

近世以降の土地利用変化に起因するローカルな気候変動
～数値シミュレーションによるアプローチ～

Local Climate Change Related with Land Use Change since the Near Modern
Period: A Numerical Experiment

—ノ瀬俊明*
Toshiaki ICHINOSE*

ABSTRACT; LUIS (Land Use Information System) is a digital land use data set covering all Japan with 2 km grid. The land use on each grid point in circa 1850, circa 1900, circa 1955 and circa 1985 were compiled in LUIS. By the numerical simulations with a mesoscale model referring to LUIS, the author attempted to pick up the influence on near surface air temperature by regional warming related with land use change during around 135 years.

During 4 periods, the area showing the regional warming related with land use change has expanded. This feature was significant around Tokyo and Osaka. The maximum difference between circa 1850 and circa 1985 emerged at 9PM and the minimum emerged at 6AM. The former was 1.8 Celsius degrees in Tokyo (Otemachi).

Urbanization during 4 periods weakened the daytime penetration of sea breeze in south Kanto and it brought a regional warming. The warming area moved to north with expanding on the Kanto Plain by sea breeze since daytime to mid-night. But an effect of recovery of forest in the mountainous area in central Japan was not clear. In Osaka Plain the movement of warming area by sea breeze was smaller than in Kanto Plain.

Key Words: warming, urbanization, numerical simulation, land use, historical climatology

1. はじめに

日本の大都市では、都市化の影響として $1^{\circ}\text{C}/(100 \text{ 年})$ のオーダーでの経年上昇がある¹⁾²⁾。19 世紀後半以降東京 (1876 年～) をはじめ日本各地に観測網が展開し、現在までの長期的な気温の変動について情報が与えられている。とりわけ東京のデータは、都市化に伴う都市気候の変化を把握する資料として多用されている³⁾。一方、今日ではメソスケール気象モデルや計算機の進歩により、土地利用分布等地表面の詳細な境界条件を与えることにより、局地的な風系や地上気温分布を計算することが可能となっている⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。土地利用に関しては、過去 3 時点 (1900 年頃, 1955 年頃, 1985 年頃) における日本全国の 2km メッシュ土地利用データ⁸⁾ が作成され、国立環境研究所 GRID-つくばオリジナルデータベースの 1 項目として公開された。また、当該データベースには納められていないが、1850 年頃を対象としたデータセット⁹⁾ も作成された。これらの成果はアトラス¹⁰⁾ としても公開されており、当該期間における日本の土地利用の劇的な変化を視覚的に捉えることが可能である。例えば、中部地方における 1850 年頃～1985 年頃の土地利用変化の大きな特徴として、1) 南関東など平野部における都市域の拡大、及び 2) 中部山岳地帯における森林の回復、

* 国立環境研究所地球環境研究センター Center for Global Environmental Studies, National Institute for Environmental Studies

の2つが挙げられる。このような地表面の大規模な変化は、地表面熱収支の変化を通じて局地的な気候変化をもたらすことが予想される。これについては、メソスケール気象モデルに地表面境界条件として過去の土地利用分布を入力することにより、過去の時点において出現し得た局地的な風系や地上気温分布を再現することが可能と思われる。

2. 研究の動向

都市化の進展等土地利用変化に伴う気温変化については、従来統計学的手法^{11) 12) 13)}により研究されてきた。これらの多くは、1)地上観測気温に対する都市化のもたらす局地的な温暖化の影響と、2)地球温暖化¹⁴⁾等広域の気温変動の影響を分離する試みでもあった。最もオーソドックスな方法として知られているのは、都市化の進んだ地域と進んでいない地域とで気温上昇を比較するやり方¹⁵⁾である。この場合、比較の対象となる2時点間で土地利用変化と気温の観測値が定量化されており、両地域においてより広域の気候変動が共通であるとなしめる必要がある。こうした比較に用いられるのは一定期間における平均気温であることが多く、盛夏時における日最高気温のような特定の季節の特定の時間帯を対象とした比較は困難である。

日本において、比較的稠密な土地利用データと気象データがともに整備されているのは1970年代後半以降であり、リモートセンシングの活用¹⁶⁾を含め、最近約20年間についてはこのような研究は容易である。また、将来の土地利用変化シナリオを境界条件とした気温上昇シミュレーション¹⁷⁾は、数値計算によりいくつも行われている。この20年間の土地利用変化は気温上昇との関係を論じるのに十分な大きさではないが、土地利用を与えるメッシュを細かくした場合、10年程度のスパンでの計算¹⁸⁾によっても土地利用変化に伴う気温上昇を求めることができる。

