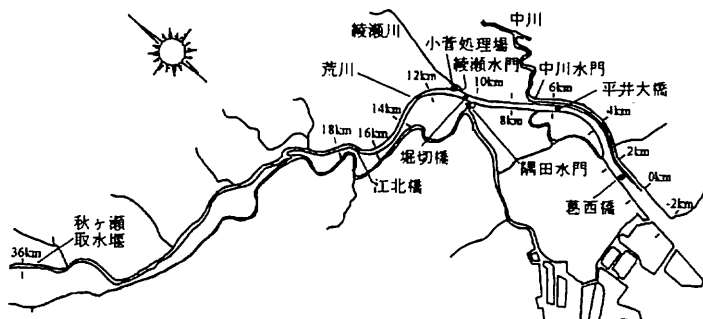


図-1 検討対象区間の平面図（荒川下流部）

は、新荒川大橋より下流およそ 15km の区間である(図-1)。この区間の横断面測量データに基づき算出される河床勾配は、観測区間下流部で 1/6000 程度と非常に緩い。

荒川の現地調査は 1998 年 9 月 18 日～21 日にかけて行った。調査項目は荒川の水力、分合流の水力、気象に関するものに大別される。荒川本川では、ボート 2 隻を用いて 6 横断面 (5.5km (平井大橋下流), 9.25km, 11.5km (小菅処理場付近), 13.5km (西新井水位観測所上流), 16.5km (江北橋下流), 18.5km (鹿浜橋下流)) における流速、水温、塩分濃度、電気伝導度の計測を 19 日と 20 日に実施した。流速分布は ADCP (RD Instrument 社製 1200kHz 及び 2400kHz) を用いた横断面内移動測定により層厚 25cm の解像度で把握した。計測はある時刻で 1カ所あたり 2 回行った。ADCP はボートの後部に 1 台設置し、横断方向に一定速度でボートを移動させる間にデータのサンプリングを行った。水温等は横断面内の数箇所停泊して測定機器 (アレック社製のアレック・メモリ-STD) を投下し、着床するまでの間、水面下 50cm から 50cm 間隔でデータを収集した。水表面温度もとらえるため、表層水に差込んだ白金温度計からの信号をデータロガーに記録した。9.25km と 16.5km 地点では河川の中央のみで水温の鉛直分布を測定した。

気象計測は、約 11.5km 地点 (小菅処理場近く) の高水敷上水際近傍にて実施した。計測項目は全天日射量、長波放射量、10m まで 4 高度における気温、湿度、風速、風向等である。また、西新井水位観測所地点でも気温、湿度、風速、日射量の測定を行った。計測データは 1 分間隔でデータロガーに記録させた。

分合流に関しては、隅田川、綾瀬川、中川及び木下川と荒川本川との間で水門等を介して流れが行き来している。この絶対量は従来よく把握されていないことから、今回の調査では隅田川 (隅田水門)、中川 (中川水門)、綾瀬川 (綾瀬水門)、木下川 (木下川水門) からの流入・流出流速、水温、水質を測定した。流速は水門内の流路区間 10～30m を利用して浮子による表面流速測定により求めた。水温は表層水をバケツにより採水し、棒温度計により測定した。

計測とは別に荒川下流工事事務所による定期観測デー

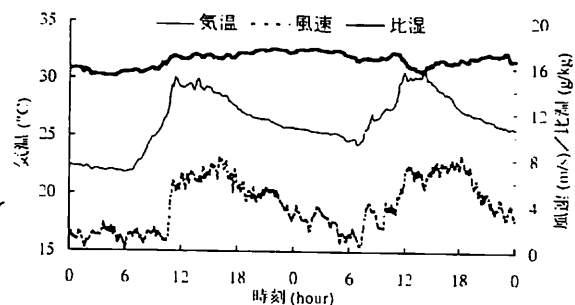


図-2 現地調査時の気象状況

タ (荒川本川の水位、水温データ、荒川の河道横断面データ、事務所屋上での気温、湿度、風速、風向、気圧データ)、東京都下水道局による小菅処理場からの放流量、放流水温データ等入手した。水温データは葛西橋、平井大橋、堀切橋、江北橋、新荒川大橋地点それぞれにおいて、深さの異なる 3カ所測定されている。

