

名古屋市中心部における空閑地緑化が 都市熱環境緩和効果に与える影響

MITIGATION EFFECT OF URBAN HEAT ENVIRONMENT BY PLANTING
GREENERY IN UNUSED AREA OF CENTRAL AREA OF NAGOYA CITY

大西 暁生¹・森杉 雅史²

¹Ph.D. (工学) 富山県立大学工学部 講師 (E-mail: akio123@pu-toyama.ac.jp)

²Ph.D. (工学) 名城大学都市情報学部 准教授 (E-mail: morisugi@urban.meijo-u.ac.jp)

現在、名古屋市では2020年前後を境に人口が減少し、伴って住宅や社会インフラ施設などが減少することが予測され、そのため都市内部には多くの空閑地が発生する。一方で既往研究においては、都市の熱環境を緩和するには、人工的な土地被覆を樹木や草地などといった植生に置換することが効率的であることが明らかとなっている。よって本研究では、GIS データや衛星画像を併用することによって緑地に転換可能な空閑地面積を導出し、その際に都市に与える熱環境緩和効果を定量化する。これらの結果は、特に都市の熱環境緩和対策や住環境整備促進策の立案時に指針として有用になるかと思われる。

キーワード：都市熱環境、緩和効果、空閑地、緑化、名古屋市中心地

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、自動車やエアコンの室外機などからの人工排熱の増加、土地被覆の変化、気象・気候的また地理的な地域特性によって発生する。とりわけ、人工的な土地被覆の増加や自然的な土地被覆の減少が、ヒートアイランド現象を助長している¹⁾。また都市の熱環境の緩和には、人工的な土地被覆を樹木や草地といった自然地に転換・緑化していくことが効果的であることが知られており、住宅やオフィスビルなどのような建物の屋上や壁面の緑化が各自治体の補助の下で進められている。しかし、このような被覆は集密な土地利用が図られている都市部では一般に限られており、都市全体で熱環境緩和効果を見出すためには、なお一層広い転換スペースを確保する必要がある。

一方で現在、多くの都市では市街地の空洞化が深刻化し、また人口減少社会を迎えており、住宅地やインフラ施設の占める土地被覆が今後大きく減少することが予想される。これに伴って、その建物跡地は空閑地、もしくは未利用地として多くが残存する²⁾⁴⁾。このような空閑地は、例えば緑地への転換や憩いの場としての公園施設などに活用を図り、ゆとりある生活空間を創出することが望まれよう。また前述のように緑化は熱環境の緩和効果を持つことから、夏場などのエアコンなどのエネルギー消費の抑制を促し、地球温暖化の対策にも繋がることとなる。

これらの効果を客観的な数値として評価するためには、従来リモートセンシング技術が活用されてきた。同解析手法の下では、土地利用や土地被覆の状況、また地表面温度などを広域かつ詳細に把握することが可能となる。例えば、金子ら⁵⁾、瓜生ら⁶⁾、Kato and Yamaguchi⁷⁾、Lu and Weng⁸⁾、Liu and Weng⁹⁾は、リモートセンシング技術によって取得できる地表面状態と衛星輝度温度、並びに、熱収支モデルから推定できる地表面温度を比較することによって広域温度分布を検証している。しかし、都市熱環境解析に適応されてきた従来の衛星画像の多くは、空間解像度が数十 m 程度と比較的粗く、都市内部の混在する詳細な土地利用や土地被覆の情報を把握することは困難であった。しかし近年では、IKONOS や QuickBird といった空間解像度数 m 程度の衛星画像が市販され、詳細な土地の情報を取得することが可能となっている¹⁰⁾¹⁴⁾。そのため、筆者ら¹⁵⁾¹⁸⁾、廣田ら¹⁹⁾、上野ら¹⁰⁾は、このような高分解能衛星画像の一つである IKONOS 画像を用いて詳細な土地被覆情報を取得する手法を開発してきた。また筆者ら²⁰⁾は、都市内部で増加が懸念されている駐車場への緑化対策として同手法の応用を図り、熱環境緩和効果の推計を行っている。

一方近年では、国や地方自治体の主導の下、GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) による詳細土地利用のデータ整備が進められている。本研究では特にこれらの利活用を図ることを念頭におく。具体的には、名古屋市を対象とし、IKONOS 画像からは樹

木・草地など植生や諸々の被覆情報を取得し、一方で GIS データからは詳細土地利用情報を取得し、これらを組み合わせデータベースとして整備する。次に、季節ごとに昼間の地表面温度と都市空間に散在する空閑地、植生被覆との関係を解析する。また近年では、特に夏の夜間において地表面温度が下がりにくいという事象が発生しているが、その要因を探るため、夏場においては夜間時の検討も行うこととした。最後に、空閑地を緑化した場合の熱環境緩和効果を算定する。ここで季節間比較を図ると、地表面温度が最も高く、また空閑地の緑化による熱環境緩和効果が大きいのは春と夏の昼間であった。

このように本研究は、空閑地の有効利用を図り、自然的な土地利用を促進し、これからの街づくり・住環境の改善に資するような、評価材料を提供することを主眼とする。

2. 空閑地面積の現状とその活用

Fig.1 に、本研究の対象地域と、対象地域内のある街区における空閑地の様子を示す。この対象地域の選定は、入手した IKONOS 画像の撮影範囲から決定しており、名古屋市中心部を含む、およそ 30km² であり、繁華街である栄から東側の住宅地、さらには名古屋大学の一部構内を含んでいる。

Fig.2 に、研究対象地域の土地利用面積の変化を示す。対象地域の空閑地は、1992 年において全面積のおよそ 3% であったものが、2002 年には 5% に増加している。こうした空閑地面積の増加は、他の用途と比較しても、最も大きな土地利用の変化となっている。また、研究対象地域では、公共、商業、工業、樹林地などの面積が減少し、一方で公園の面積が増加していることが分かる。空閑地の面積の増加については、郊外への市街地の拡大や中心市街地の衰退、また少子高齢化などによって空閑地が増加したと考えられているが²¹⁾、その要因の究明については今後さらなる検討を要する。