比較のタイムスパンを長くとることができれば、土地利用変化に伴う地表面熱収支の変化が地上気温分布や風系にもたらした影響はより鮮明なものとなろう。こうした計算例としては、1710年のライン川上流地域¹⁹⁾、天保年間(1830年～1844年)の江戸^{20) 21)}、1925年の福岡²²⁾がある。これらの研究においては、当該期間における土地利用分布を古地図等より作成して与えている。前3編は気象観測開始以前の年代を対象としているため、観測気象データとの比較は行われていない。計算結果の確からしさに関しては、現代の観測値がうまく説明されるかどうかが唯一の考察材料となる。さらにこれらの計算においては、地球温暖化等広域の気温変動の影響を考慮しておらず、2時点間の気温上昇は土地利用変化のみで説明できるとの立場に立っている。なお柴田ら²²⁾については計算領域が40km四方と狭く、九州内陸山岳域の熱低気圧²³⁾による大規模海風²⁴⁾を考慮していない。

3. 本研究の目的

本研究で対象とするのは、南北に長く気候の多様な日本において、異なる気候下にあると考えられる5つの大都市(札幌、仙台、東京、大阪、福岡)である。これら5大都市の周辺では、近世末以降平野部の都市化が進行している(図1)。とりわけ東京周辺、大阪周辺の都市化が顕著である。この間の土地利用変化の大まかな傾向を把握するため、5大都市周辺の数百km四方(図1の範囲)における1850年頃と1985年頃の土地利用比率とその増減をまとめた(表1)。2時点の比較では、山岳地域における荒地の減少と平野部における都市的土地利用の拡大が顕著である。とりわけ、東京、大阪、福岡の周辺における都市的土地利用の拡大からは局地的な気温上昇が予想される。

日本では気象観測が始まってから約120年しかたつておらず、それ以前の気候を復元する試みはなされているものの、多くの問題からいまだその方法は確立されていない²⁵⁾。その代表的なものとしては、各地に残る古文書、古日記の中の天候等に関する記述を参考に、日本における歴史時代の気候の変遷を読み解くという息の長い作業である。とりわけ近世以降は文献として残っている資料の数も多く、例えば江戸時代中期以降の夏の暑さ^{26) 27)}、あるいは冬の寒さ²⁸⁾などが定性的ではあるが明らかにされつつある。また、歴史

表1 5大都市周辺の計算対象領域における土地利用変化(%)

a 札幌周辺 b 仙台周辺 c 東京周辺 d 大阪周辺 e 福岡周辺

a

around Sapporo	circa 1850	circa 1985	budget
Paddy Field	1.1	9.0	+7.9
Dry Field	0.0	8.3	+8.3
Orchard etc.	3.8	1.6	-2.2
Forest	86.7	65.1	-21.6
Rough Land	6.8	8.6	+1.8
Urbanized Area	0.0	5.6	+5.6

d

around Osaka	circa 1850	circa 1985	budget
Paddy Field	18.9	11.9	-7.0
Dry Field	3.7	1.7	-2.0
Orchard etc.	2.0	3.0	+1.0
Forest	58.6	61.2	+2.6
Rough Land	12.4	2.2	-10.2
Urbanized Area	2.3	17.4	+15.1

b

around Sendai	circa 1850	circa 1985	budget
Paddy Field	13.7	16.1	+2.4
Dry Field	5.0	3.2	-1.8
Orchard etc.	0.4	1.8	+1.4
Forest	61.3	64.4	+3.1
Rough Land	16.9	4.0	-12.9
Urbanized Area	1.6	9.3	+7.7

e

around Fukuoka	circa 1850	circa 1985	budget
Paddy Field	21.9	18.4	-3.5
Dry Field	9.2	3.5	-5.7
Orchard etc.	1.3	8.8	+7.5
Forest	44.7	45.6	+0.9
Rough Land	18.2	3.7	-14.5
Urbanized Area	3.6	18.4	+14.8

c

around Tokyo	circa 1850	circa 1985	budget
Paddy Field	12.0	9.0	-3.0
Dry Field	14.9	6.2	-8.7
Orchard etc.	0.2	4.8	+4.6
Forest	54.4	53.8	-0.6
Rough Land	12.1	2.5	-9.6
Urbanized Area	4.9	21.8	+16.9

時代における天候のデータベース²⁹⁾も構築されている。しかしこれらの文献記録は日本全国をカバーしているわけではなく、時間的にも空間的にも虫喰い穴だらけの情報であることは否定し得ない。

