

# 河川が有する熱環境改善効果について

## Improvement effect of rivers on urban thermal environment

研究第二部 主任研究員 水垣 浩  
研究第二部 次 長 田中 長光  
株式会社 富士総合研究所 寛 雅行  
株式会社 富士総合研究所 川名 輝子

近年ヒートアイランド現象や地球温暖化の影響によると考えられる異常気象が多発しており、各方面の研究機関でヒートアイランド現象に対する調査・研究を行っているところである。本稿は、河川のヒートアイランド現象軽減効果の有効性を検証するため、河川が有する周辺市街地への熱環境改善効果を定量的に把握した研究成果である。

ケーススタディーとして、河川区域内の土地利用を変化させた数値シミュレーション計算を行い、現況の土地利用での気温と比較することにより河川が有する熱環境改善効果を評価した。一点目は、河川の有無による周辺市街地の気温差により、河川の効果を検証した。二点目は、多自然型川づくりにより高水敷の植生を増加させた場合の気温差により、多自然型川づくりの有効性を検証したものである。

**キーワード：**ヒートアイランド、熱環境改善、荒川将来像計画、多自然型川づくり

Many abnormal meteorological phenomena that are thought to be attributable to the heat island effect and global warming have been reported, and research institutions in various fields are conducting studies and research on the heat island effect. This paper reports the results of a quantitative evaluation of the improvement effect of rivers on the thermal environment in urban areas.

In case studies, numerical simulations were performed for different land use patterns in the river areas, and the thermal environment improving effect of rivers was evaluated by comparing the simulation results with the temperatures brought about by the present land use patterns in the river areas. The authors verified (1) the effect of rivers by comparing air temperatures in riverside urban areas and those in riverless urban areas; and (2) the effect of nature-oriented river works by comparing air temperatures in dry riverbed areas with different amounts of vegetation fostered by nature-oriented river works.

*Key words : heat island, improvement of thermal environment, "Next Arakara" Plan, nature-oriented river works*

## 1. はじめに

今春の桜の開花日は、東京では例年より10日早い3月18日であり1953年の観測以来2番目の早さとなった。

また、福岡の3月17日に次ぐ早さで鹿児島や高知より早い開花日であった。(図-1参照)



図-1 全国の桜の開花日 (日本気象協会資料)

さらに、5月11日東京都心では最高気温が30.2℃に達し、今年初めての真夏日となった。気象庁によると東京都心での真夏日は1876年の観測以来4番目の早さのことである。近年、局地的な豪雨が多発してきていることも含め、これらの異常気象は地球温暖化やヒートアイランド現象の影響と言われている。<sup>1) 2)</sup>

本研究では、ヒートアイランド現象に対して河川が有する熱環境改善効果を把握するため、数値シミュレーションにより定量的に評価し、今後進めていく多自然型川づくりや自然再生事業等の熱環境面での効果について検証するものである。

## 2. ヒートアイランド現象に対する河川の効果

河川でのヒートアイランド現象に対する軽減効果の改善としては、埋立や暗渠化などにより失われた水面の復活、高水敷の緑化、コンクリート護岸から芝生や多自然型護岸への変更等が考えられる。

一般に河川等水辺の周辺では、付近の気温と比較して気温が低く涼しく感じる。これは、水面や緑地は他の地表面と比較して、表面温度が低く顕熱(空気によって運ばれる熱)が小さいこと、また、水面上や植物による蒸発散機能により潜熱(固体、液体、気体と変化する時に吸収、放出する熱エネルギー)が多くなるためである。さらに、都市部では河川周辺が密集市街地となっているのに対し、河川区域内は、水面および高水敷のオープンスペースとなっているため、風の通り道となり、気温が低くなるためである。

これらの河川等の水面が有する熱環境改善効果については、既に多くの研究者が詳細な観測データとともに報告しているところであり、菅・河原(1993)が観測した多摩川での結果では、日中の河道内低水路部の

