＜付録＞資料７　新国立競技場及び周辺地区整備に伴う影響（平成 26 年３月）東京都

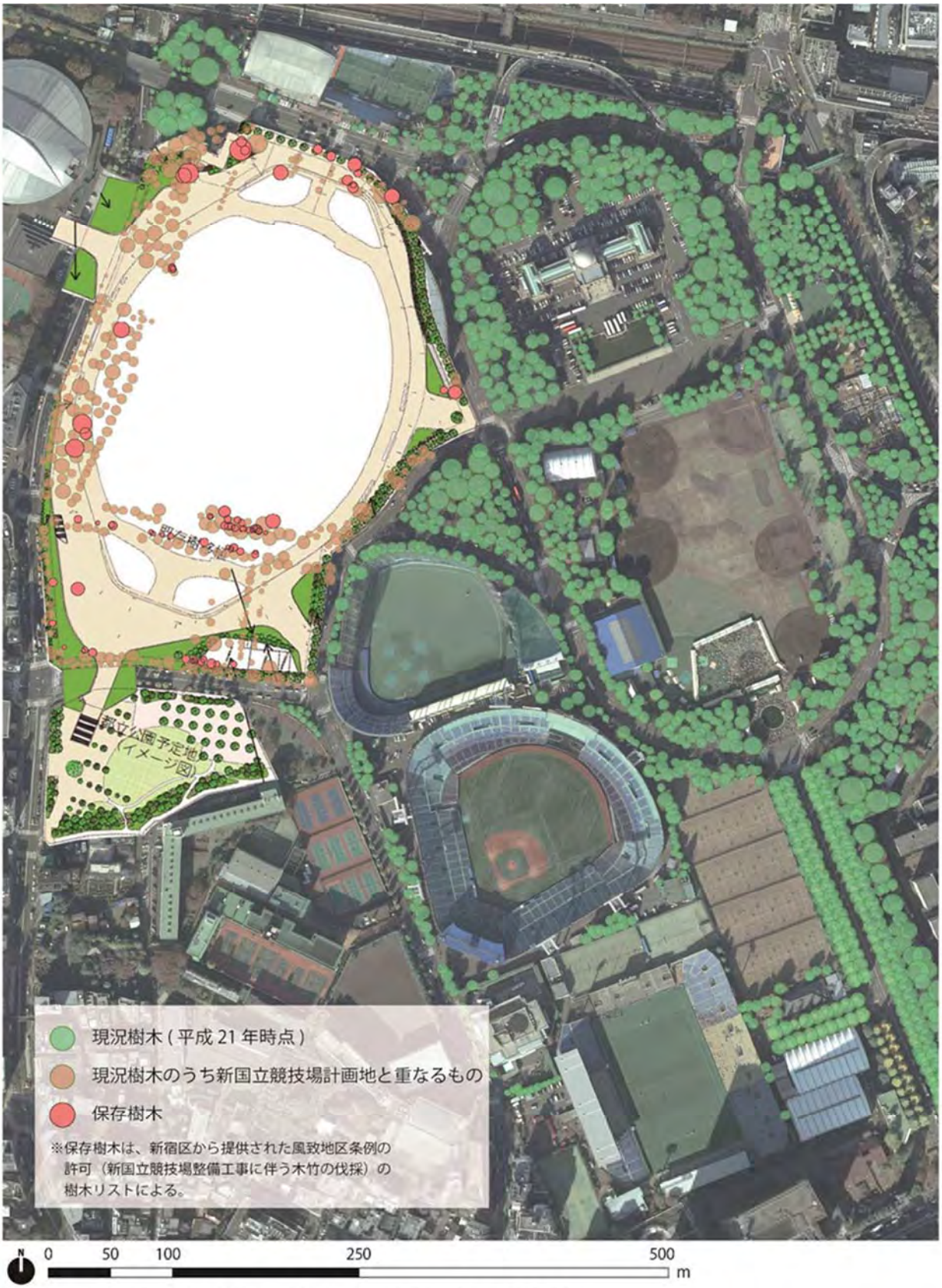
表　新国立競技場建設によって失われる樹木

既存樹木(本)						
	四季の庭	霞岳広場	霞ヶ丘競技場	日本青年館	合計	
高木	235	275	372	79	高木計	961
低木	379	69	175	180	低木計	803
計	614	344	547	259	樹木合計	1764
移植樹木(本)						
高木	98	82	39	0	高木計	219
低木	0	0	0	0	低木計	0
計	98	82	39	0	樹木合計	219
伐採樹木(本)						
高木	137	193	333	79	高木計	742
低木	379	69	175	180	低木計	803
計	516	262	508	259	樹木合計	1545