地球温暖化等、ローカルな土地利用変化に起因するものよりも広域の長期的な気温変動については既に多くの知見³⁰⁾がある。これに関する多くの先行研究³¹⁾において都市化の影響は、より広域の気温変動を推定する際のノイズとして取り除かれてきた。これらを計算気温の時系列的変遷と比較することは、日本の気候変動における土地利用変化の寄与を明らかにする上でも必要であると思われる。またこのような比較は、歴史気候学におけるデータの時間的・空間的不連続性の問題に対する解決手法の提示にもつながる。

こうした手法にはもう一つの重要な意義がある。地上観測気温に対する都市化のもたらす局地的な温暖化の影響と地球温暖化等広域の気温変動の影響を分離する試みとしては、従来統計学的手法に依存してきたが、観測データの存在しない地域、期間については適用不可能であったことはいうまでもない。しかし、メソスケール気象モデルに地表面境界条件として過去の土地利用分布を入力することにより、過去の時点において出現し得た局地的な風系や地上気温分布を再現する手法が確立されれば、観測データの存在しない地域、期間においても、都市化のもたらす局地的な温暖化の影響と地球温暖化等広域の気温変動の影響を分離する手がかりとなろう。これら2つの影響が、過去のローカルな気候変動においてどの程度のウェイトを占めていたのかを理解することは、任意に与えた土地利用シナリオによる将来予測の有効性を考える上では必要不可欠であると思われる。

以上を踏まえ、本報では著者の試みを紹介し、新たな手法の提案を行うものである。

4. 近世以降の土地利用変化に起因する夏季晴天日の高温化の数値シミュレーション

4.1 土地利用情報の取り扱い

メソスケール気象モデルを用いた数値シミュレーションを行うにあたり、前述の土地利用データ(1850年頃、1900年頃、1955年頃、1985年頃：日本全国)を地表面パラメータに翻訳する必要がある。国土数値情

報の土地利用分類を田、畑、果樹園、樹木、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、水面の10種類に再区分し、そのそれぞれに対し、Anthes *et al.*³²⁾を参考に6種類（アルベド、蒸発効率、地表面粗度、密度、比熱、熱拡散係数）の地表面パラメータを対応させ、2km メッシュ左肩格子点の土地利用種（34種類）を上記10種類の土地利用分類のうち最も近いと判断されたものに読み換えた上で地表面パラメータに翻訳し、これを10km メッシュに加重平均した。また、これがメソスケール気象モデルにおける水平方向の刻み幅となる。

都市的土地利用（建物用地及び幹線交通用地）には人工排熱を与えた。1985年頃を日平均 25W/m^2 として、日変化³³⁾を与えた。1955年頃、1900年頃、1850年頃については、それぞれ1985年頃の値の75%、50%、25%という強度を仮定した。これらの強度を決めるにあたっては、当時のエネルギー消費に関する情報が必要であるが、これについては十分な資料が得られなかった。

4.2 メソスケール気象モデル

本研究で用いたメソスケール気象モデルは、Pielke³⁴⁾を原型とし、Kessler and Douglas³⁵⁾によって改良・修正が行われたCSU-MM (Colorado State University Mesoscale Model) に対し、アルベド等6種類の地表面パラメータや人工排熱をグリッド毎にファイルから与える形に改良^{51) 61) 71)}したものである。基礎方程式は静力学平衡、ブシネスク近似をもとに非圧縮を仮定しており、Terrain-followingの座標系、運動方程式、熱エネルギーの保存式、水蒸気の保存式、連続の式等で構成される。また乱流拡散係数はTherry and Lacarrere³⁶⁾に従い、乱流エネルギーと長さのスケールを用いて計算している。この際混合層高度をUlrickson and Mass³⁷⁾の方法で与えている。

このモデルを用い、土地利用データの存在する4時点において、日本の5大都市（札幌、仙台、東京、大阪、福岡）周辺の数百km四方（図1）を計算対象領域とした計算を行った。メッシュ平均標高の作成には国土数値情報ファイルKS110を用いた。

古日記等文献からよくアプローチされているのは、定性的な記述からでも復元が容易な降水量³⁸⁾や雲量が多い。CSU-MMには水蒸気の凝結過程が組み込まれていないため、降水量や雲量の計算を行うことはできない。また、総観規模の気圧場及びそれに伴う卓越風系の復元はメソスケール気象モデルのみでは不可能である。ヒートアイランドが顕著になる気象条件として雲のない晴天³⁹⁾や風が弱いこと⁴⁰⁾などが知られていることから、土地利用の地上気温分布・風系への影響は、一般風が弱く静穏な条件の下で出現しやすいと考えられる。さらに、都市化に伴う都市の高温化が生活上の不快感をもたらしているのは夏季の日中の猛暑や熱帯夜を通じてである。