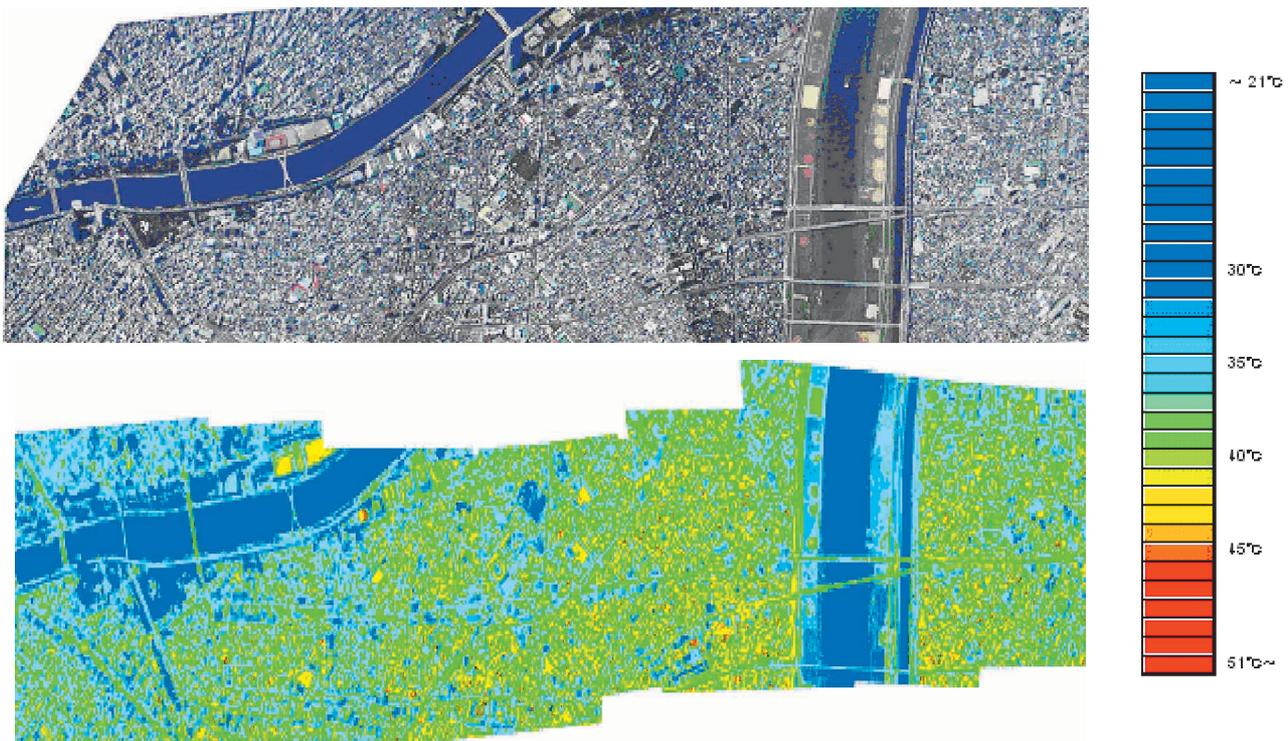


写真-2 荒川周辺の熱ビデオ静止画像 (撮影高度2,000m 撮影日時2003年8月25日12:30)

気温は周辺市街地に比べて1.2～0.8℃低く、高水敷でも0.8～0.4℃低いと報告しているところである。<sup>3)</sup>

また、前頁の写真-1および写真-2は荒川の上空2000mからのデジタルカメラおよび熱ビデオカメラによる撮影画像であるが、この画像からも河川周辺では周囲の市街地に比べ気温が低いことが伺える。

### 3. 数値シミュレーションによる河川の効果の把握

#### 3-1 シミュレーションの概要

本研究では、河川区域内の土地利用を変化させ、現況の土地利用でのシミュレーション結果と比較することにより、一点目は、河川の存在自体が周辺市街地の熱環境に与える効果を評価する。二点目は、多自然型川づくりにより水面面積や川岸の植生が増加した場合の熱環境改善効果を同様に評価する。具体的な内容については、後述するケーススタディーで記載する。

河川周辺の熱環境を数値シミュレーションにより評価する手法は大きく二つに分けられる。一つはメソスケールモデルと言われるものであり、比較的広域を対象として、経時変化する気象現象を考慮して解析するモデルである。もう一つは、CFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学) モデルと言われるものであり、機械、航空、原子力など工学の各方面で利用されているモデルである。メソスケールモデルよりは狭い領域を対象として高い解像度で詳細な流れ場を

計算するアプローチである。本研究では後者のCFDによる検討を行った。

#### 3-2 シミュレーションの前提条件

本シミュレーションでの前提条件は、下記のとおりとした。

- (1) 計算領域は対象地の川幅 (500m程度) と既往の文献の影響範囲 (500～600m) を考慮し、2km四方の範囲とする。
- (2) 建築物の大きさと計算工数を考慮して20mの計算格子幅で解析する。
- (3) 日射などの効果は簡易的に評価して境界条件などの形で考慮する。
- (4) 特定の時刻の定常的な様相を捉える。
- (5) 周辺の建物などのうち計算格子で解像出来る比較的大きなものは表現する。