(2) 気象状況

観測船を用いた詳細観測を行った 9/19～20 のうち、19 日の午前中は霧のかかった状態だったが、それ以外はほぼ快晴であった。観測当日の気温、湿度、風速データを図-2 に示す。これらの値は高水敷上高度約 7m (小菅地点) において測定されたものである。19 日の午前 11 時頃からは河川上を海風が吹き始め、最大で 8m/s 以上に達した後、夕方から翌朝にかけては徐々に減衰していく傾向を示した。20 日には再び海風が発現し、19 日と同様の傾向をたどった。気温は日中最高 30 度以上を記録するほどの残暑であった一方、水温は図-5 に示すように 20～24 度程度と低かった。両日とも雲が少なく、日射量は最大 800W/m² 程度に達した。

(3) 流れと水温の特徴

観測期間は洪水の逡減期にあたり、観測区間の上流側にあたる水資源公団秋ヶ瀬管理所の秋ヶ瀬取水堰下流放流量データによると、観測初日の 0:00 には約 220m³/s あった流量が徐々に減少し、観測終了日の 9 月 20 日 24:00 には約 120m³/s であった。

ADCP と STD の計測データを用いて描いた横断面の流速と水温分布の例を図-3, 4 に示す。満潮時、5.5km 地点の左岸表層近傍で最も流れが速く、左岸表層部の水温がそれぞれ横断面中央部の水温よりも約 1.4°C 高くなっている。葛西橋の水温変化 (図-5) を見てみると、この 2 つの時間帯に河口部の暖かい水塊が上流に移動してきていることが推定されることから、この水塊の影響が流れの速い左岸側に顕著に現れたものと考えられる。

各断面の水温分布には表層で水温が高く、下層に行くに従って水温が低下するという一般的傾向が見られたが、これに加えて、11.5km 地点や 18.5km 地点の計測結果からは、水深の浅い河岸に近づくに連れて水温が高くなる

特徴も見られた。11.5km 地点では右岸寄りに水温の最も低くなる部分がある。これは、この地点では左岸から小菅処理場の下水処理水が流入してきていることと何らかの関係があるのではないかと推察されるものの、これより少し上流の13.5kmで9/20 10:00頃（順流時）に測定した結果にも同様の傾向が出ていることを

考えると、横断面内の流速分布によって引き起こされた可能性もある。横断面内の流速分布に関するより詳細なデータは文献3)に掲載してある。

図-5 に示した堀切橋地点における水温の自動観測結果は、分合流や潮汐など様々な影響を受けた結果であるが、両日の気温のピーク時にはわずかながら水温も極大値を示す傾向が見られた。

(4) 分合流と下水処理水

分合流水路における表面流速から、流れの対数流速分布を仮定して算出される流量の絶対量は、最大で中川水門の $7\text{m}^3/\text{s}$ であり、下水処理水の流入よりもはるかに大きな量の水塊が流出入を繰り返していることになる。潮汐流の特性を勘案すると、水質、水温の形成にとって分合流が非常に重要なものとみられる。また、水温は荒川から流出する時には低く、荒川へ流入するときには高い傾向が見られる。これは、合流河川の規模が小さいことと、綾瀬水門、中川については処理水の一部が流入することに起因していると考えられる。

荒川には小菅下水処理場から直接荒川に排水される分と綾瀬川に排水される分の処理水が流入する。このうち、荒川へ直接放流される流量（時間平均）は観測期間中、最大で $1.53\text{m}^3/\text{s}$ と少ない。しかし、本川の正味流量が少ないほど、放流口付近に長時間滞留することとなるため、河川水温予測でも一概に無視できない状況もあり得る。水温は1日1回、採水に基づく計測を行っているが、観測当日は計測を行っていなかった。下水処理場からの放流水温の日変動は少ないことから、後述の数値計算では前後の日における水温データ（9/18 午前10時 25.6°C 、9/21 午前10時 25.8°C ）から推定される値を用いた。