※新宿区から提供された風致地区条例の許可（新国立競技場整備工事に伴う木竹の伐採）の樹木リストに、既存植栽位置図にて「前回申請に基づき既に伐採・移植済み」及び「立木調査時点で既に伐採済み」と記載された本数及び、(独)日本スポーツ振興センターへの聞き取り調査により作成

図　会場施設等の配置図

（出典）東京都（平成 26 年３月）
『2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会　実施段階環境影響評価調査計画書の概要』
（※サブトラック位置等一部のラベル情報を本分科会が追記）



写真出典：㈱国際航業（平成 21 年 10・11 月撮影）『高精細航空写真』
計画図出典：独立行政法人日本スポーツ振興センター（平成 26 年 5 月）『新国立競技場基本設計（案）説明書（概要版）』

図　新国立競技場周辺樹木（新国立競技場計画図重ね図）

＜付録＞資料８　夏季晴天時における新国立競技場周辺の樹冠解像熱環境シミュレーション

第 28 回数値流体力学シンポジウム
A08-4

夏季晴天時における新国立競技場周辺域の樹冠解像熱環境シミュレーション

Tree-crown-resolving numerical simulations of thermal environment around the New National Stadium Japan under summer-time clear-sky condition

○ 松田景吾，(独) 海洋研究開発機構，横浜市金沢区昭和町 3173-25, E-mail : k.matsuda@jamstec.go.jp
大西　領，(独) 海洋研究開発機構，横浜市金沢区昭和町 3173-25, E-mail : onishi.ryo@jamstec.go.jp
山田悟史，中央大学理工学部，東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : sy.81b@g.chuo-u.ac.jp
大和広明，中央大学理工学部，東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : yamato@tamacc.chuo-u.ac.jp
石川幹子，中央大学理工学部，東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : ishikawa.27w@g.chuo-u.ac.jp
高橋桂子，(独) 海洋研究開発機構，横浜市金沢区昭和町 3173-25, E-mail : takahasi@jamstec.go.jp
Keigo MATSUDA, JAMSTEC, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama
Ryo ONISHI, JAMSTEC, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama
Satoshi YAMADA, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo
Hiroaki YAMATO, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo
Mikiko ISHIKAWA, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo
Keiko TAKAHASHI, JAMSTEC, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama

The Japan Sport Council (JSC) plans to build the New National Stadium Japan (NNSJ) for the 2020 summer Olympics in Tokyo. The numerical simulations of wind and heat transfer around the NNSJ are conducted to compare the heat environments around the NNSJ for the cases of the current JSC plan and the modified plan, in which a lot of trees are placed in the NNSJ premises. The computational domain covers 5km×5km horizontal area, which is discretized by 5m grid mesh interval to resolve the building shapes and the tree crown distribution. The transpiration and the three-dimensional radiation processes are considered. The results show that the air temperature for the modified plan case is about 2.1 °C cooler in maximum than that for the current JSC plan case. The WBGT index decreases about 4.6 °C in maximum for the modified plan case.