名古屋市では、「名古屋市緑化推進条例（1978 年 3 月 31 日）²²⁾」の第 7 条によって、空閑地の緑化が示されており、その内容は「空閑地の所有者その他当該土地の使用に関する権原を有する者は、その空閑地の良好な環境を確保するとともに、緑化に努めなければならない」となっている。しかし、この条例は「緑のまちづくり条例（2005 年 3 月 29 日）²³⁾」によって全文を改正され、空閑地を対象とした文言は無くなっている。しかし、緑の保全及び創出については、市、市民及び事業者の責務を明らかにするとともに、「名古屋市緑の基本計画²⁴⁾」においては民有地の緑と公有地の緑を増やすことでその推進を図るものとしている。また、「低炭素都市 2050 など

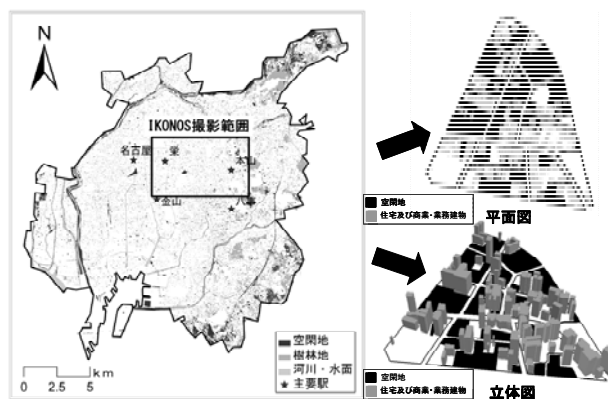


Fig.1 名古屋市における空閑地の空間分布（左）とその住宅地における分布の一例（右：平面図・立体図）

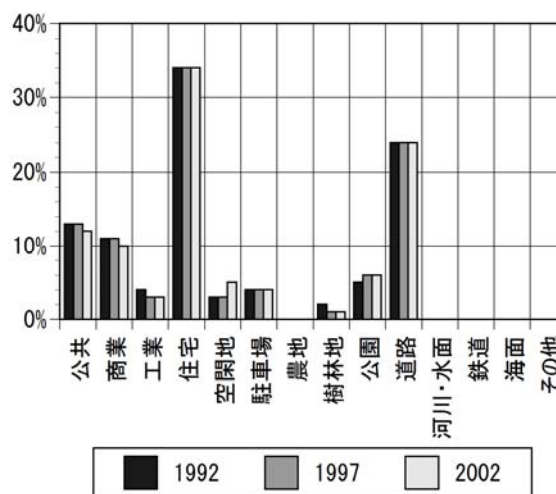


Fig.2 研究対象地域及の土地利用面積の変化
注) 研究対象地域は約 30km² である。

や戦略²¹⁾」では、駅周辺に住宅や商業施設を集約する「駅そば居住」の促進とともに、人口減少や土地利用の見直しによって生まれてくる空閑地の整理を行うことで、緑地や菜園を促進していくことを掲げている。

このように、名古屋市では将来の社会経済の変化を見据えながら、地球温暖化対策の一環として、また都市環境や市民のやすらぎの場などとしての緑地を増やすことに積極的である。ただし、名古屋市中心部のような過密な場所で比較的地価の高い土地を緑地に転換することへの利用価値の問題や、緑化をする際の費用負担をどうするのかといった課題を解決する必要がある。2008 年 10 月から施行された「緑化地域制度²⁵⁾」では、一定規模以上の敷地において、建築物の新築や増築を行う場合に緑化を義務付ける制度や屋上緑化などへの助成があるものの、建築物への緑化が主であり、今後建築物以外においても、規制や経済的なインセンティブによって緑化を促進する方策を考えていく必要がある。

3. データおよび分析方法

3.1. 使用したデータ

本研究ではまず、季節ごとの昼間の地表面温度と空閑地の関係、また地表面温度と樹木や草地の関係を把握する。また併せて、夏の夜間の検証も行う。ここでは、地表面温度に対する空閑地・樹木・草地のそれぞれの面積割合について、総じて単回帰を実行することで相関性を検証する。さらに、春と夏の昼間を対象に、空閑地を樹木や草地によって緑化した場合の熱環境緩和効果を算出する。ここでは、地表面温度と各土地利用・被覆の関係について重回帰モデルを定式化し、各パラメータを推定した後、同モデル式を用いて、空閑地を緑化した場合をシミュレートする。

まず、土地利用のデータは、2002年の名古屋市の都市計画基礎調査²⁶⁾のものを用いる。このデータは、公共、商業、工業、住宅、空閑地、駐車場、農地、樹林地、公園、道路、河川・水面、鉄道、海面、その他に分類されている(調査項目はさらに詳細に分類されているが、筆者らが熱環境分析に使用する目的で項目の統合・再分類を施した)²⁾。ただし、この土地利用データには街路樹や庭木、公園の芝生といった微小な緑地情報までは追跡できるものではない。そのため、2001年4月7日AM10:39(JST)に撮影されたIKONOSデータを用いて、筆者ら^{2),15)-17),20)}や吉川ら²⁷⁾によって分類された方法によって樹木と草地を抽出する²⁾。

ここで、IKONOSのような高分解能衛星画像では画像情報に影が多く含まれており、その扱いには注意を要する。本研究では、影と判別できる部分は情報量として除去している。すなわち、影として判別された部分には例えば樹木や草地と判別されるべき被覆が含まれている可能性がある。また通常、地表面温度の形成には影の面積によって左右されるが、本研究の分析手法ではその影響は無視することになる。本研究対象地における影の面積は、対象地域全体のおよそ12%程度であった²⁷⁾。

IKONOSデータは4つのバンドに分かれており、青(445~516nm)、緑(506~595nm)、赤(632~698nm)、近赤外(757~853nm)、パンクロマティック(526~929nm)といった波長域(バンド)をカバーしている。これらのバンドを用いることで、植生の活性具合などを表す正規化植生指標(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)が算出できる²⁾。正規化植生指標は、IKONOSデータの可視域赤と近赤外の波長の比演算によって算出される。ただし、IKONOSデータは、熱赤外域をカバーしていないため、地表面温度などの情報を得ることはできない²⁾。そのため本研究では、Table 1に示すASTERの地表面温度情報を用いる。使用したASTERの地表面温度情報は、2B03プロダクトのデータであり、熱

Table 1 使用したASTERデータの地表面温度の概要

	春(昼)	夏(昼)	夏(夜)	秋(昼)	冬(昼)
年月日	2004/5/25	2000/7/10	2003/9/26	2003/10/30	2004/1/2
時間	10:45 a.m.	10:55 a.m.	22:00 p.m.	10:45 a.m.	10:46 a.m.
最小(°C)	28.792	35.220	20.607	23.361	10.399
最高(°C)	47.298	53.051	24.989	33.684	18.569
平均(°C)	40.642	44.735	22.361	28.003	14.082