よって本研究における計算対象日はそれぞれの時点の7月26日0時から48時間（静穏日を仮定）とし、計算結果の安定性を考慮して翌27日0時からの24時間のみを解析対象とした。計算時間の刻み幅は60秒である。地上気温（地表面及び地中温度）の初期値及び海面水温は、 18°C （札幌周辺）、 22°C （仙台周辺）、 25°C （東京周辺）、 25°C （大阪周辺）、 26°C （福岡周辺）に4時点を通じて固定した。実際は地球温暖化等の影響もあるため、これらの値を変化させる必要があるが、海面水温を固定することの影響については、計算結果と観測気温との比較に際して考察する。このほかの初期値については、地上気圧を $1,000\text{hPa}$ 、温位の鉛直勾配を 5.5K/km 、地上の相対湿度を 70.0% 、風向・風速を全層一律で $S \cdot 0.5\text{m/s}$ とした。風向・風速の初期値の設定は、日本の夏季の卓越風が弱い南寄りの風であることを根拠としているが、計算開始後24時間目以降を解析対象としているため、この初期値の設定が計算結果にもたらす影響は小さいものと思われる。

4.3 地上気温分布・風系の計算結果

本研究では、メソスケール気象モデルの出力のうち、地上 7.5m （鉛直第2層のグリッドの中心点の高さ）における気温及び風の水平分布、ならびにその日変化について考察する。Lenz¹³⁾は、最近約300年間のライン川上流地域の土地利用変化（水面の減少と森林の耕地化、市街化）による影響として、川沿い地域

での夜間の気温低下、市街化地域での日中の気温上昇に加え、両者における水蒸気量の低下を指摘しているが、本研究では水蒸気量の変化については割愛する。

以下に、1985 年頃の東京周辺における地上気温分布（図 2）及び地上風系（図 3）を例示する。また、1850 年頃と 1985 年頃の 2 時点の気温差及び風ベクトルの差を示す（図 4）。

15 時には、都心から前橋付近にかけての関東平野上に 33℃以上の領域が広がる。南関東には海風の進入、山岳域に谷風の発達が見られるが、両者は独立している。2 時点の気温差は関東平野南部で +0.4℃以上、東京湾付近で +1.2℃以上である。持田ら³⁰⁾は、夏の 15 時における都心の高温化（天保年間以降）を +4℃程度と大きく見積もっているが、用いている土地利用シナリオは全く異なる。2 時点の風ベクトルの差で注目されるのは、都心に収束する流れ場（1m/s 程度）が発達していることである。これは都心の高温化が引き起こした変化と考えられる。持田ら³⁰⁾も都心における +1m/s 程度の海風の強化があったとしているが、都心よりも内陸側では海風が弱められる方向の変化が起きている。海岸付近に立地する都市におけるヒートアイランドの形成により海風の内陸への進入が妨げられるケースについては、Yoshikado⁴¹⁾も指摘しており、これも高温化の一要因であると思われる。関東平野北部にも +0.4℃以上の領域が見られる。

21 時には関東平野上に顕著な高温域が形成されており、とりわけ前橋付近で著しい。関東平野は南寄りの風系に覆われ、碓氷峠付近に北寄りの風系との収束が見られる。+0.3℃以上の高温化領域は碓氷峠を越え、上田盆地にも広がっている。宇都宮付近や甲府盆地、中信地域にも高温化が見られる。関東平野では熊谷付近で +1.1℃以上、浦和以南では +1.9℃以上である。海風の発達していなかった 15 時に比べると、かなり北上・拡大している。ここまでの変化は、大規模海風³⁴⁾の発達とともに高温化領域が拡大しながら関東平野を北上した結果と考えられる。これは大規模海風による熱輸送の影響であり、Kimura and Takahashi⁴⁾が指摘した「首都圏の都市効果は夏の昼間には関東平野の内陸部に及ぶ」という事実に対応する。

4.4 日変化の 2 時点比較

5 大都市の中心付近に位置する気象官署を含むメッシュにおける計算気温について、2 時点でその日変化を比較した（図 5）。札幌以外の 4 都市では、都市化の効果としての気温差は午前中徐々に顕著となり、最高気温出現時前後から夜半にかけて明瞭に現れている。夏の静穏日における地上気温への影響は、都市化の規模を反映して東京、大阪で顕著であった。また札幌以外の 4 都市では、2 時点の気温差が 21 時に最大（東京で 1.8℃、大阪で 2.2℃）、6 時に最小となっており、同様の時刻に極値を示していることは興味深い。