1. 諸言

2020 年の東京オリンピック開催に伴い，国立競技場の建て替え計画が持ち上がっている．日本スポーツ振興センター（Japan Sport Council, JSC）は，ザハ・ハディド氏による設計案に基づいた新国立競技場（New National Stadium Japan, NNSJ）の設計案[1]（以下，JSC 現行案）を提案している．現状の国立競技場は起伏のある地形の上に位置しているが，JSC 現行案では既存の樹木を伐採して人工地盤による平坦な土台を作り，その上に新国立競技場を建設する計画となっている．この人工地盤上には芝生で覆われる部分はあるものの，樹木や日陰となる部分が少ない．2020 年東京オリンピックの開催期間が夏季（7 月 24 日～8 月 9 日）であるため，来場者が過酷な熱環境に置かれる可能性がある．過酷な熱環境の緩和策としては，日よけの設置やミスト散布など，様々な手法を用いることができる．しかし，国立競技場の位置する明治神宮外苑が，明治天皇の業績を後世まで残すことを目的に明治神宮内苑とともに建設され，日本で最初に風致地区に指定された大規模緑地であるという歴史的背景を考慮すると，既存の樹木を伐採せず，新規に樹木を追加することが熱環境緩和策の有力な候補である．樹木の気温低減効果については数多くの既往研究があり，都市部の緑地の気温が周囲より数℃低いという観測結果も報告されている[2, 3, 4, 5]．最近では，蛭田・石川 (2012)[6]が大気汚染常時監視局による東京都内の気温の観測データを用いて行った統計解析により，夏季日中において観測点周辺の樹木量が多いほど有意に気温が低い傾向があることが報告されている．しかし，どの程度の樹木量があればどの程度の気温低減効果が得られるのかについては明らかになっていない．そこで，本研究では，JSC 現行案をベースに樹木の増加を行った修正計画案（以下，JSC 修正案）を作成し，JSC 現行案と JSC 修正案を対象として，樹木の流体抵抗，蒸散過程および 3 次元放射過程を考慮した非定常数値シミュレーションを実施することにより，樹木の増加が新国立競技場周辺の風の流れと熱環境に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした．

2. 数値モデル

2.1 数値モデルの概要

数値シミュレーションには，独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）で開発された大気海洋結合モデル“MultiScale Simulator for the Geoenvironment”（MSSG）[7, 8, 9, 10]を用いた．MSSG は全球スケールから都市スケールまでを取り扱うことのできる数値モデルである．特に，都市スケールでは，建物の形状を解像することにより実在街区に対する Large-eddy simulation（LES）として機能する[10]．大気力学過程の支配方程式は，大気密度の輸送方程式，圧縮性 Navier-Stokes 方程式（運動量保存式），Helmholtz 方程式（圧力方程式），および気体の状態方程式である．数値解法には fractional step 法を用い，時間積分には 3 次精度ルンゲ・クッタ法を用いた．水物質については，雲水，雨水および氷粒子の輸送を考慮せず，水蒸気の輸送のみを考慮した．乱流モデルには，サブグリッドスケール（sub-grid scale, SGS）の乱流運動エネルギの輸送を考慮した 1 方程式乱流モデル[11]を用いた．計算格子には，デカルト座標系に従う等間隔直交格子を用いた．建物については，voxel 表現法により解像した．樹冠についても，葉面積密度 a の空間分布として解像した．建物や樹木が熱環境に及ぼす影響を考慮するために，次節以降に詳述する都市 3 次元放射モデル，地表面・壁面モデル，および樹冠解像樹木モデルおよびを用いた．

Copyright © 2014 by JSFM

2.2 都市 3 次元放射モデル

建物や樹冠の 3 次元形状を考慮して，表面温度や熱フラックスを決定するために，都市 3 次元放射モデルを用いた．都市 3 次元放射モデルでは，建物表面と地表面を大気場の計算格子に沿って分割した面積要素，および樹冠を同様に分割した体積要素で構成される非構造格子を用いる．面積・体積要素間の短波（可視光線）および長波（赤外線）の放射熱フラックスは，以下のラジオシティ方程式により算出される．

$$\langle A^{\mathrm{eff}}\rangle_i R_{\lambda,i} = \langle A^{\mathrm{eff}}\rangle_i \epsilon_{\lambda,i} B(T_{\mathrm{surf},i}) + \alpha_{\lambda,i}\left\{S_{\lambda,i} + \sum_j A^{\mathrm{eff}}_{i\to j} F_{ij} R_{\lambda,j}\right\} \quad (1)$$