なお、流れ場の計算には、(株)富士総合研究所所有のCFDコードKappaシリーズのうち、Kappa-3D/Vを使用した。

本検討での作業項目は表-1に示す。

次章で作業項目の内容について記述する。

表-1 作業項目

作業項目	内 容
(1) 地表面温度設定機能の作成	①日射解析プログラム作成 ( 計算対象地域の日向と日陰の判定)
	②地表面性状データの取得
	③地表面温度予測機能の作成
(2) 計算格子の作成	①計算対象地域の選定
	②地表面の起伏に関する標高データの取得
	③ 河川周辺の比較的大きな建物に関するデータの取得
	④計算格子の作成
(3) 地表面境界条件の作成	①計算対象地域の土地利用データの取得
	②水面温度データの取得
	③気象条件データ ( 風向、風速、温度、湿度) の取得
	④人工排熱データの取得
	( 地表面温度境界条件は(1)により設定する)
(4) ケーススタディーの実施	①ケース1 ( 現況 = 河川がある場合)
	②ケース2 ( 河川が無いと仮定した場合)
	③ケース3 ( 高水敷の植生を増加させた場合)

### 3-3 地表面温度設定機能の作成

地表面温度は太陽からの地表面に達する短波入射量、地表面からの長波放射量、大気からの長波放射量、地表面から大気への顕熱フラックス、地表面から大気への潜熱フラックス、地中への熱伝導フラックスの収支を考慮して計算する。地表面温度計算の準備として日向と日陰を判定するための日射解析を行う。また、地表面性状により、アルベド（反射率）、地表面からの射出率、蒸発効率の違いを考慮する。

ここで計算した地表面温度を大気計算における地表面の境界条件値として用いる。

次項に概要を記載する。

#### (1) 日射解析プログラムの作成（日向と日陰の判定）

太陽の方角・高度および建物データ、標高データを読み込んで向日日陰判定を行うプログラムを作成した。日向は全天日射を考慮して地表面温度を予測し、日陰は散乱日射のみを考慮して地表面温度を予測した。

#### (2) 地表面性状データの取得

地表面を田、畑、果樹園、樹木畑、森林、荒地、建物用地、交通用地、その他、川水面、水たまり、建物の12種類に分類し、参考文献からそれぞれのアルベド（反射率）、蒸発効率、熱伝導係数、比熱等を取得した。<sup>4) 5) 6)</sup>

#### (3) 地表面温度予測機能の作成

地表面の熱収支の様子を図-2に示す。

図中に示した熱収支を次式の地表面熱収支モデルとして地表面温度の周期定常計算を行った。<sup>7) 8)</sup>

$$Ra + La + Ls + H + 1E + G = 0$$

ここで、各記号の意味は下記のとおりである。

Ra：地表面に達する正味日射量[W/m<sup>2</sup>]

La↓：快晴日の下向き長波放射の日平均値[W/m<sup>2</sup>]

Ls↑：地表面からの長波放射量[W/m<sup>2</sup>]

H：地表面からの大気への顕熱フラックス[W/m<sup>2</sup>]

1E：地表面から大気への潜熱フラックス[W/m<sup>2</sup>]

G：地中への熱伝導フラックス[W/m<sup>2</sup>]

### 3-4 計算格子の作成

本作業の大気の計算に使用するCFDコードは複雑な形状を精度よく模擬することができるが、以下の点に配慮する。

- ・地表面の起伏
- ・河川周辺の比較的大きな建物

次項に概要を記載する。

#### (1) 計算対象地区の選定

計算対象地区は荒川下流部の東京都足立区扇大橋周辺の上下流2km×2kmの地区とした。当該箇所は荒川将来像計画において扇大橋上流側で水際部の自然創出、湿地性植物群落などの中規模自然地が予定されていること、また、下流部左岸側では水際部の湿地性植物群落の保全・拡大、ワンド等の自然地の形成などによる大規模自然地の整備などが位置付けられており、現状からの改善効果が高いと判断した。また、当該地の夏期においては南風が卓越しているため、川の流向が東西方向の場合に風下の市街地へ及ぼす効果を把握しやすと考え、本地点を選定した。