3. 河川水温の予測モデル

都市内を流れる感潮河川における水温形成には、小河

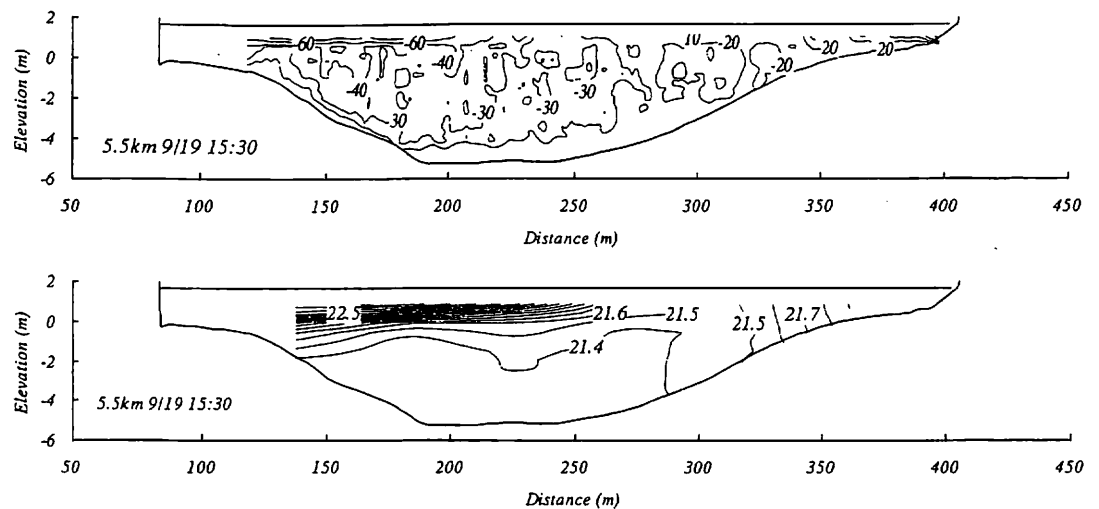


図-3 河口から5.5km地点（平井大橋付近）における流速（上）と水温（下）の横断面内分布

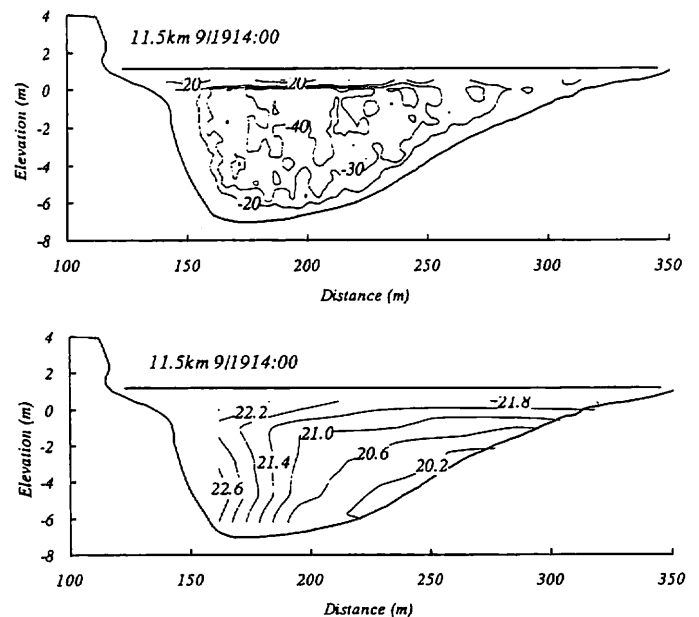


図-4 流速（上）と水温（下）の横断面内分布（河口から11.5km地点）

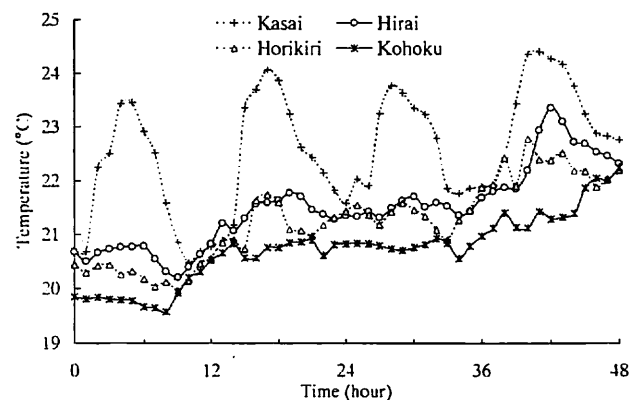


図-5 水温の時間変動（計測値）

川の分合流、下水処理水の流入、密度流の発生、放射、大気との熱交換などの要因が複雑に関連している。本来ならば、これらのすべてを考慮したモデリングが必要で

あるが、今回の観測時は強混合状態であったことから、密度流の取り扱いは無視し、河川の流れ、水温ともに鉛直方向に平均化した流下方向1次元モデルを採用した。流れの基礎方程式は式(1)(2)で表される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o + S_f \right) + L = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (2)$$

ここで、 Q ：流量、 h ：水深、 A ：流水断面積、 t ：時間、 x ：流下距離、 g ：重力加速度、 S_o ：河床勾配、 S_f ：摩擦勾配(= $n^2 Q |Q| A^{-3}$)、 L ：運動量のもち出し(= qQA)、 B ：水面幅、 n ：粗度係数、 R ：径深、 q ：単位長さ当りの横流入量である。

運動量補正係数 β の値は横断面における流速分布の計測データを用いて算出した。 β の値は断面平均流速が小さくなるほど大きくなる傾向が見られたものの、後述の計算では、 β の推定精度や計算結果に及ぼす感度を勘案し、一定値 $\beta=1.1$ を与えた。

熱輸送は移流拡散方程式を用いて次のように表す。

$$\frac{\partial(AT)}{\partial t} + \frac{\partial(\eta QT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{RB}{\rho C_p} + qT_0 \quad (3)$$