ここで，$R_{\lambda,i}$ は波長帯 λ における要素 i のラジオシティ [W/m^2] であり，要素 i から射出される放射フラックスを表す．$S_{\lambda,i}$ は天空からの入射フラックス [W] であり，短波では直達日射と散乱日射，長波では大気長波放射が考慮される．$\epsilon_{\lambda,i}$ および $\alpha_{\lambda,i}$ は波長帯 λ における要素 i のそれぞれ射出率 [-] および反射率 [-] であり，$\epsilon_{\lambda,i}+\alpha_{\lambda,i}=1$ を満たす．$B(T_{\mathrm{surf},i})$ は表面温度 $T_{\mathrm{surf},i}$ での熱放射フラックス [W/m^2] である．また，F_{ij} は要素 i から要素 j を見込む形態係数であり，建物や樹冠の幾何学的配置によって決定される．本研究では，各要素間の形態係数 F_{ij} を光線追跡法により算出した．その際，体積要素である樹冠を半透明の物体と見做し，その透過率 trans. を次式（Beer-Lambert 則）により与えた[18]．

$$\mathrm{trans.} = \exp(-kal) \quad (2)$$

ここで，k は樹冠の消散係数，l は光線の通過長さである．体積要素では，この透過率を用いて，有効面積 A^{eff} [m^2] および有効表面積 $\langle A^{\mathrm{eff}}\rangle$ [m^2] を与えた．なお，街区スケールでは，要素間の放射の授受における大気の減衰・散乱効果は無視できるほど小さい．天空からの入射フラックスについては，太陽高度を考慮した経験モデル[12, 13, 14]を用いて推定した．

2.3 地表面・壁面モデル

都市 3 次元放射モデルを用いて計算されたラジオシティを用いて，地表面および壁面における熱収支を面積要素ごとに計算し，表面温度を算出した．地表面・壁面の表面の熱収支は次式により表される．

$$R_{\mathrm{S,net}} + R_{\mathrm{L,net}} - H - LE = G \quad (3)$$

ここで $R_{\mathrm{S,net}}$ および $R_{\mathrm{L,net}}$ は地表面・壁面により吸収されるそれぞれ正味の短波および長波放射熱フラックス [W/m^2]，G は地表面・壁面の内部への熱伝導による熱フラックス [W/m^2] である．また，H および LE はそれぞれ地表面・壁面からの顕熱および潜熱フラックス [W/m^2] であり，次式により表される．

$$H = -\alpha_{\mathrm{h}}(T_{\mathrm{air}} - T_{\mathrm{surf}}) \quad (4)$$

$$LE = -L\beta\alpha_{\mathrm{m}}(e - e_{\mathrm{surf,sat}}) \quad (5)$$

ここで，α_{h} は対流熱伝達係数 [W/(m^2 K)]，α_{m} は対流物質輸送係数 [kg/(s m^2 Pa)] であり，Jürges の式に従って与えた．L は蒸発潜熱 [J/kg]，T_{air} は気温 [K]，T_{surf} は表面温度 [K]，e は大気中の水蒸気分圧 [Pa]，$e_{\mathrm{surf,sat}}$ は表面温度 T_{surf} における飽和水蒸気圧 [Pa]，β は蒸発効率 [-] である．熱伝導による熱フラックス G は地表面や壁面の蓄熱量に依存するため，各面積要素の内部を 7 層に分割し，熱拡散方程式を用いて各層の温度の時間変化を計算した．各層の厚さや熱物性値については，面積要素の配置や属性に応じて与えた．地表面や壁面に働く摩擦抗力については，対数則に基づいて与えた．

2.4 樹冠解像樹木モデル

本樹木モデルでは，解像された樹冠の内部を通過する大気の流れも考慮した．その際，樹冠が大気の流れに及ぼす抗力 F_i は次式により与えられる[15]．

$$F_i = -C_{\mathrm{d}}\rho a U^2 \frac{u_i}{|U|} \quad (6)$$

ここで，C_{d} は抗力係数 [-]，a は葉面積密度 [m^2/m^3]，U は風速 [m/s]，ρ は密度 [g/m^3] である．なお，葉が密に茂っている場合でも空間に占める樹木の枝や葉の体積占有率は数%程度であるため，枝や葉の体積占有率を 0 と仮定した．また，SGS 乱流運動エネルギの輸送方程式においては，葉による wake production とエネルギ消散の効果を考慮した[16, 17]．樹冠の熱収支においては，枝や葉の体積占有率が小さいため，熱容量を無視することができる．したがって，樹冠の葉表面の熱収支計算は次式で表される．

$$R_{\mathrm{pS,net}} + R_{\mathrm{pL,net}} - H_{\mathrm{p}} - LE_{\mathrm{p}} = 0 \quad (7)$$