4.5 都市間の比較

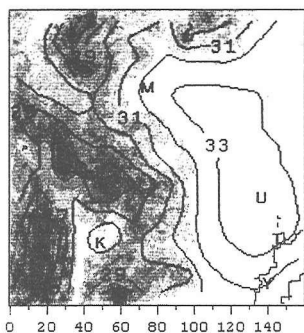
大阪周辺でも、東京周辺同様海陸風の交替に伴う気温分布の日変化や、都市化による局地的な気温上昇が見られる（図 6）。関東平野の例に比べると、海風の進入等局地循環のスケールが小さいためか、高温化領域が内陸に広がる程度は小さい。しかし大阪の市街地における高温化は東京のそれを上回っている。

福岡、仙台、札幌では、東京、大阪に見られたような大きな気温上昇が見られなかった。また東京、大阪と異なり、最高気温出現領域と高温化領域は一致しない。海風による熱輸送効果や盆地の効果が表れているためと考えられる。個々の計算値は約 10km 四方の領域を代表する値であり、実際約 10km 四方の領域内部において均一な開発が行われているわけではない。よってこの結果が、東京や大阪以外の都市では都市化の影響が見られないということを意味するものではないが、このような粗い計算グリッドの設定でも検出できるほど、両都市周辺における都市化影響は大きいと考えるべきであろう。

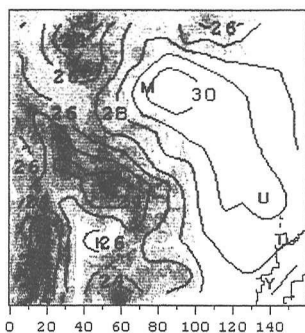
5. 東京における観測気温との比較

東京では 1876 年に気象台が観測を開始しており、ここでの観測値との比較を通じて 1850 年頃に対する計算気温の妥当性を考察する。1876 年以降現在に至るまで同一のフォーマットで入手が可能なのは、日最

3PM



9PM



9PM (circa 1850)

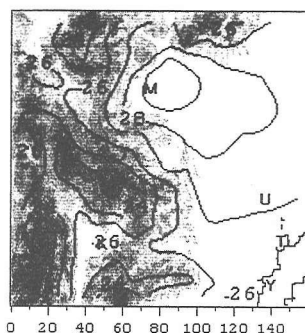
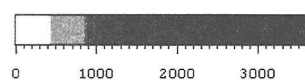
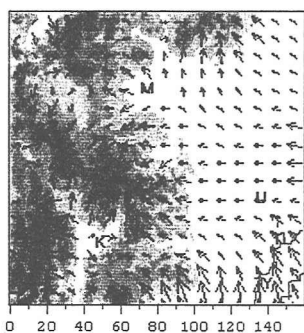


図2 1885年頃の東京周辺における7月下旬静穏日の気温分布(°C)
21時については1850年頃の結果も示した。

X軸はスケール(km)。凡例は標高(m)。
T:東京 Y:横浜 U:浦和 M:前橋 K:甲府



3PM



9PM

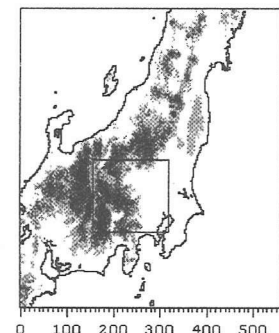
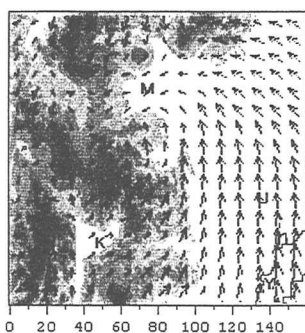
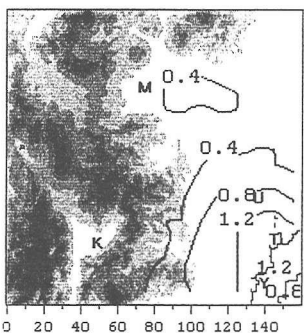


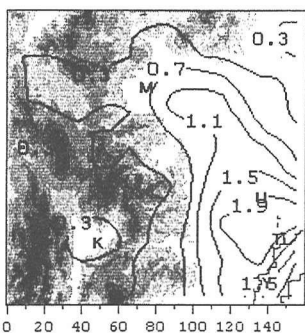
図3 1885年頃の東京周辺における7月下旬静穏日の地上風系
凡例は図2と共通。