ここで、 η ：断面補正係数(= $\int \int v dA / VA T$)、 T ：断面平均水温、 D_L ：縦分散係数、 R ：熱収支残差、 ρC_p ：水の熱容量、 $\rho=10 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、 T_0 ：基準温度、 v 、 τ ：横断面内任意の地点における流下方向流速と水温である。横断面内の温度分布は、観測結果によると上下流における横流入の有無や干満の状態によって影響を受けるため、相似的温度分布を与えることは難しい。一方、 η の値が温度の計算結果に与える影響を検討したところ、 $\eta=1.1$ と仮定したときの水温計算値と $\eta=1.0$ の計算値とは最大で 0.1°C の差であった。そこで、本計算では $\eta=1$ と仮定し、式(2)(3)から導かれる式(4)を適用した。また、熱収支項は式(5)のように表される。

$$A \frac{\partial T}{\partial t} + Q \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{RB}{\rho C_p} + q(T_0 - T) \quad (4)$$

$$R_{net} = L \downarrow - \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \alpha) S \downarrow - H - lE - G \quad (5)$$

ここに、 R_{net} ：水表面上の正味放射量、 H 、 E ：水面から大気へ向かう顕熱と潜熱の輸送量、 G ：河床から地中への熱伝導量、 $L \downarrow$ ：下向きの長波放射、 T_s ：水表面温度、 α ：水表面のアルベド、 ϵ ：放射率、 σ ：ステファン-ボルツマン定数、 $S \downarrow$ ：全日射量である。水表面温度は断面平均水温 T に等しいと仮定した。河床の熱伝導量 G は対象河川の水深が大きいことから無視した。また、河川沿いの植生や構造物による日射の遮断もほとんどないことから無視した。