ここで，$R_{\mathrm{pS,net}}$ および $R_{\mathrm{pL,net}}$ はそれぞれ樹冠に吸収される正味の短波および長波放射熱フラックス [W] である．また，H_{p} および LE_{p} はそれぞれ葉面からの顕熱および潜熱フラックス [W] であり，次式により表される[18]．

$$H_{\mathrm{p}} = -Va\alpha_{\mathrm{h}}(T_{\mathrm{air}} - T_{\mathrm{leaf}}) \quad (8)$$

$$LE_{\mathrm{p}} = -VaL\beta_{\mathrm{p}}\alpha_{\mathrm{m}}(e - e_{\mathrm{leaf,sat}}) \quad (9)$$

ここで，V は計算セル（体積要素）の体積 [m^3]，T_{leaf} は葉面温度 [K]，$e_{\mathrm{leaf,sat}}$ は葉面温度 T_{leaf} における飽和水蒸気圧 [Pa]，β_{p} は葉面の蒸発効率 [-] である．なお，式 (7) は計算セル（体積要素）当たりの熱フラックスの収支式であり，式 (7) を満たすように，葉面温度 T_{leaf} を決定する．

3. 計算条件

3.1 対象ケース

シミュレーションの対象ケースとしては，現況（Case1），JSC 現行案（Case2），JSC 修正案（Case3）の 3 ケースを設定した．本稿では JSC 現行案（Case2）および JSC 修正案（Case3）について記述する．シミュレーションの対象領域は，明治神宮外苑付近を中心とする 5km 四方の領域である．水平・鉛直方向の計算格子幅を 5m に設定し，水平方向に 1000 × 1000 点，鉛直方向に 80 点の計算格子を用いた．JSC 現行案（Case2）では，第 5 回国立競技場将来構想有識者会議の公開資料[1]に従って 5m メッシュデータを作成した．なお，安定に計算を実行するために，5m メッシュデータでは新国立競技場側面のピロティや競技場内部の庇などの詳細形状を無視した．JSC 修正案（Case3）は，既存の樹木を維持し，さらに樹木を追加した新規計画案である．JSC 現行案との主な相違点は，以下の通りである．

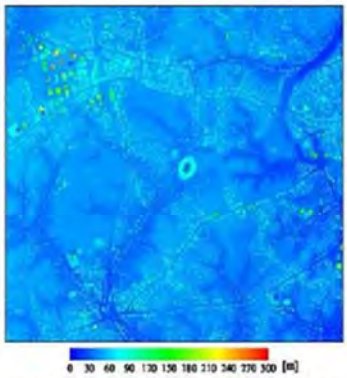
(1) 既存の樹木を維持するために人工地盤を設置せず，現況の地形と土地利用を保持する．

(2) 競技場敷地内の主要路以外の部分に，樹冠の水平投影面積率が 60%程度となるように樹木を配置する．

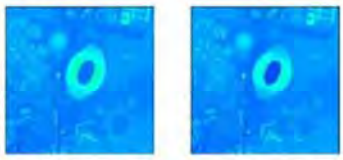
(3) 現在，新宿御苑から競技場の西側にかけての暗渠を流れている渋谷川について，その上に樹冠を配置せず，暗渠を開いて川を再生する．

なお，3 点目は都市デザインの観点から修正案に盛り込まれた．この差異の影響については，ここでは議論しない．また，JSC 修正案（Case3）での新国立競技場の本体形状については，地形の変更に伴う微修正はあるものの，基本的には JSC 現行案（Case2）に従った．

Copyright © 2014 by JSFM

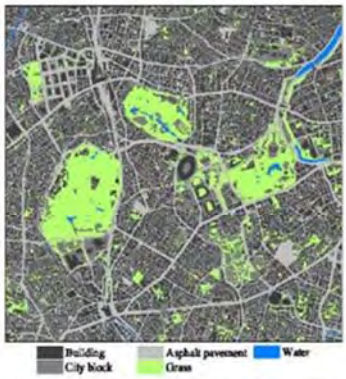


(a) 5km square domain (Case2).



(b) Case2 (c) Case3

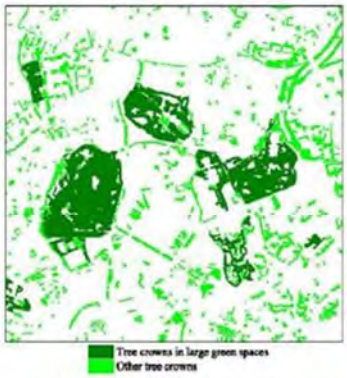
Fig. 1: Ground and building height.