図2～図4の範囲：図中央部の矩形領域
凡例は図2と共通。

3PM



9PM



3PM

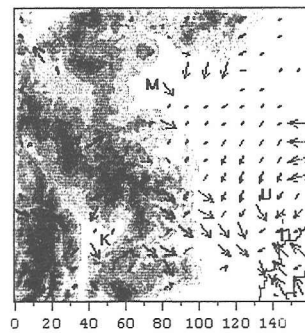


図4 7月下旬静穏日の東京周辺における
1885年頃と1885年頃の気温差(°C)及び
風ベクトルの差
凡例は図2と共通。

正の値は高温化していることを意味する。
また風ベクトルはこの方向の成分が強化されたことを意味する。

m/s
→ = 1.60

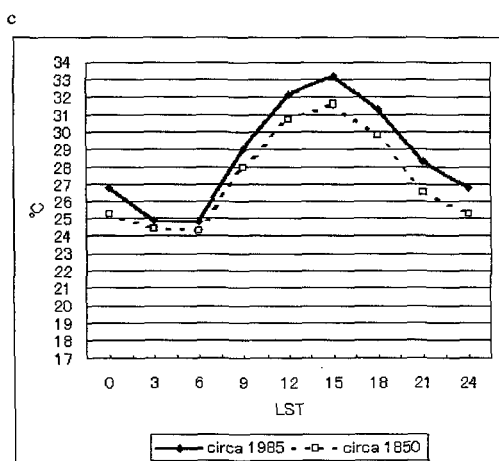
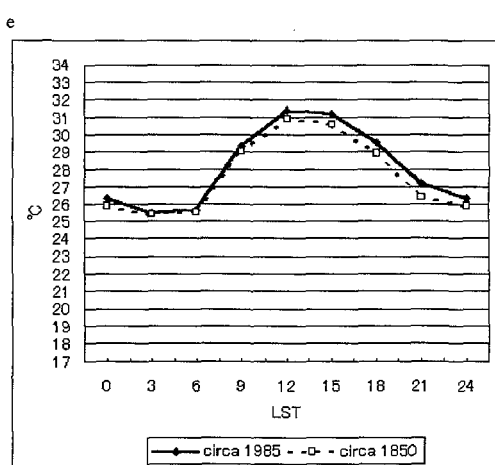
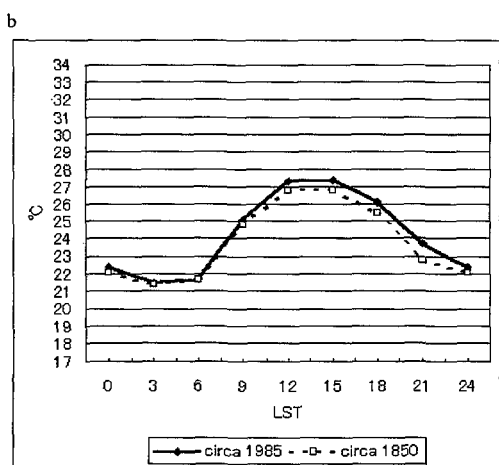
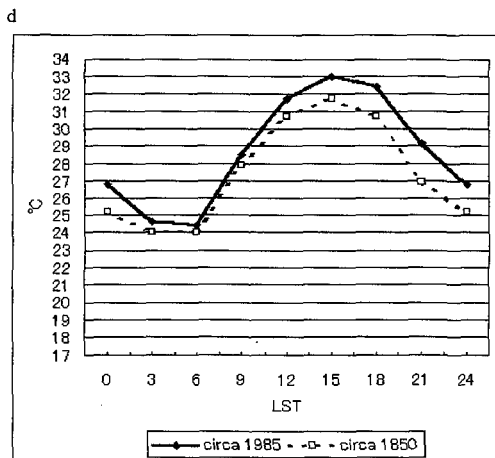
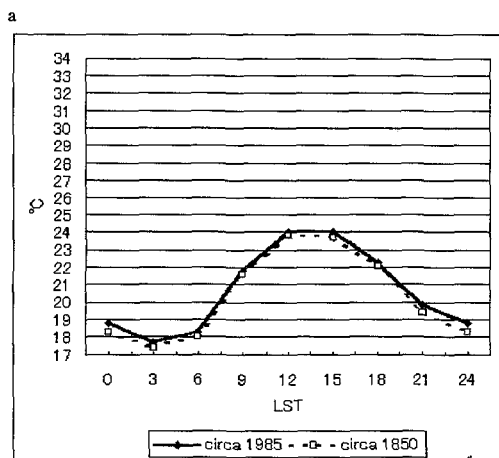