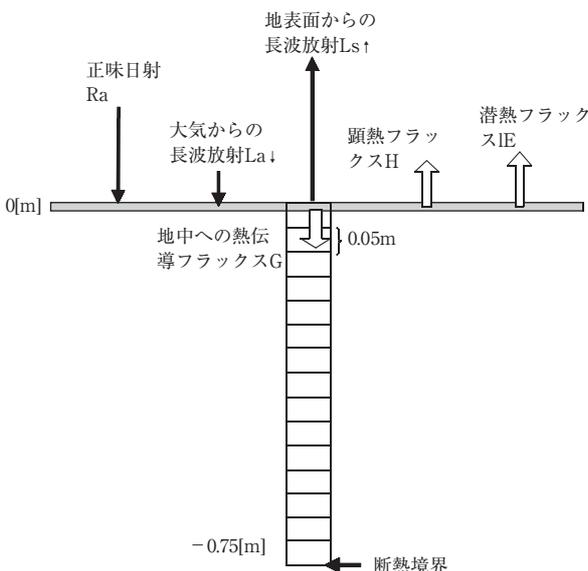


図-2 地表面の熱収支

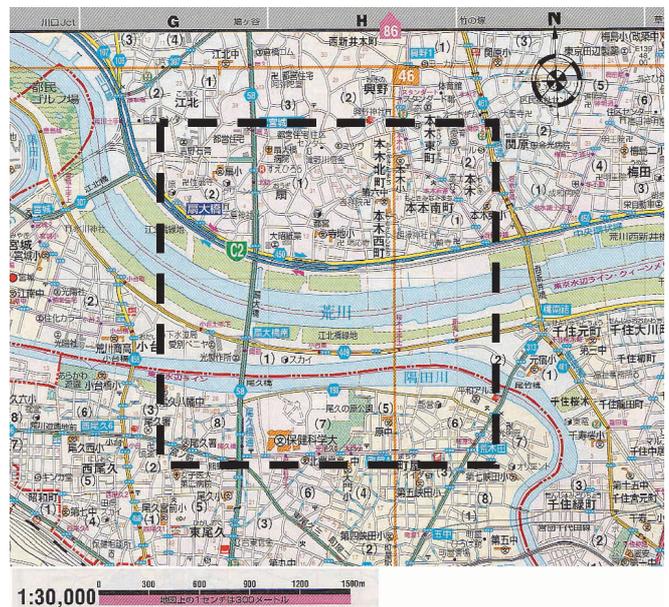


図-3 計算対象地域

(2) 標高データの取得

計算対象地域の地表面の起伏に関する標高データは、『数値地図5mメッシュ（標高）』（国土地理院発行）を利用した。

(3) 建物の高さデータの取得

計算対象地域の河川周辺の比較的大きな建物に関するデータは、荒川下流河川事務所から提供頂いた『東京都建物高さデータ』を加工して使用した。

(4) 計算格子の作成

計算体系は東西2km、南北2km、上空500mの地域とした。上空の計算領域を500mとしたのは、試算の結果、熱の影響は500m程度までしか及ばないと判明したことによる。

計算格子幅は水平方向（東西、南北）は20mとした。鉛直方向は地表面付近を5mとし、上空になるほど等比級数的に粗くなるようにした。

### 3-5 地表面境界条件の作成

地表面温度設定機能を使用して地表面境界条件を作成した。田、畑、建物用地など土地利用データを収集して計算格子のサイズに合わせてデジタル化した。また、河川水面温度、気象条件データも取得した。これをもとに地表面温度設定機能により地表面温度を計算し、境界条件を作成した。

次項に概要を記載する。

(1) 計算対象地域の土地利用データの取得

計算対象地域の土地利用データは、『細密数値情報（10mメッシュ土地利用、首都圏1994年版）』（国土地理院作成）を利用した。対象地域の土地利用区分を図-4に示す。なお、このデータでは、高水敷はすべて公園・緑地となっていたため、航空写真の判読によりグラウンド、駐車場、公園・緑地に細分化した。

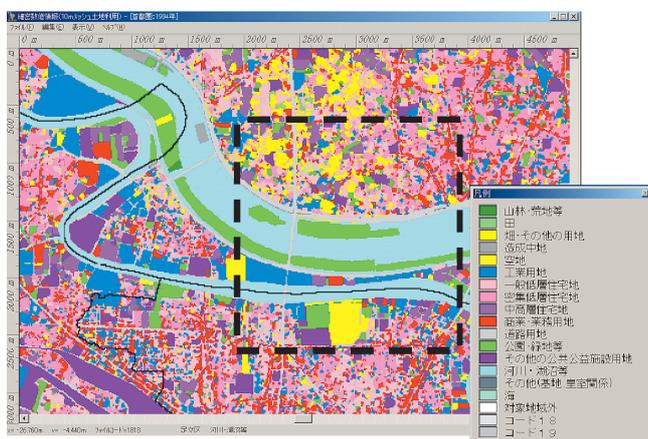


図-4 荒川下流付近の土地利用区分

(2) 水面温度データの取得

河川の水温は、荒川の江北橋における8月上旬の晴天時の観測結果から27.8℃とした。<sup>9)</sup>

(3) 気象条件データ（気温、風向、風速）の取得

気象庁の資料から8月上旬晴天日の14時における気温、風向、風速をそれぞれ32.5℃、南、2.3m/sとした。<sup>10)</sup>

(4) 人工排熱データの取得

独立行政法人土木研究所より提供して頂いた土地利用ごとの人工排熱データを使用した。

### 3-6 ケーススタディーの実施

河川の水面面積や高水敷の植生など地表面性状を変えた場合のケーススタディーを実施した。現況の土地利用での計算結果と比較することで、河川が存在することの効果と多自然型川づくりを行った場合の効果を経温差により評価する。