水表面からの顕熱、潜熱輸送の算定には、大気の安定度を考慮した Monin-Obkhov 相似則を適用した。本来ならば河川の縦断方向数カ所で水面上の風速、湿度、気温データが必要であるが、河川縦断方向に一定値を仮定し、近似的に水面近傍の高水敷上7mの計測値を与えて水表面から計測高度までの積分値に基づいてバルク法により求めた。水表面の温度には格子点毎に計算される値を用いた。なお、当日は大気が安定しており接地層厚も薄くなっていたものと考えられるが、観測データから7m地点はコンスタントフラックスが成り立つ接地層中に位置していたものと推定された。

バルク法を用いると顕熱量 H は次式により算出される。潜熱、摩擦速度の算出についても同様の式を用いた。

$$\frac{c_p \rho}{H} k u_* (\theta_s - \theta) = \int_{z_T}^{z_0} \frac{\phi_h(\zeta)}{\zeta} d\zeta = \Psi_h \quad (6)$$

ここで、 $z_0 = z_T L$ 、 $\zeta_1 = z_1/L$ 、 $\zeta_T = z_T/L$ 、 k ：カルマン定数(=0.4)、 u_* ：摩擦速度、 θ ：温位、 θ_s ：水表面の温位、 $\rho=12 \text{ kg/m}^3$ 、 c_p ：空気の比熱、 ϕ_s 、 ϕ_h 、 ϕ_m ：比湿、気温、風速の鉛直勾配に関する普遍関数、 Ψ_s 、 Ψ_h 、 Ψ_m ：比湿、気温、風速の積分普遍関数、 L ：大気の安定度スケールである。普遍関数 ϕ_m 、 ϕ_h 、 ϕ_s は大気の安定度に応じた式で表す。運動量、顕熱、潜熱輸送に関する粗度高さ z_0 、 z_T 、 z_q は文献4)により算出した。

観測区間内では4カ所に水門が設置されている。各水門における流量を各水門の表と裏の2カ所で計測されている水位情報から算定できるように、式(7)中のパラメータを浮子観測の結果に基づき同定した。なお、木下川排水機場樋管に関しては水位の観測データが入手できなかったこと、流量的には他の水門に比べ小さいことから数値モデルでは木下川との分合流は、本川が順流時のみ一定値(合流量 $17 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水温 25°C)を与えた。

$$q_i = \alpha B_g d H_i^{1/2} H_i^{5/3} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (7)$$

4. モデルのキャリブレーション

(1) 計算条件

流れの計算範囲は、秋ヶ瀬取水堰地点から河口部(0.5km)までとし、上流端境界条件には秋ヶ瀬取水堰の放流量、下流端境界条件には南砂町水位観測所の水位データを与えた。水温の計算範囲は時間毎の計測データが得られた江北橋(河口から17km)から葛西橋(河口から1.3km)までとし、両地点における水温の測定値を上流端の境界条件として与えた。

流れの基礎方程式は、4点陰形式差分法により差分化し、Double Sweep法を用いて解いた。また、拡散方程式の移流項は風上差分、拡散項は中央差分を行い、Crank-Nicolson法を用いた逐次近似により解いた。河川の横断面形状は、200~400m間隔の測量値をもとに整備されて

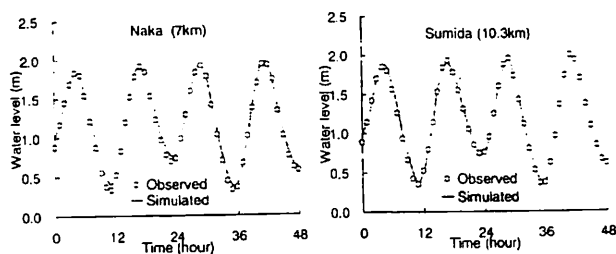


図-6 観測値と計算値の比較 (水位)