図5 2時点における7月下旬静穏日の計算気温の日変化
a札幌 b.仙台 c東京（大手町） d大阪 e福岡

3PM

3PM

9PM

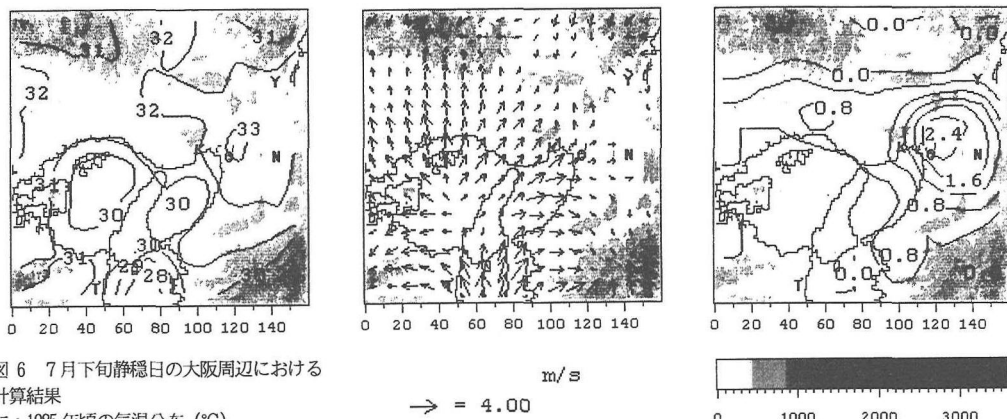


図6 7月下旬静穏日の大阪周辺における
計算結果

左：1985年頃の気温分布（℃）

中：1985年頃の地上風系

右：1850年頃と1985年頃の気温差（℃）

X軸はスケール（km）。凡例は標高（m）。

0：大阪 Y：京都 K：神戸 N：奈良 T：徳島

高気温及び日最低気温の月平均値のみである。この値は、本研究が対象とした静穏日のものではなく、様々な総観条件の影響を含んでいる。

計算気温と比較し得るデータを作成するため、ここでは以下の手続きに従って原データの加工を行った。

1) 様々な総観条件の影響を含んだ月平均値と、典型的静穏日における値との差は、2時点で共通であると仮定する。また両者の標準偏差も2時点で共通であると仮定する。残念ながらこの仮定には十分な裏付けがなされていない。都市化の進行に伴って、静穏日における土地利用の気温への影響、言い換えれば、一般風などによって風系が乱されることの気温への影響が大きく変わるとすれば、この仮定は困難となる。さらに、静穏日の出現比率も2時点であまり変わっていないことが前提となる。これらの仮定・前提が成り立たないとすれば、現代の月平均値と典型的静穏日における値との差を過去に敷衍するこの手法は意味を持たない。例えば天候が不順で晴天日の少ない年の場合は月平均値が下がることが予想され、典型的静穏日との差も広がるものと考えられる。

2) 7月及び8月の大手町（AMeDAS）における日最高・日最低気温（1978年～1997年：全1239日）の平均値及び標準偏差は、それぞれ $29.4 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ 、 $23.5 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ である。全1239日のデータを日照時間10時間以上、日降水量0mm、日平均風速6m/s未満（全234日）でスクリーニングした値は、日最高気温が $32.1 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温が $24.9 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ であった。標準偏差の変化を無視して平均値の差だけを抽出すると、日最高気温で 2.7°C 、日最低気温で 1.4°C であった。これらの値を、様々な総観条件の影響を含んだ月平均値と、典型的静穏日における値との差と考える。

3) 大手町における1876年～1996年の日最高気温及び日最低気温の月平均値を7月・8月で平均し、長期的なトレンドを調べた（図7）。経年変化に一次関数を当てはめた結果、日最高気温(1)と日最低気温(2)の長期的なトレンドは、 y （1876年を1とした年次数）と T （℃）を用いて以下のように表現される。

$$T=0.0105y+28.9 \quad (1)$$

$$T=0.0213y+21.0 \quad (2)$$

相関係数は日最高気温で0.29、日最低気温で0.66となった。以上より約135年間（解析対象とする2時点間）の上昇分は、日最高気温で $+1.5^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温で $+2.8^{\circ}\text{C}$ と推定された。

ここから推定される1985年頃の値は、日最高気温が $30.1 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温が $23.3 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ である。