赤外センサー(TIR)に入射する熱赤外放射量から温度-放射率分離処理により地表面温度を求めたものである²⁸⁾。これらは、幾何補正、放射量補正などの補助データをもとに、各補正処理を施したレベル1Bプロダクトを元としている²⁸⁾。ただし、IKONOSデータと併用するため、GCP(Ground Control Point)を設定し、画像に対するゆがみ除去や位置補正処理を施している。

通常、地表面温度は土地被覆によって説明されるのが一般的である。しかし、本研究では土地利用と樹木と草地といった植生被覆を土地利用・被覆のデータとして併用している。その理由として、①IKONOSデータによって、樹木や草地以外の土地被覆を高い精度で抽出することが現時点では困難なこと、②本研究の主題である空閑地といった土地利用に緑化しようと試みていること、③地域計画や土地利用計画などは、人間の利用を基本として考えているため、この単位である土地利用に既定されること、などである。ただし、前述したように、地表面温度は概ね土地被覆によって決定されるのが一般的であり、今後植生以外の被覆についてもその抽出を試みたい。

ただし本研究では、例えば空閑地に樹木や草地が存在する場合は、その面積を除いた部分を空閑地として定義している。他の土地利用用途についても同様であり、樹木や草地といった植生以外の面積を、その土地利用の面積としている。

3.2. 分析方法

(1) IKONOSデータを用いた植生被覆の抽出

ここでは、IKONOSデータを用いて微小な樹木と草地を抽出する。分類方法については、筆者ら^{2),15)-17),20)}や吉川ら²⁷⁾が用いたエキスパート分類手法を適用する²⁾。ここでエキスパート分類とは、ボトムアップ型のプログラミングにより全ての条件を満たすものを1つのグループとして統合もしくは分割し、各土地被覆を分類していく手法のことである²⁾。まず、教師付き分類によって樹木と草地のそれぞれを抽出する²⁾。ここで教師付き分類とは、分類にあたり確実にその土地利用・土地被覆として認識できる個所をトレーニングデータとして抽出し、その情報を基に統計量を用いて分類していく手法である²⁹⁾。しかし、上記の教師付き分類では誤分類が残るため、Fig.3に示す抽出方法のフローに従い、Fig.4に示す

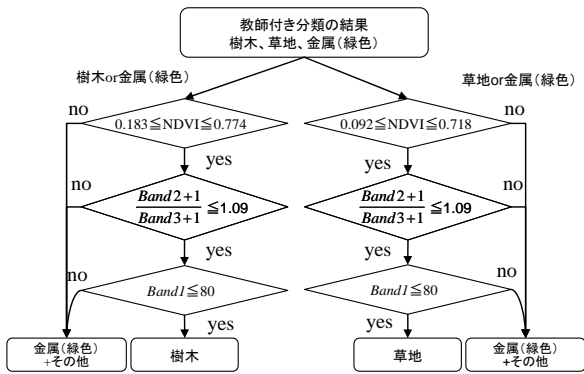


Fig.3 植生（樹木と草地）被覆の抽出方法

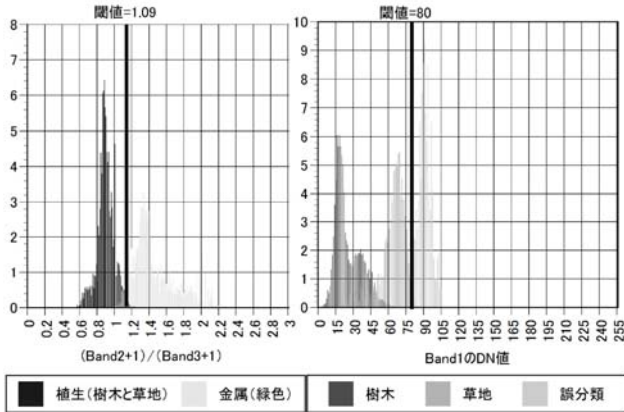


Fig.4 植生と金属（緑色）との閾値設定（左）
植生と誤分類箇所との閾値設定（右）

閾値を用いた分類によって精度を向上する。まず、植生の活性はNDVI値と連動するため、この値を利用し他項目との閾値を設定する。閾値は取得したトレーニングデータからそれぞれのNDVIを算出し、この項目の上限値と下限値を使用する。次に、樹木と草地の分類結果を確認したところ、植生と誤分類の多い金属（緑色）についてはNDVIの幅も類似しており、NDVIのみでは正確に分離できない。そこで、分光特性としてBand2とBand3の比に着目し、金属（緑色）について閾値を設定する（Fig.4の左図）。また、本研究で使用したデータ中にはDN値が0のピクセルが存在するが、これらには1を代入し、バンド間演算を行っている。最後に、さらに誤分類を減らすために、分類結果における誤分類箇所の確認を再度行い、Band1において誤分類箇所との閾値を設定した（Fig.4の右図）。

分類した樹木と草地の分類精度の検証を行うため、サンプルとなる箇所（実際にそれぞれの被覆を持つ地域）のデータを収集し、分類結果と比較した。この結果、適合率（全30サンプルに対する分類結果の適合した割合）は樹木で93.3%、草地で90.0%となり、概ね良好である。とりわけ、教師付き分類の段階では、その精度が樹木で93.3%、草地で80.0%であり、後者における精度の向上は著しい。このことは、草地は樹木と比較した場合、植物

Table 2 季節ごとの地表面温度と空閑地の単回帰分析結果

春の昼間	
R=0.106	y=3.561**x+40.510** (6.488) (941.284)
夏の昼間	
R=0.114	y=4.098**x+44.583** (6.969) (967.054)
夏の夜間	
R=0.083	y=-0.773**x+22.390** (-5.031) (1858.155)
秋の昼間	
R=0.082	y=1.644**x+27.942** (5.001) (1084.074)
冬の昼間	
R=0.038	y=0.562**x+14.062** (2.326) (742.059)