(1) ケース1（現況＝河川あり）

前項の土地利用データおよび航空写真から作成した現在の土地利用図を図-5に示す。

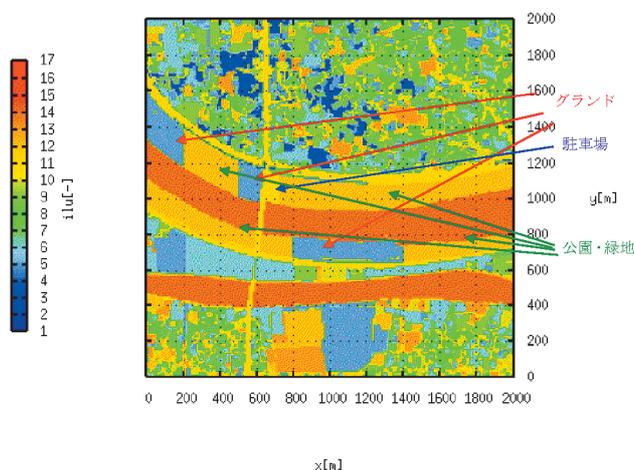


図-5 土地利用（現況）

また地表面温度予測機能により計算した地表面温度を図-6に示す。

水面は低温（27.8℃）となっており、交通用地や建物では温度が高くなっている（52.6℃～55.8℃）のがわかる。公園、緑地などは、これよりも低めの温度（44.5℃ぐらい）となっている。

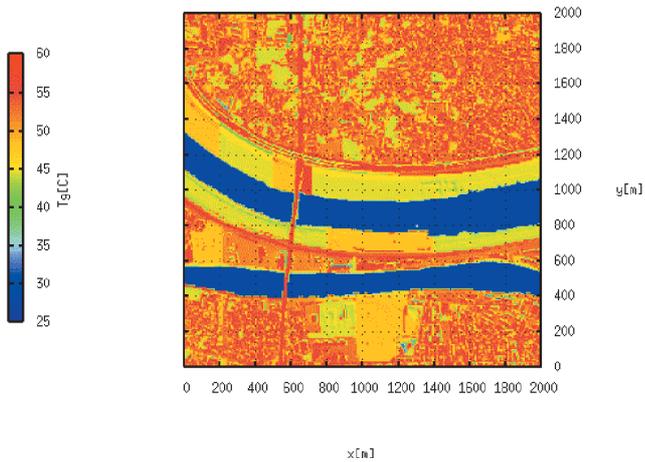


図-6 地表面温度（現況）

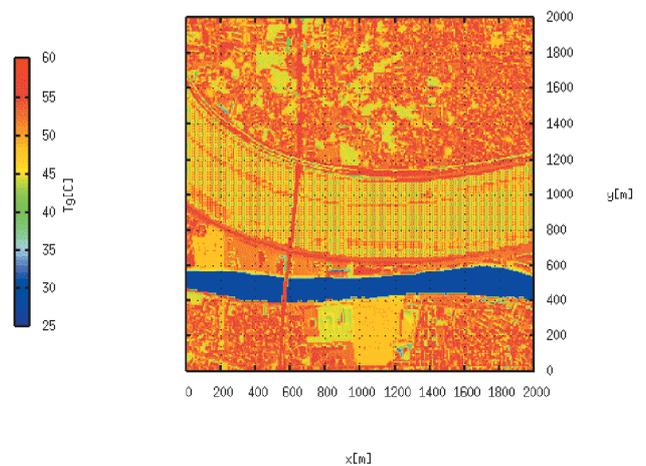


図-8 地表面温度（河川が無いと仮定した場合）

(2) ケース2（河川が無いと仮定した場合）

河川が存在することの効果把握するため、河川が無いと仮定した場合のシミュレーション計算を行う。河川区域内が周辺市街地と同様に都市化された場合を想定する。簡略のため、10m×10mの低層住宅地と5mの道路を基盤状に配置した。この場合の土地利用を図-7に、地表面温度予測機能により計算した地表面温度を図-8に示す。