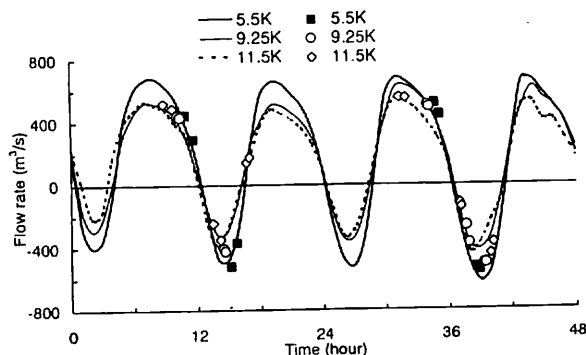


図-7 観測値と計算値の比較 (流量)

いるデジタル情報を 50m 間隔に変換して用いた。河床勾配はこのデジタル情報から算出した。

今回の現地観測からの同定が困難な基底流量、粗度係数、縦分散係数については流量、水位、水温の計算値と実測値との整合性を勘案して定めた。粗度係数については水位の計算結果が実測値と最も整合するように対象範囲で一定値 0.015 を与えた。基底流量は流量の現地観測値や上流端流量、横流入量に含まれる誤差を考えると、正確な同定は難しいことから、ここでは無視した。

図-6 に水位の計算結果を示す。計算は 2 地点での実測水位をほぼ再現している。図-7 は下流の 3 断面における流量を比較しているが、計算結果と観測値とは良く整合している。しかし、上流 3 断面では若干計算値が実測を下回る傾向が見られた。これは ADCP による測定で完全に捉えきれない表層 50cm における流速の影響によるものと考えられる。

縦分散係数 D_L についてはいくつかの実測値が報告され⁹⁾定式化の試みがなされているものの、その同定は現地データとの照合に基づくのが最も精度が高いと考えられる。また、本モデルを用いた予備的検討によると縦分散係数の大小は計算結果に無視できない影響をもたらした。そこで、 D_L を一定値で与えた場合と Elder の式形⁹⁾を用いて $D_L = kdu$ と仮定した場合について実測値との適合性を検討した。その結果、図-8 に示すように後者で $k=5000$ とした時に最も良く実測値を再現した。 $D_L = kdu$ で $k=5000$ とし、今回の水理条件に当てはめたときの縦分散係数は $0 \sim 600 \text{ m}^2/\text{s}$ となった。なお、縦分散係数の同定に与える数値拡散の影響は小さいと推定された。数値計算上の不安定性はみられなかった。

キャリブレーションでは下流端境界条件の与え方に起

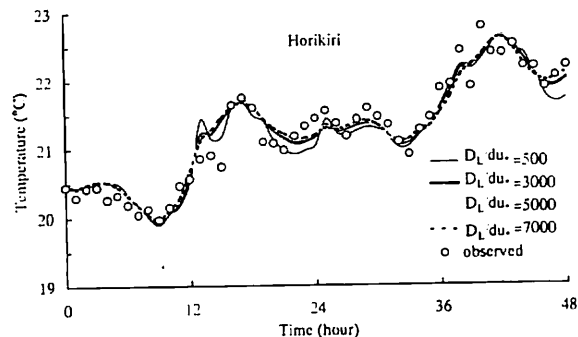


図-8 観測値と計算値の比較 (水温)