Rは相関係数を示す。
*は5%有意、**は1%有意を示す。

の特性であるNDVIがさほど高くなく、教師付き分類のみでは他の被覆と誤分類される可能性が高いことを示している。このようにエキスパート分類を併せて実施することで精度の向上を図ることは、本研究における手法の特徴であるといえる。その一方で、こうした適合率は取得できるサンプル数と取得箇所により変化する恐れがある。そのため本研究では、この適合率を用いた精度検証に加え、IKONOSの高分解能の特性を活かし、画像全体に渡り、目視判読での評価も併用し精度の向上を目指している。ただし、例えば実際の土地利用計画や緑地計画といった政策立案を行う場合には、当然、より高い精度が求められる。そのため今後、更なる手法の検討を重ね、出来る限り現実に即した被覆が取得できるように分類精度を向上していきたい。そのため現時点では、以降の回帰分析及びシミュレーションでは、こうした若干の分類精度の誤差が含まれていることに留意されたい。

上記分類手法で抽出した結果のサンプル画像をFig.5に示す。ここで得られた樹木と草地の植生被覆のデータは、都市計画基礎調査の土地利用データと統合し、本研究における土地利用・被覆のデータベースとして整理される。ただし前述したように、樹木や草地といった植生被覆がある土地利用カテゴリ内に含まれる場合は、その面積を除いた部分を当該土地利用カテゴリの面積として定義している。

(2) 回帰分析

まず、ASTERの地表面温度データの解像度を基準とし、90m×90mの格子ごとに各土地利用・被覆の面積とその割合を算出する。全てのデータは3688の格子になる。これらのデータを用いて、まずは地表面温度と空閑地・樹木・草地のそれぞれの関係を単回帰分析する。次に、地表面温度と各土地利用・被覆の関係を重回帰分析することによって推定式を導出する。最後に、この推定式を用いて空閑地を緑化した際のシミュレーションを行う。

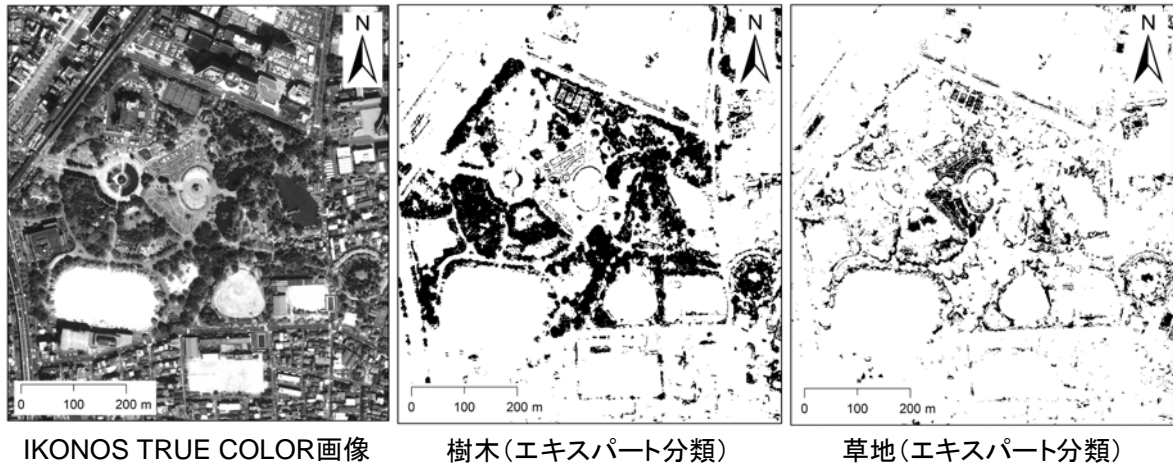


Fig.5 IKONOS 画像とエキスパート分類によって抽出した樹木と草地

注) TRUE COLOR (トゥルーカラー) 画像とは、肉眼で見るのと同じ印象になるように合成した画像である。

4. 結果

4.1. 単回帰分析の結果

Table 2 に、季節ごとの地表面温度と空閑地の単回帰分析の結果を示す。この結果は、被説明変数である各格子の季節ごとの昼間及び夏の夜間の地表面温度と、説明変数である各格子の空閑地の面積割合から求めている。得られた係数はすべて1%ないしは5%有意水準を満たしている。この結果、まず空閑地が夏の夜間を除いて地表面温度の上昇要因であることが分かった。しかし、夏の夜間の係数が負であることから、この時間帯では温度低減要因として作用することが分かった。また、その係数が特に大きいのは夏の昼間であり、次いで春の昼間となっている。このこと並びに後述する理由によって、空閑地緑化の有効性を検証する際には、特に春と夏の昼間に着目すべきことがうかがえる。

Fig.6 に、各格子における季節ごとの昼間及び夏の夜間の地表面温度を被説明変数とし、各格子における樹木・草地の面積割合を説明変数とした、単回帰分析の結果を示す。これらの結果から、樹木や草地は一貫した温度低減要因であることが分かる。特に、推定した回帰式の係数を見てみると、地表面温度が高くなる春と夏の昼間において係数が小さく、温度低減要因として効果が高いことがうかがえる。一方、夏の夜間や冬の昼間などは温度低減効果としてさほど高くないことが分かった。

そのため上記の結果をまとめると、空閑地が温度上昇要因として高く、また樹木や草地が温度低減要因として効果を発揮する春と夏の昼間において空閑地緑化対策の効果が見込めると考えられる。

現在、住宅やオフィスビルなどを対象に屋上緑化や壁面緑化が進められている。しかし2章でも述べたように、空閑地については特別な配慮が図られているわけではな

Table 3 重回帰分析結果

変数	春(昼)		夏(昼)	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
公共	0.757** (3.962)	0.191	0.558** (2.847)	0.196
工業	3.02** (6.185)	0.488	2.36** (4.711)	0.501
住宅	3.027** (17.639)	0.172	2.658** (15.092)	0.176
空閑地	1.035** (2.741)	0.378	0.788* (2.034)	0.388
駐車場	2.454** (5.083)	0.483	3.007** (6.070)	0.495
樹林地	-14.520** (-6.762)	2.147	-7.432** (-3.374)	2.203
道路	1.927** (7.236)	0.266	0.850** (3.113)	0.273
河川・水面	-2.112 (-1.835)	1.151	-3.358** (-2.844)	1.181
鉄道	5.516** (4.851)	1.137	4.741** (4.064)	1.167
樹木 (IKONOS)	-7.341** (-30.478)	0.241	-9.225** (-37.326)	0.247
草地 (IKONOS)	-4.535** (-7.047)	0.643	-5.528** (-8.373)	0.66
定数項	40.172** (250.805)	0.16	44.904** (273.241)	0.164
R ²	0.603		0.637	
Adj. R ²	0.602		0.636	
サンプル数	3688		3688	