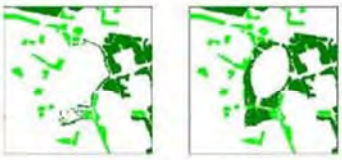
(a) 5km square domain (Case2).

(b) Case2 (c) Case3

Fig. 2: Landuse distributions.



(a) 5km square domain (Case2).



(b) Case2 (c) Case3

Fig. 3: Tree crown distributions.

新国立競技場敷地外の建物高さおよび土地利用データについては，足永・鍵屋 (2010)[19]の方法に従って 2005 年時点の 5m メッシュデータを整備した．図 1 および図 2 にそれぞれ計算領域内の地形・建物高さおよび土地利用属性の分布を示す．競技場敷地の周囲の樹木分布については，現況の樹木分布データを使用した．図 3 に計算領域内の樹冠の分布を示す．なお，樹高については十分なデータが揃っていないため，樹木を大規模緑地の樹木とそれ以外の樹木に大別し，葉面積密度を設定した．具体的には，大規模緑地の樹木では，樹高を 15m，樹冠底面高さを 5m とし，葉面積密度を $0.57\mathrm{m}^2/\mathrm{m}^3$（葉面積指数：5.7）に設定した[4,5]．一方，それ以外の樹木では，樹高を 10m，樹冠底面高さを 5m とし，葉面積密度を $1.0\mathrm{m}^2/\mathrm{m}^3$ に設定した．また，人工排熱として個々の建物の空調排熱，地域冷暖房施設排熱，および自動車排熱を考慮し，顕熱および潜熱を入力した．ただし，新国立競技場に導入予定の地域冷暖房システムについては詳細が明らかにされていないため，その排熱はないものとした．

3.2 気象条件

気象条件には，“典型的なヒートアイランド現象の状況”[20]が見られた 2007 年 8 月 11 日のデータを用いた．この日，日本付近は太平洋高気圧に覆われており，東京では一日を通して晴天で，最高気温が 36.4 ℃に達した．日射量が最大となる 12:00 を開始時刻に設定し，30 分間のシミュレーションを実施した．初期値および境界値には気象庁のメソ数値予報モデル（MSM）再解析データを用いた．流入風の風向は東北東であり，風速は地上 10m の高さで 2m/s 程度である．

4. 結果および考察

4.1 広域の気温分布

図 4 に，Case2 の地上 2.5m における気温の 12:20 から 12:30 までの 10 分間の時間平均値の分布を示す．なお，5km 四方の計算領域全体を図示した．図より，明治神宮内苑・外苑や新宿御苑，赤坂御用地などの大規模な緑地において気温が低い傾向があることがわかる．一方，建物の密集した地域において気温が高い傾向がある．また，図は示していないが，相対湿度についても，大規模緑地で高く，建物の密集地域で低い傾向があり，地表面付近の気温と湿度の水平分布が緑地の分布と対応することが確認された．なお，神田ら (1997)[5]が 1995 年 8 月 10 日

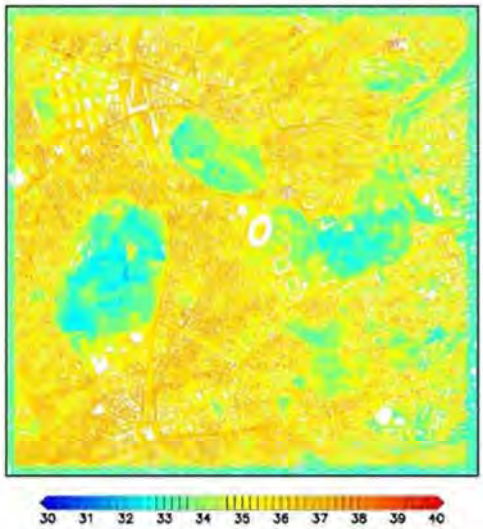


Fig. 4: Horizontal distribution of air temperature (°C) at 2.5m height averaged during 12:20-12:30 (Case2).