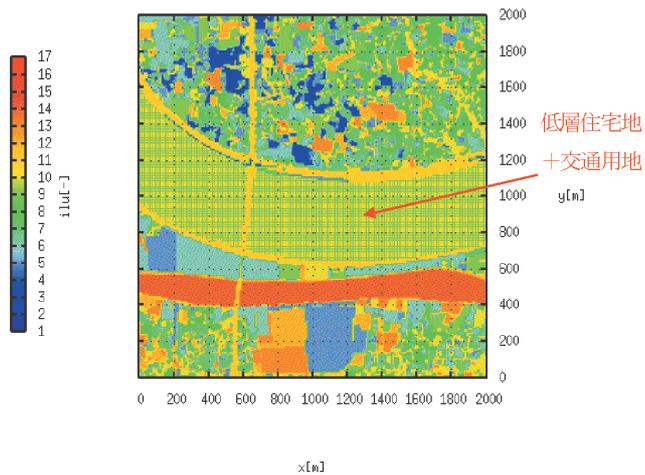


図-7 土地利用（河川が無いと仮定した場合）

現在水面となっている箇所を低層住宅用地と道路用地と想定したため、地表面温度は54°Cとなり、水温27.8°Cに比べ26°C高くなった。このため、風下側の北側市街地の気温が高くなることが予想される。現況との気温差は次項の計算結果に示す。

(3) ケース3（高水敷の植生を増加させた場合）

荒川の将来像計画<sup>11) 12)</sup>では、河川敷に湿地性植物群落、水辺の自然地、大規模自然地が計画されているが、これらが整備されると想定し、シミュレーション計算を行った。図-9に横断図、図-10に平面図のイメージを示す。