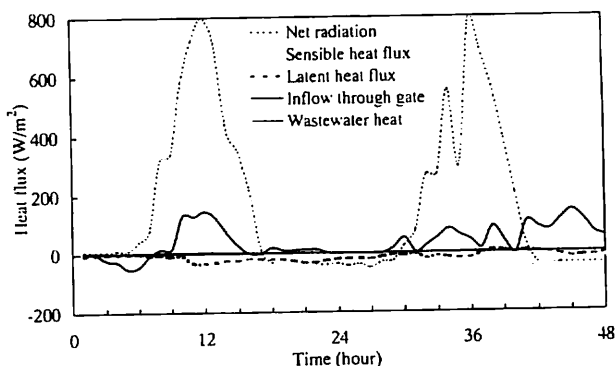


図-9 観測期間中の河川熱収支の計算結果

因する計算誤差を最小限にするため、葛西橋地点での水温計測値を下流端条件として与えた。しかし、予測計算においては下流端水温が既知ではないため別の方法で与える必要があることから、河口部 (-20km) における一定水温値を下流端条件とする方法について検討した。その結果、-20km 地点で 24.3 度の一定値を与え、移流項に風上差分を用いた場合、葛西橋地点での水温変化をよく再現できることがわかった。このため、5 章の数値シミュレーションではこの境界条件の設定手法を用いた。

(2) 感潮河川における熱収支

計算した流量、水位、水温が実測値とほぼ整合する結果となったため、計算結果を用いて河川における熱収支の特徴を把握した。観測対象区間における河川水と周囲との熱移動量を顕熱輸送量、潜熱輸送量、正味放射量、横流入量について比較したのが図-9 である。大気との熱交換量は顕熱で大気から河川へ最大約 75 W/m^2 、潜熱は同じく最大 33 W/m^2 が輸送されている計算となった。19 日の午前中には霧が発生しており、潜熱が負となっていることと整合している。また、河口部では上流より水温が高いため、潜熱の輸送がより多く行われる。横流入熱量は対象区間の平均値でみても無視できない。

5. 河川水熱エネルギー利用の影響

ここでは、前章において検証したモデルを用いて河川の水熱エネルギーを沿川の再開発地域で地域冷暖房シス

テム(DHC)に利用した場合の水温変化を予測する。水熱エネルギーの需要量は、2010年の冷暖房用の熱エネルギー需要を将来時点での建物用途別床面積の推定値と建物用途別・エネルギー使用用途別の需要原単位から推計した。また、水熱エネルギー利用地区は、現在または将来に都市開発事業が予定される地区における需給間の位置的關係と熱量的バランス、及び制度上の問題等現実的な制約条件も加味しながら設定した。需要の種類として夏期は冷熱のみを想定し、8月代表日の冷房需要量を算出した。さらに、この日需要量(供給冷熱量)と利用温度差5度としたときのヒートポンプの成績係数(COP)を用いて日平均の正味排熱量(q_{DHC})を次式により算出した。

$$q_{DHC} = \text{供給冷熱量} \times (\text{COP} + 1) / \text{COP} \quad (8)$$

将来の再開発適地は対象区間内に7カ所存在しており、そのうち6カ所は直接荒川から取水して、排熱を荒川に放出する。残りの1カ所は小菅処理場の下水処理水熱を利用するもので、これは熱損失なしで荒川に放出されると仮定した。このようにして算出された7カ所の排熱量は95~165.1GJ/hの範囲内である。排熱 q_{DHC} は式(4)の右辺に付け加えられ、計算上は1格子点に付加した。計算上の水理条件(河口水位)、気象条件(気温、湿度、風速)には観測日のものを与えた。これは夏期晴天日の強混合状態を前提としたものである。河口(20km地点)での水温は25度、上流端水温は21度に設定した。また、隅田川等との間の分合流はないものと仮定した。

図-10はDHCを導入した場合の水温上昇量を河口から0km, 5km, 10km, 15km, 20kmの5地点について示したものである。上流端流量は2ケース想定しており、当然ながら自流量の少ない図-10上段の方が水温上昇量は大きくなる。この図より、今回の検討条件下では水温上昇は最大で約0.4℃程度と無視できない量であり、排熱が放出される区間のほぼ中央にあたる10km地点で最も水温上昇量が大きくなるのがわかる。また、仮に同じ7カ所から予測の2倍の排熱水を放流した場合についても計算したところ、水温上昇量は最大で約0.85度であった。魚類生息や河川生態系に及ぼす長期的あるいは短期的影響という観点からこの程度の水温上昇量がどのような意味を持つのかについては最新の研究成果をもとに整理していく必要がある。