R²は重決定係数を、Adj. R²は自由度修正済み決定係数を示す。
*は5%有意、**は1%有意を示す。

い。そのため、今後増加が懸念される空閑地において緑化を進めていくことは一つの有効な利用手段であると考えられる。

4.2. 重回帰分析の結果

ここでは、春と夏の昼間を対象とし、3章で説明した土地利用・被覆データベースを元に説明要因を抽出し、重回帰モデルによって地表面温度の推計式を算出する。Table 3 に、パラメータ推定結果を示す。ここで被説明変数は4.1と同様であり、説明変数は各格子の土地利用・被覆の面積割合となる。また、全ての土地利用・被覆項目を説明変数として考慮する場合、完全な多重共線性が

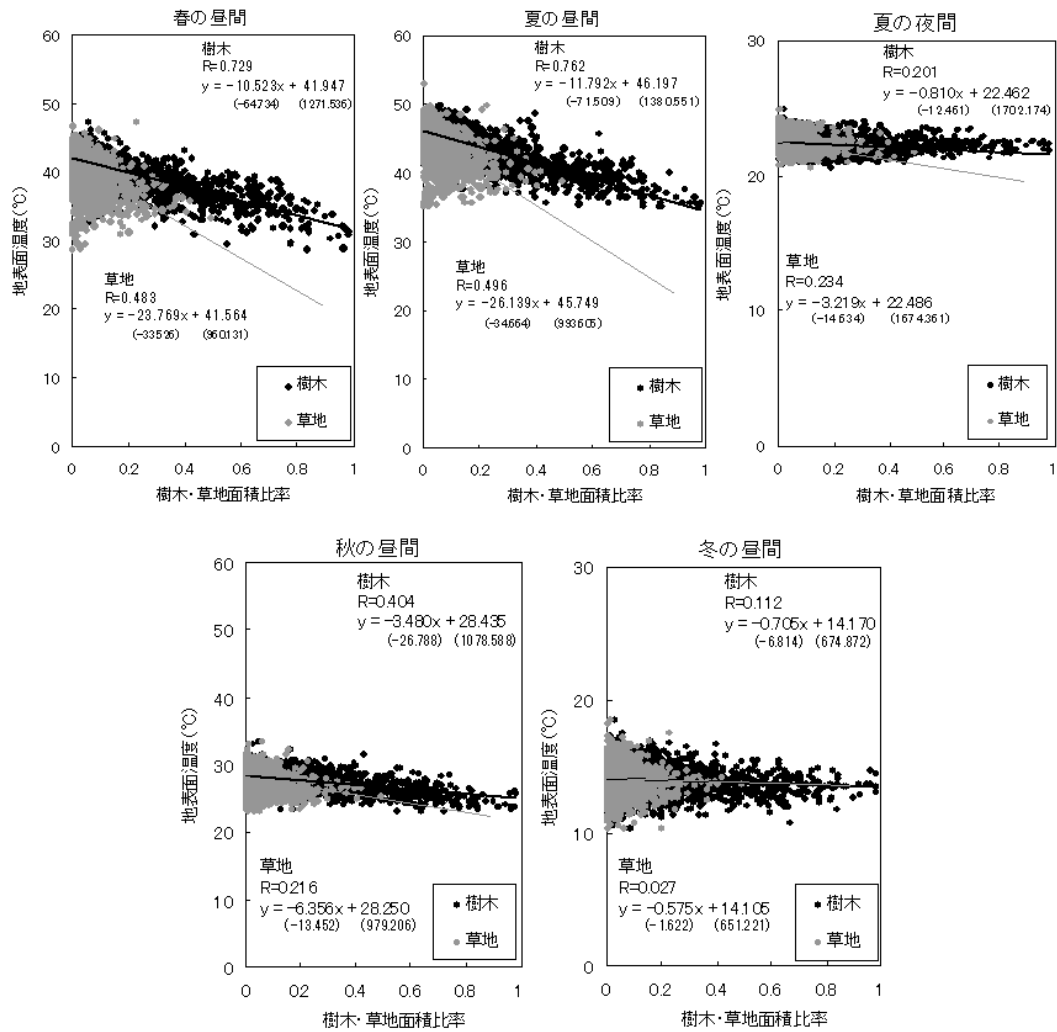


Fig.6 地表面温度と樹木・草地の単回帰分析結果

発生するので、任意の変数選択を施してある。

結果、春の昼間の自由度修正済み決定係数は0.602、夏のそれは0.636であった。得られた推定値のt値は概ね1%有意水準を超え、良好である。また、人工的な土地利用である鉄道、住宅、工業、駐車場などでは係数が高く、顕著な地表面温度の上昇要因であることがうかがえる。一方、自然的な土地利用・被覆である樹林地、河川・水面、樹木 (IKONOS)、草地 (IKONOS) は温度低減要因であることが分かる。

4.3. 空閑地緑化の結果

ここでは前節で構築した重回帰モデルを用い、シナリオごとの地表面温度の推定を行い、空閑地の緑化による地表面温度の低減効果をシミュレートする。前提条件となる緑化の可能性については、樹木と草地のそれぞれを空閑地の全面積まで緑化する場合を仮定し、潜在的な温度低減効果を検証していく。さらに、空閑地の全面積を緑化する場合には、参考として、「樹木50%+草地50%」で混栽した場合もシミュレートする。その際、各格子の

空閑地の面積は徐々に減少するのに対して、樹木や草地の面積が増加することとなる。ただし、それ以外の土地利用面積は変化しないこととしている。

また、シミュレーション結果を平均的な地表面温度として評価する際には、以下の2つの方法を用いる。

- ① 本研究対象地全体の平均地表面温度の変化をみる。すなわち、空閑地が存在し緑化をした格子と空閑地が存在せず緑化も行わない格子の双方を対象に、それぞれの格子ごとに地表面温度を計算しその総和をとり、本研究対象地全体の3688の格子数で除したものである。これによって、本研究対象地全体の平均的な地表面温度が何度緩和されるのかが分かる。
- ② 空閑地が含まれる格子の平均地表面温度の変化をみる。すなわち、空閑地が存在し緑化を施した格子のみを対象に、格子ごとに地表面温度を計算しその総和をとり、空閑地が含まれる2420の格子数で除したものである。これによって、空閑地が含まれる格子のみの平均的な地表面温度の緩和効果が推計される。ここで、実際には空閑地のみ地表面温度の変化を