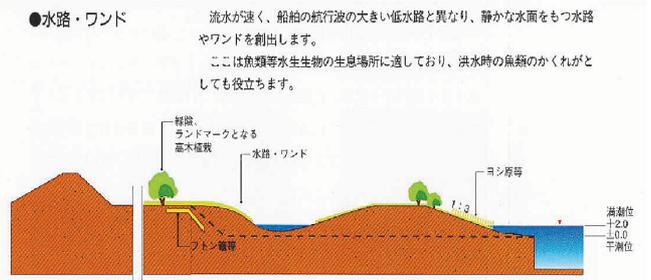


図-9 多自然型河岸整備例

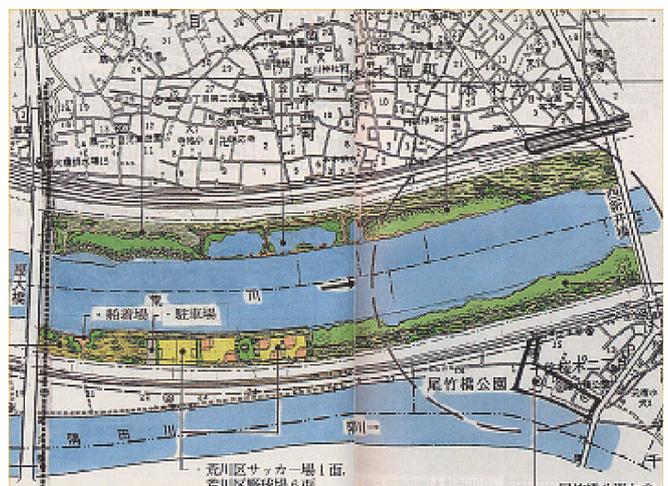


図-10 荒川将来像計画整備イメージ

この場合の土地利用を図-11に、地表面温度予測機能により計算した地表面温度を図-12に示す。

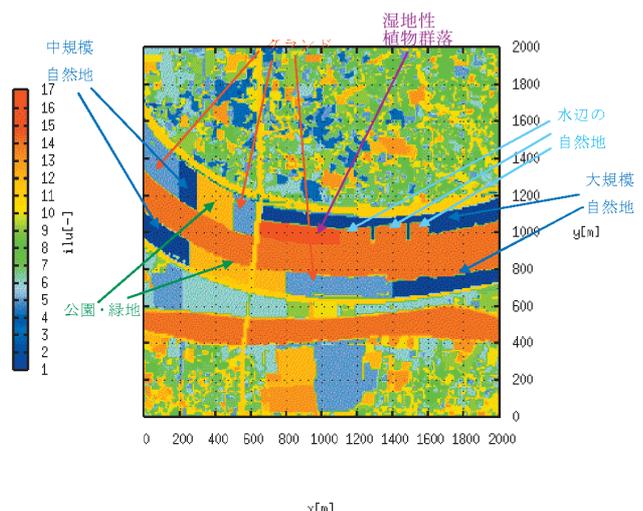


図-11 土地利用（高水敷の植性を増加させた場合）

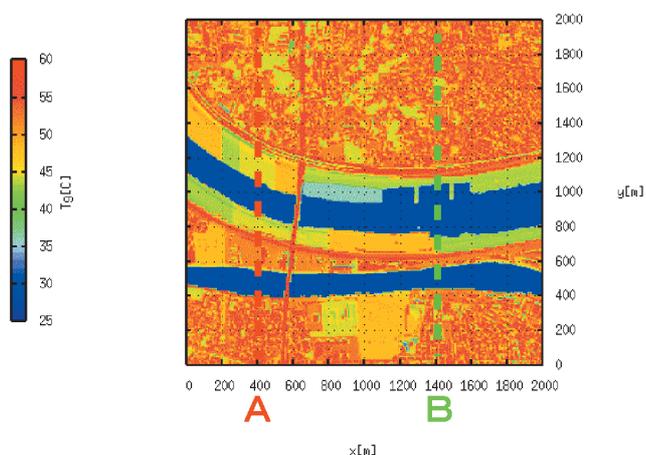


図-12 地表面温度（高水敷の植性を増加させた場合）

地表面温度は、大規模自然地、中規模自然地は43.3℃、湿地性植物群落は、35.9℃、水辺の自然地は27.8℃となり、現在の公園・緑地の44.5℃、駐車場の55.8℃より1.2℃～20.0℃低くなり、風下側の北側市街地の気温は、現在より低くなることが予想される。

### 3-7 計算結果の比較

前項の地表面温度をもとにそれぞれのケースで3次元大気・熱移流拡散計算を行い、ケース1（現況）との気温差を表示する。なお、ここではZ = 標高+5mの結果のみ表示したが、計算は500m上空まで行っている。

(1) ケース1（現況）とケース2（河川無し）の気温差  
 現況の河川が有る場合と河川が無い場合の気温差を

図-13に示す。現在の水面の位置で最高1.2℃気温が高くなる。

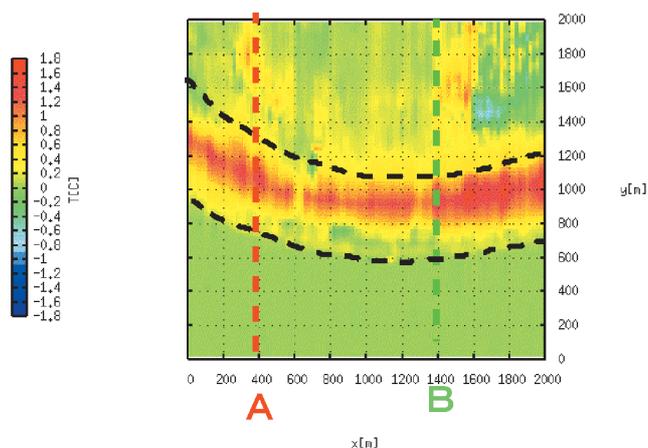


図-13 現況との気温差（河川が無いと仮定した場合）（xy断面、Z=標高+5m）

また、A地点とB地点における風向き方向（y方向）での気温差を図-14に示す。風下側の市街地で最高0.4℃気温が高くなり、800m離れた地点でも0.2℃の気温上昇の影響が及ぶことがわかった。以上より河川が存在することにより周辺市街地の熱環境改善に効果があることが検証できた。

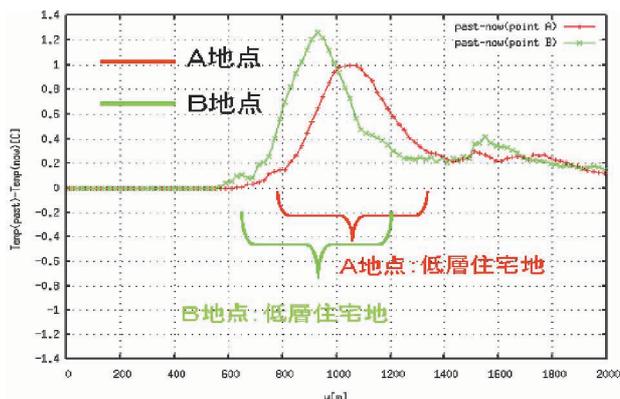
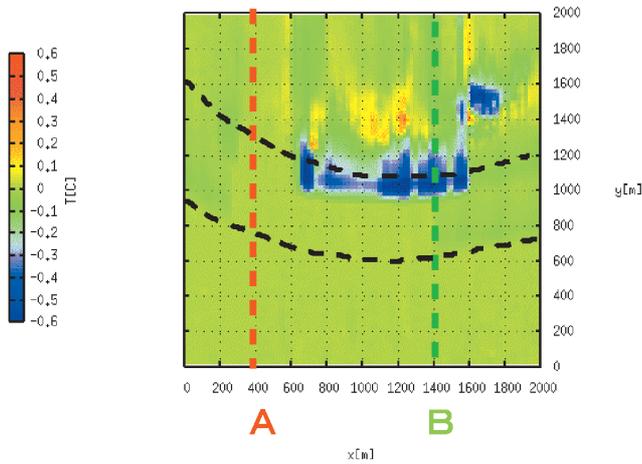