（最高気温 35.2 ℃）に明治神宮内苑で行った観測では，明治神宮内苑の中心部の気温が神宮内苑の周囲に比べておよそ 4 ℃低い傾向が確認されている．図 4 では，明治神宮内苑の中心部の気温が周囲より 3〜4 ℃程度低い．この気温差は，神田らの観測結果と整合している．

図 5 に Case2 の 12:30 における温位の等値面の 3 次元可視化図を示す．建物形状（灰色）と樹木（緑色）の分布を可視化し，305.9K，307.5K，および 309.0K の温位の等値面を，それぞれ水色，黄および赤で表示した．図の右側から比較的気温の低い空気が流入し，風下へ流れるにしたがって都市による加熱を受けている様子が確認できる．赤坂御用地や新宿御苑，明治神宮内苑などの大規模緑地には比較的冷たい空気塊があり，都市による加熱の影響が小さい．また，新国立競技場には，赤坂御用

Copyright © 2014 by JSFM

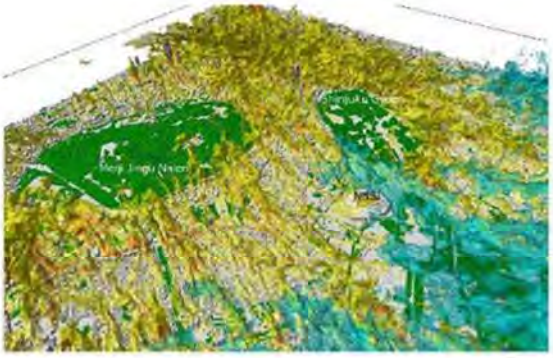


Fig. 5: Isosurface of potential temperature at 12:30 for Case2; red, 309.0K; yellow, 307.5K; cyan, 305.9K.

地を通過した風が流入している．同様の傾向は Case3 の温位の等値面においても確認された．

4.2 新国立競技場周辺の風の流れ，気温および湿度

図 6 に，新国立競技場敷地内において 12:20 から 12:30 までの 10 分間の時間平均の風の流れを示す．なお，新国立競技場の周囲の敷地内のみを図示しており，内部の白抜き部分は競技場建物の本体の位置である．なお，Case2 では人工地盤を建設するため敷地範囲が Case3 よりも広くなっている．計算領域への流入風の風向きが東北東であるため，新国立競技場には東から風が吹き付け，競技場の周囲を回り込むように流れている．また，Case3 では Case2 に比べて風が弱まっている．これは，Case2 では新国立競技場の周囲が開けているが，Case3 では抵抗となる樹木が一面に植わっていることに起因する．

図 7 および 8 に，それぞれ新国立競技場敷地内の気温 T_{air} および相対湿度 Rh の分布を示す．図 6 と同様に，数値は 12:20 から 12:30 までの 10 分間の時間平均値である．また，表 1 に気温，湿度およびその他の温度指標の敷地内平均値，最大値および最小値を示す．図 7 の気温 T_{air} の分布では，Case2 において競技場の南西方向に高温の箇所が見られる．これは，地表面のアスファルトだけでなく，競技場側面が日射によって高温になることに起因する．一方，Case3 では，樹木の蒸散効果や日陰効果により，Case2 に比べて 0.5 ℃以上低温の領域が広がっている．敷地内平均値では Case3 の方が約 0.5 ℃，局所的には最大で約 2.1 ℃低い．図 8 の相対湿度 Rh の分布では，気温の高い場所ほど相対湿度が低い傾向が見られる．これは，飽和水蒸気量の温度依存性に起因している．そのため，Case3 の比較的気温が低い場所では，Case2 に比べて相対湿度が高い．ただし，Case3 では，Case2 に比べて樹木が多いため，蒸散効果によって水蒸気の絶対量も増加している．図には示していないが，Case3 の競技場の南西方向の相対湿度が比較的高い場所では，水蒸気の絶対量が Case2 よりも多くなっていることを確認している．しかし，Case3 と Case2 の相対湿度の差は，最大でも 7%程度である．