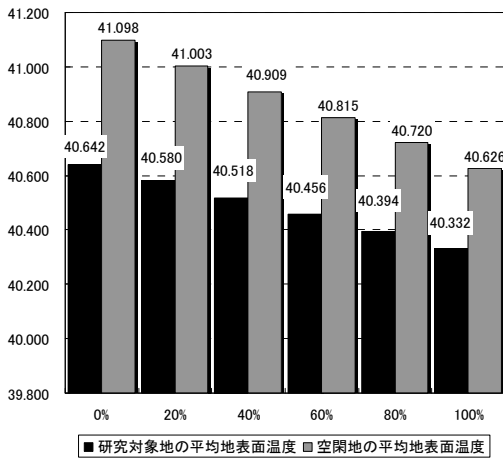


Fig.7 空閑地緑化（樹木）による地表面温度変化（春の昼間）

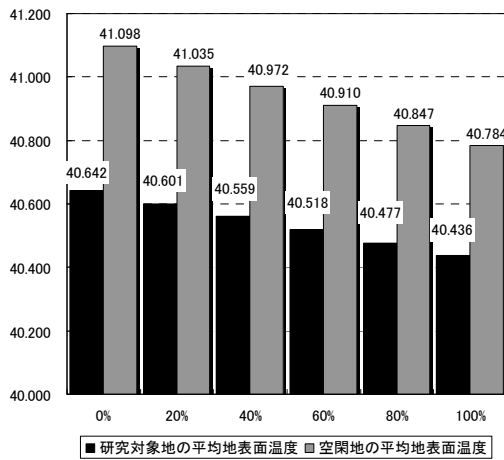


Fig.8 空閑地緑化（草地）による地表面温度変化（春の昼間）

みるのが好ましいが、ASTER の空間解像度が 90m × 90m であるため、空閑地が含まれる格子全体の地表面温度を対象として評価する。

Fig.7 と Fig.8 に、春の昼間における樹木と草地の空閑地緑化シミュレーションの結果を示す。

まず樹木によって空閑地全体を緑化した場合、現状と比較して、対象地域全体の平均地表面温度は 0.309°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.472°C 低下する。また、草地によって空閑地全体を緑化した場合、対象地域全体の平均地表面温度は 0.206°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.314°C 低下する。さらに、「樹木 50%+草地 50%」で植栽した場合は、研究対象地域全体の平均地表面温度は 0.258°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.393°C 低下することとなった。

ここで、春の昼間において、現状と樹木 100% で植栽した場合の地表面温度分布画像をみると、Fig.9 中の黒丸部分では、「樹木 100%」で植栽した場合、現状と比較して最大で 8.377°C 低下することが分かった。

Fig.10 と Fig.11 に夏の昼間における樹木と草地の空閑

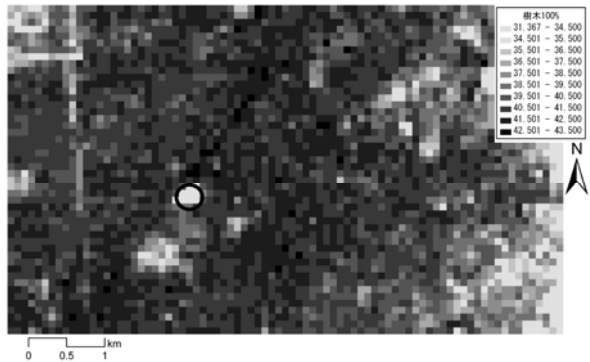
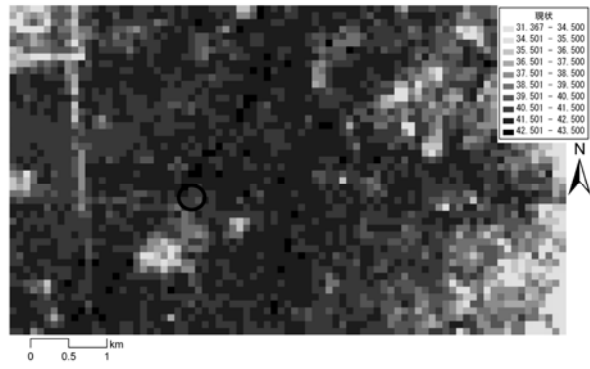