図-14 風向き方向の気温差

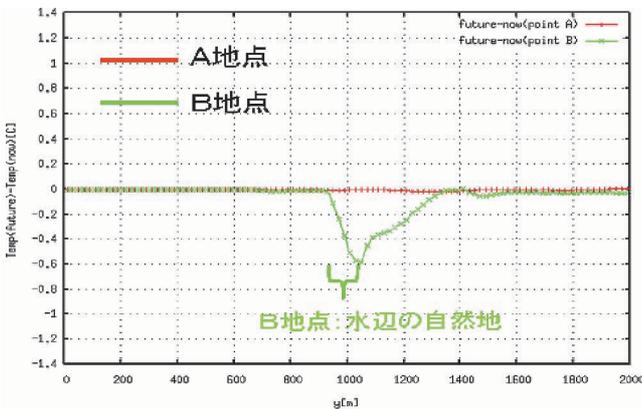
(2) ケース1（現況）とケース3（高水敷の植生を増加させた場合）の気温差

現況と高水敷の植生を増加させた場合の気温差を図-15に示す。該当箇所0.6℃気温が低くなる。また、図-16に示すとおりB地点の水辺の自然地の風下側で最高0.4℃、300m先でも0.1℃の気温低下の影響が及ぶ。これに対して、土地利用の変化が少ないA地点ではほとんど気温差がない結果となった。以上より多自然型川づくりにより高水敷の植生を増加させた場合、周辺

市街地の熱環境改善に効果があることが検証できた。



図一15 現況との気温差 (高水敷の植生を増加させた場合)  
(xy断面、Z=標高+5m)



図一16 風向き方向の気温差

#### 4. おわりに

今回の前提条件による計算結果では、河川の有無による気温差は、水面位置で最高1.2℃、風下側市街地で最高0.4℃となり、植生増加による気温差は、該当箇所最高0.6℃、風下側市街地で最高0.4℃となった。一見小さいように見えるが、東京の平均気温の上昇が100年で3℃と報告されている<sup>1)</sup>ということから考えれば、決して小さい値ではない。また、仮定した土地利用などの条件を変えれば、もっと大きな気温差が生じることも十分考えられる。

従来、多自然型川づくりは、どちらかという河川空間に生息する動植物のためであり、間接的に人間に

も効果があるという印象であったが、今回の研究などから、河川周辺の住民や生活環境にも直接効果が有ることがわかった。このような河川の効果をもっと積極的にアピールすべきであろう。

韓国の清溪川(チョンゲチョン)では、高架道路を撤去することによる、暗渠化された河川の再生事業を実施中であり、工事中の段階から周辺の気象観測を行っている<sup>2)</sup>と聞いている。河川の有無による熱環境改善効果が、シミュレーションではなく実測値として検証されることとなるため、大変興味深いところである。同様に、東京で埋められた河川が復活したり、河川上に建設された首都高速道路が撤去されれば、ヒートアイランド現象の緩和に効果があると考えられる。

本研究は、荒川下流河川事務所の委託による「荒川下流整備計画検討業務」の一環として行ったものであり、ご助言を頂いた独立行政法人土木研究所木内氏および荒川下流河川事務所の関係各位に対し深く感謝を申し上げます。

#### <参考文献>

- 1) 環境省環境管理局：ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査報告(概要)
- 2) 土木研究所 水理水文チーム：ヒートアイランド現象の軽減に関する研究
- 3) 菅和利、河原能久：都市河川，運河が周辺市街地の熱環境に及ぼす効果(1993)
- 4) 一ノ瀬俊明ら：細密地理情報にもとづく都市気候数値シミュレーション 地表面境界条件の高精度化(1997)
- 5) 井原智彦ら：都市熱環境を考慮した高反射高放射塗料導入による建築物のCO<sub>2</sub>排出削減効果の評価
- 6) 理科年表(平成15年版)
- 7) 近藤純正：水循環の気象学—地表面の水収支・熱収支(1994)
- 8) 青竹紀子ら：市街地の熱流・温湿度の実測とシミュレーションによる熱環境評価 その2 シミュレーションによる市街地の熱流・気温の予測
- 9) 国土交通省ホームページ「水情報国土」
- 10) 気象庁ホームページ
- 11) 荒川将来像計画全体構想書(1996)
- 12) 荒川将来像計画[足立区編](1996)