4.3 暑さ指数（WBGT 指数）

人が感じる暑さは，気温と湿度だけでなく，日射や周囲の高温の地表面や壁面からの赤外放射の強度にも依存する．そこで，人の感じる暑さについて検討するために，暑さ指数（Wet-Bulb Globe Temperature index, WBGT index）を算出した．暑さ指数は，過酷な熱環境における熱中症リスクを評価するための指標として用いられており，気温（乾球温度）T_{air}，湿球温度 T_{wb}，および黒球温度 T_{globe}，を用いて算出される．黒球温度 T_{globe} は，グローブ球（黒球）を用いて測定される温度指標であり，周囲から受ける放射熱フラックスとグローブ球周りの対流熱伝達（放熱）のバランスによって決まる．本研究では，3 次元放射モデルにより得られた各地表面や壁面からの放射熱フラックスと，気温および風速のデータを用いて，黒球の熱収支式を解くことにより地上高さ 1.1m での黒球温度を算出した．暑さ指数の計算式は，日射の当たる場所と当たらない場所で異なる．“屋内または屋外の日射の当たらない場所”および“屋外の日射の当たる場所”の暑さ指数をそれぞれ $\mathrm{WBGT_{shadow}}$ および $\mathrm{WBGT_{sun}}$ とすると，これらは以下の式によって算出される．

$$\mathrm{WBGT_{shadow}} = 0.7T_{wb} + 0.3T_{globe} \quad (10)$$

$$\mathrm{WBGT_{sun}} = 0.7T_{wb} + 0.2T_{globe} + 0.1T_{air} \quad (11)$$

本研究では，日陰率 σ を用いて次式により WBGT を定義した．

$$\mathrm{WBGT} = \sigma\mathrm{WBGT_{shadow}} + (1-\sigma)\mathrm{WBGT_{sun}} \quad (12)$$

図 9 に暑さ指数の分布を示す．Case3 では，Case2 に比べて暑さ指数が 1 ℃以上低い領域が敷地内の大部分を占めており，暑熱環境が改善されていることがわかる．敷地内平均値でも Case3 の方が約 1.0 ℃低く，局所的には最大で約 4.6 ℃の低下が見られる．なお，局所的には暑さ指数が上昇した場所もあり，最大で 3.3 ℃に達している．これは Case2 に比べて風速が低下したこと，沿道から気温の高い風が流入したこと，地表面の芝生がなくなったこと，および樹木が移動したことに起因している．表 1 に示した湿球温度 T_{wb} と黒球温度 T_{globe} の差より，この 2 ケースの場合には黒球温度 T_{globe} が暑さ指数に大きな影響を及ぼしていることがわかる．したがって，樹木による日射の遮蔽，その日陰による地表面および壁面温度の上昇の抑制，および蒸散効果による樹冠下部の葉面温度の上昇の抑制が，Case3 における暑さ指数改善の主要因であると考えられる．

5. 結言

3 次元放射モデルおよび樹冠解像樹木モデルを実装した大気海洋結合数値モデル MSSG を用いて，明治神宮外苑周辺 5km 四方を対象とする非定常数値シミュレーションを実施し，新国立競技場建設後の熱環境の解析を行った．新国立競技場の周囲については JSC（日本スポーツ振興センター）現行案と，敷地内の樹冠の水平投影面積率が 60%程度となるように樹木を植えた JSC 修正案を設定し，比較を行った．その結果，JSC 修正案では，競技場の周囲の気温が JSC 現行案より平均 0.5 ℃，最大 2.1 ℃程度低くなり得ることが明らかになった．また，3 次元放射モデルにより得られた放射フラックスを用いて暑さ指数（WBGT 指数）の評価を行った．その結果，JSC 修正案では，競技場の周囲の暑さ指数が JSC 現行案より平均 1.0 ℃，最大 4.6 ℃程度低くなり得ることが明らかになった．

謝辞

本研究の数値シミュレーションは，(独) 海洋研究開発機構の地球シミュレータ 2，SGI ICE-X システムおよび SGI UV システムを用いて行われた．また，本研究を行うにあたり，気候変動適応研究推進プログラム（RECCA）の支援を受けた．

参考文献

(1) 独立行政法人 日本スポーツ振興センター，“資料 2 新国立競技場基本設計図（案），” 第 5 回国立競技場将来構想有識者会議 (2014).

(2) Saito, I. et al., “Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in an Urban area,” Energy Build., 15-16 (1990/91), pp. 493-498.

(3) Vu, T. C. et al., “Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park,” Energy Build., 29 (1998), pp. 83-92.

Copyright © 2014 by JSFM