Fig.9 現状（上）と樹木 100%（下）で植栽した場合の地表面温度分布画像（春の昼間）

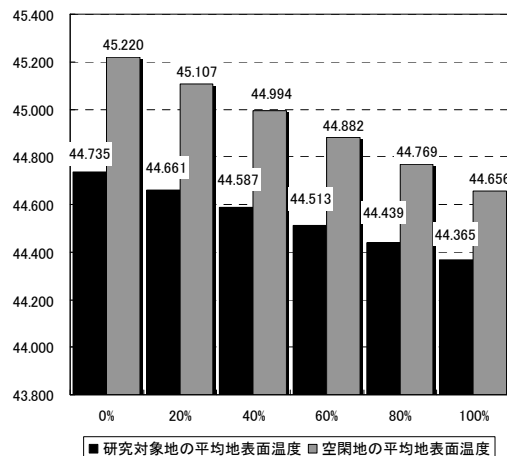


Fig.10 空閑地緑化（樹木）による地表面温度変化（夏の昼間）

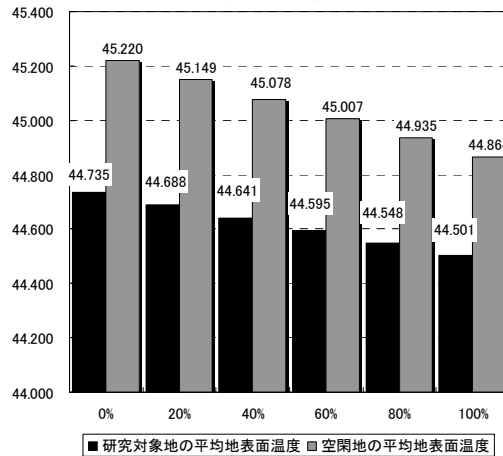


Fig.11 空閑地緑化（草地）による地表面温度変化（夏の昼間）

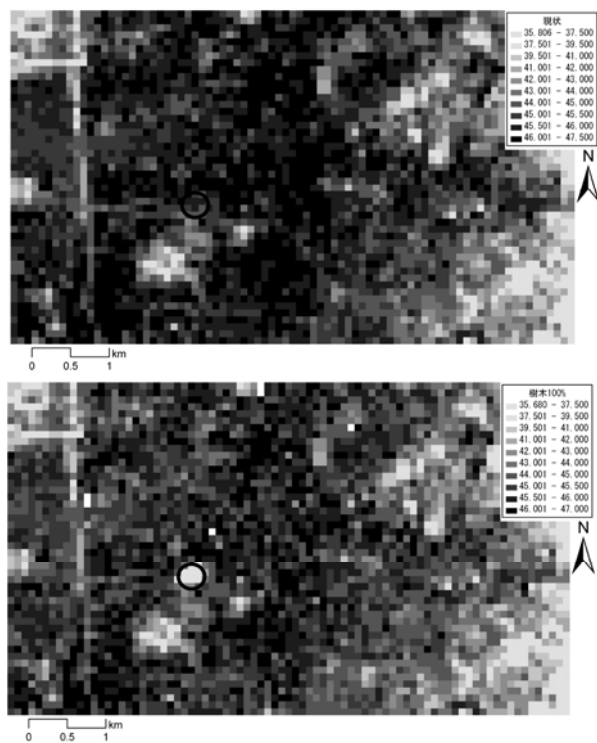


Fig.12 現状 (上) と樹木 100% (下) で植栽した場合の地表面温度分布画像 (夏の昼間)

地緑化シミュレーションの結果を示す。

樹木によって空閑地全体を緑化した場合、現状と比較して、対象地域全体の平均地表面温度は 0.370°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.564°C 低下する。また、草地によって空閑地全体を緑化した場合、対象地域全体の平均地表面温度は 0.233°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.356°C 低下する。さらに、「樹木 50%+草地 50%」で植栽した場合は、対象地域全体の平均地表面温度は 0.302°C 低下し、空閑地が含まれる格子の平均地表面温度は 0.460°C 低下することとなった。

ここで、夏の昼間において、現状と樹木 100%で植栽した場合の地表面温度分布画像をみると、Fig.12 中の黒丸部分では、「樹木 100%」で植栽した場合、現状と比較して最大で 10.013°C 低下することが分かった。この地表面温度の低減幅は、比較的に大きなものであり、大規模な空閑地の緑化は効果的な政策メニューになる可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、IKONOS から抽出した樹木や草地といった植生被覆のデータと名古屋市が整備した土地利用データを利用することによって、季節ごとの地表面温度と空閑地・樹木・草地のそれぞれの関係を明らかにした。さらに、春と夏の昼間を対象に、空閑地を緑化した場合の