6. 結論と今後の課題

本研究はエネルギー消費と排熱の削減のための河川水熱利用が河川水温へ及ぼす影響把握が主たる目的であった。今回の検討により、強混合状態においては簡易な1次元の影響予測モデルでも十分な精度の水温予測が可能であることが明らかとなった。また、水熱エネルギー利用の将来シナリオをもとに算出される荒川への排熱量の影響により、今回の検討条件のもとでは、最大で0.4℃

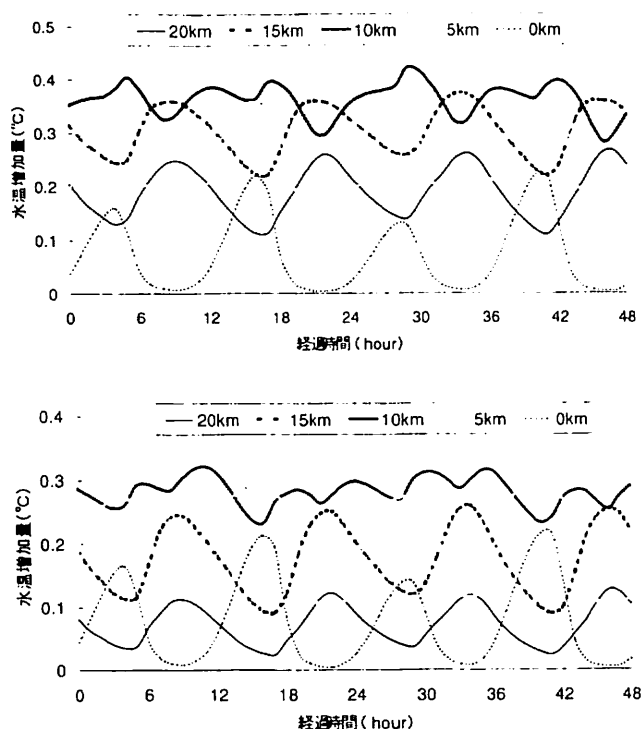


図-10 DHCの導入による水温上昇の計算結果
(上段：上流端流量20m³/s, 下段：上流端流量50m³/s)

程度の水温上昇になることが明らかとなった。河川水温は気象条件や上流からの流量、河口の水温変動など多くの要因により変化することから、冬期の温熱利用も含めて、年間を通じた水温、水質予測を行う必要がある。そのためには、温度成層の影響を考慮するとともに、境界条件の設定、特に隅田川などの中小河川との間での河川水の交換を適切に取り扱うことが必要である。また、排熱の放流口付近での水温の3次元性や水温変化が生態系に及ぼす影響に関して知見を蓄積していく必要がある。

謝辞：現地調査にあたって、東京大学土木工学科黄講師、白川助手、森田技官と学生諸氏、芝浦工業大学土木工学科菅教授と学生諸氏、建設省荒川下流工事事務所調査課のご協力を得た。ここに記して深く謝意を表す。

参考文献

- 1)建設省河川局監修、国土開発技術研究所編集：河川水熱エネルギー利用に係る河川環境影響検討指針(案)解説、資1-5、1995。
- 2)坂本、中原：感潮河川における地域冷暖房温排水の影響評価、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1269-1272、1992。
- 3)Kinouchi, T. and Y. Kawahara: Measurement and modeling of stream temperatures under tidal variation in Tokyo District, ASCE International Water Resource Engineering Conference, 1999.
- 4)Brutsaert, W.: Evaporation into the Atmosphere, 299 p., Kluwer Academic Publishers, 1982.
- 5)Fischer, H.B., E.J.List, R.C.Y.Koh, J.Imberger, and N.H. Brooks, Mixing in Inland and Coastal Waters, 483 p., Academic Press, 1979.

(1999.9.30受付)