熱環境緩和効果を分析した。この結果、その効果は確保できる空閑地の面積次第で変化するが、そのポテンシャルは決して低くないことが示唆された。

今後の課題を以下にまとめる。

- 1) 本研究では、IKONOS から取得した樹木や草地といった詳細な植生被覆の情報を用いているが、その分類精度には未だ課題が残される。
- 2) 本研究では、植生の被覆と土地利用のデータを併用している。これは、植生被覆が土地利用としての空閑地に緑化された場合にどの程度地表面温度を緩和させる効果があるのを知るためである。ただし本来ならば、地表面温度は土地利用によって影響されるものではなく、その土地の表面材質である被覆によって決まるものである。そのため、今後、植生以外の被覆に関してもその情報を知ることによって、各土地利用がどのような被覆になっているのかを分析・検討し、結果に反映させていきたい。
- 3) IKONOS 画像からは影と判別される部分は本研究では情報から除去しているが、樹木や草地など他の被覆項目として分類されるべき部分が埋没している可能性がある。その正確な抽出と重回帰モデルにおける統計量の精度の向上が必要である。
- 4) 本研究では重回帰モデルによる地表面温度の推計を図っているが、集計格子に含まれる任意の二つの被覆項目面積割合に相関が高く、よって、多重共線性の問題が不可避であることが、高分解能衛星画像には頻繁に発生する。統計量の信頼性に重点をおいた分類・データベース化手法の確立が必要である。
- 5) 本研究で用いた手法は、広範囲の熱環境情報を即時的に統計処理することを容易にするが、一方で、モデルで説明されない要因 (時間的変化、他の気象や気候状況を伴うもの) による影響を吟味することは困難である。経験則を元とし、物理的な相互影響を加味した熱収支モデルなどを同時に扱うことで、推計の精度の相互チェックを行うことが考えられる。またこのような方法により、より幅広い条件下での地表面温度の推計も可能となる。
- 6) 緑の効能には安らぎ・暮らしやすさという主観的な価値基準の下で評価されるべきものもある。より実用性を高めるためには、社会科学的な評価手法の導入も必要であろう。
- 7) 本研究で得られた知見は、対象地である名古屋市中心部の建物密度、建物表面材質、土地被覆のあり方を前提とした分析結果である。すなわち、都市構造や土地利用が異なる地域では、また別途の特徴がみられる可能性がある。そのような恣意性を拭うには、事例研究を積み重ね、相違点を比較し、明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人日本建築学会(2007) 『ヒートアイランドと建築・都市 対策のビジョンと課題 (日本建築学会叢書5)』社団法人日本建築学会.
- 2) 大西暁生, 曹鑫, 森杉雅史, 奥岡桂次郎, 井村秀文(2010) 「名古屋市中心地における空閑地緑化による都市熱環境緩和効果」『都市計画報告集』8(4), 176-180.
- 3) 大西暁生, 高平洋祐, 東修, 谷川寛樹, 井村秀文(2009) 「名古屋市の民生部門における CO₂ 排出量の将来シナリオ分析」『環境システム研究論文発表会講演集』37, 351-358.
- 4) 大西暁生, 高平洋祐, 平川隆之, 谷川寛樹, 井村秀文(2010) 「低炭素・低物質社会構築に向けた都市シミュレータの開発～名古屋市の住宅及び商業・業務建物を対象として～」『日本建築学会東海支部研究報告集』48, 497-500.
- 5) 金子慎治, 前田利家, 上野賢仁, 井村秀文(1994) 「リモートセンシング輝度温度による都市域気温分布の推定—北部九州, 関西, 関東3地域への適応と比較—」『環境システム研究』22, 267-27.
- 6) 瓜生良知, 上野賢仁, 井村秀文(1991) 「都市の熱環境制御手法に関する研究 (第2報)」『環境システム研究』19, 83-88.
- 7) Kato, S., Yamaguchi, Y. (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ data: separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sens. Environ.*, 99, 44-54.
- 8) Lu, D., Weng, Q. (2006). Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sens. Environ.*, 104, 57-167.
- 9) Liu, H., Weng, Q.H. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environ. Monit. Assess.*, 144 (1-3), 199-219.
- 10) 上野賢仁, 井村秀文(2004) 「名古屋市域を対象とした高分解能衛星画像による土地被覆と衛星輝度温度の解析」『環境システム研究論文発表会講演集』32, 537-542.
- 11) Sawaya, K.E., Olmanson, L.G., Heinert, N.J., Brezonik, P.L., Bauerr, M.E. (2003). Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sens. Environ.*, 88, 144-156.
- 12) Nichol, J., Lee, C.M. (2005). Urban vegetation monitoring in Hong Kong using high resolution multispectral images. *Int. J. Remote Sens.*, 26(5), 903-918.
- 13) Cheng, W.C., Chang, J.C., Chang, C.P., Su, Y., Tu, T.M. (2008). A fixed-threshold approach to generate high-resolution vegetation maps for IKONOS imagery. *Sensors.*, 8 (7), 4308-4317.
- 14) Mathieu, R., Freeman, C., Aryal, J. (2007). Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery. *Landsc. Urban Plan.*, 81 (3), 179-192.
- 15) 大西暁生, 廣田福太郎, 吉川拓未, 森杉雅史, 井村秀文(2003) 「高分解能衛星画像を用いた詳細土地被覆情報と輝度温度との関係—緑地の特性に着目して—」『環境システム研究論文集』31, 357-365.
- 16) 大西暁生, 松浦未央子, 森杉雅史, 井村秀文(2005) 「LANDSAT ETM+画像におけるヒートアイランド現象の把握と IKONOS 画像を用いた特殊空間緑化の熱環境緩和効果に関する研究」『環境共生学会審査付研究発表論文』10, 92-102.
- 17) 大西暁生, 森杉雅史, 林良嗣, 井村秀文(2006) 「詳細土地被覆情報を用いた土地利用別ヒートアイランド緩和効果に関する研究」『環境の管理』61, 23-35.
- 18) 大西暁生, 森杉雅史, 村松由博, 井村秀文, 林良嗣(2008) 「愛知県豊田市における詳細土地被覆情報の取得と熱環境解析への適用に関する研究」『地球環境研究論文集』16, 181-190.
- 19) 廣田福太郎, 大西暁生, 森杉雅史, 井村秀文(2008) 「高分解能衛星を用いた都市内緑地分析に関する研究」『環境システム研究論文集』30, 91-99.
- 20) A. Onishi, X. Cao, T. Ito, F. Shi and H. Imura (2010). Evaluation the potential of urban hat island mitigation by greening parking lots, *Urban forestry & Urban greening*, 9 (4), 323-332.
- 21) 名古屋市(2001) 『低炭素都市 2050 なごや戦略』http://www.city.nagoya.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000011/11352/honpen_zenpen_2.pdf [2011, January 23].
- 22) 名古屋市(1978) 『名古屋市緑化推進条例』<http://www.env.go.jp/policy/chie-no-wa/ordi/text/15231002111.htm> [2011, January 23].
- 23) 名古屋市(2005) 『緑のまちづくり条例』http://www.reiki.city.nagoya.jp/reiki_int_nfm/reiki_honbun/5021092001.html [2011, January 23].
- 24) 名古屋市(2001) 『名古屋市緑の基本計画』<http://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/cmsfiles/contents/0000010/10621/gaiyo.pdf> [2011, January 23].
- 25) 名古屋市(2008) 『緑化地域制度』<http://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/cmsfiles/contents/0000008/8169/ryokkatiikinogaiyou4.pdf> [2011, January 23].
- 26) 名古屋市環境局提供: 平成14年度名古屋市都市計画基礎調査(土地利用).
- 27) 吉川拓未, 廣田福太郎, 大西暁生, 森杉雅史, 井村秀文(2003) 「都市域の熱環境解析のための詳細土地被覆情報に関する基礎的研究」『環境システム研究論文発表会講演集』31, 591-597.
- 28) Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)

(2000-2010) 『ASTER プロダクツとは』

http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/exhibition_j/a_products_j/a_product2_j.html [2011, January 23].

- 29) 長谷川均(1998) 『リモートセンシングデータ解析の基礎』古今書院

謝辞

本研究を実施するにあたり、名古屋市環境局環境都市推進部地球温暖化対策室から多大なるご協力を得た。また、本研究は名古屋大学・井村秀文教授の行う環境省の地球環境研究総合推進費（研究課題番号 E-0806）「低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究」の一環として行われたものである。記して深謝する。

MITIGATION EFFECT OF URBAN HEAT ENVIRONMENT BY PLANTING GREENERY IN UNUSED AREA OF CENTRAL AREA OF NAGOYA CITY

Akio ONISHI¹ and Masafumi MORISUGI²

¹Ph.D. (Engineer) Lecturer, Toyama Prefectural University, Faculty of Engineering
(E-mail: akio123@pu-toyama.ac.jp)

²Ph.D. (Engineer) Associate professor, Meijyo University, Faculty of Urban Science
(E-mail: morisugi@urban.meijo-u.ac.jp)

To mitigate the urban heat environment, it is now becoming common practice to increase natural vegetation such as trees and grass. Particularly, the planting of greenery on roof-tops and on the walls of houses, buildings etc. has been promoted by many municipalities. However, it is also important to plant greenery in unused areas to increase the vegetation. In fact, covering unused areas with greenery not only has an effect on mitigating urban heat environment, but also offers a place of recreation and relaxation to people. In this study, first, we extracted the green covers such as trees and grass by using the high resolution satellite imagery, IKONOS. Then, we merged the land use data and greenery (LUG). We also acquired the land surface temperatures (LST) during different seasons and times. After which, we analyzed relationship between the LUG and the LST data. We also simulated mitigation effect of urban heat environment by planting greenery in unused areas.

Key Words: *Urban Heat Environment, Mitigation Effect, Unused Area, Planting Greenery, Central Area of Nagoya City*