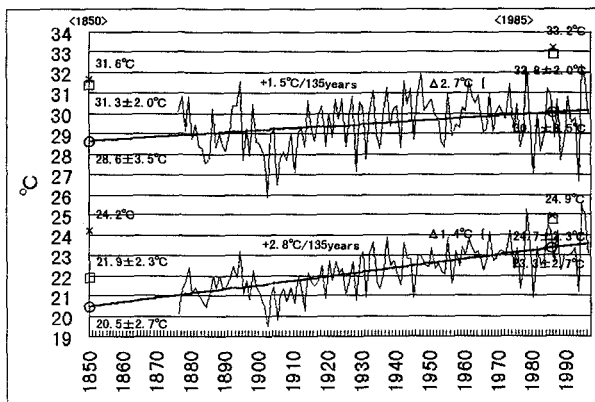


図7 東京における 121 年間の傾向から推定された 2 時点の日最高気温と日最低気温 (○)
7 月下旬静穏日における推定値 (□) と計算結果 (×) を示す。データは 7 月・8 月平均値を用いた。

ここで典型的静穏日における値との差を考慮すると、1985 年頃の 7 月下旬における静穏日の日最高気温及び日最低気温はそれぞれ、 $32.8 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $24.7 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ と与えられる。1985 年頃の計算結果はそれぞれ 33.2°C 、 24.9°C であり、これはほぼ妥当な数値であると考えられる。

また同様に、1850 年頃の値は日最高気温で $28.6 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温で $20.5 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ である。典型的静穏日における値との差を考慮すると、1850 年頃の 7 月下旬における静穏日の日最高気温及び日最低気温はそれぞれ、 $31.3 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $21.9 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ と与えられる。1850 年頃の計算値は、それぞれ 31.6°C ($+0.3^{\circ}\text{C}$)、 24.2°C ($+2.3^{\circ}\text{C}$)と、日最低気温において高めに与えられている。

この一因として、ローカルな土地利用変化に起因する気温上昇よりも広域の気候変動の影響（例えば地球温暖化）を無視していることが考えられる。Maejima *et al.*³³⁾は、1950 年代において東アジアスケールの地域的な寒冷化のために都市化の影響がキャンセルされ、日最高気温の低下を招いたとしており、こうした広域の気候変動は考慮しなければならない。

当該期間における広域の気候変動の影響を $+2.0^{\circ}\text{C}$ と仮定し、計算においては一定値としている海面水温を 2.0°C 下げて、再度 1850 年頃の計算を行った。再計算の結果（図 8）は日最高気温で 29.8°C 、日最低気温で 22.4°C となり、日最低気温では結果の改善 ($+2.3^{\circ}\text{C} \rightarrow +0.5^{\circ}\text{C}$) が見られた。しかし日最高気温では推定された値を 1°C 以上下回ってしまったため、当初の食い違いがより広域の気候変動を無視したことの影響である可能性は小さい。日最高気温と日最低気温の 121 年間の上昇速度には差が見られ、日最低気温において大きいのは、本モデルでは表現できていない都市キャノピー構造の発達に由来する夜間の放射冷却の抑制効果⁴²⁾によるものであることが考えられる。都市地表面から建物屋上面までの空間を都市キャノピー層⁴³⁾といい、ここでは建物壁面からの長波放射が別の建物壁面に捉えられるなど、夜間の放射冷却効果が小

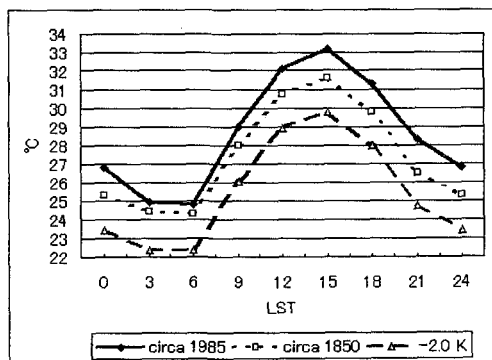


図8 海面水温を 2K 下げた場合との比較

さいとされる。東京の都心部のみならず、都市キャノピーのあまり発達していない郊外の地点で同様の解析を行う意義は大きいものと思われる。

6. まとめ

過去4時点の土地利用情報をもとに、メソスケール気象モデルによる地上気温分布、風系の数値シミュレーションを行い、平野部の都市化に代表される近世以降の土地利用変化がもたらした局地的な気候変動の定量化を試みた。また、地上観測気温に対する都市化のもたらす局地的な温暖化の影響と地球温暖化等広域の気温変動の影響の分離を試みた。

本研究の手法は、古文書等文献資料などに依存してきた歴史気候学の時間的、空間的な虫喰い穴を埋める意義をも有している。土地利用変化の研究に関しては、過去の傾向から将来の土地利用分布を予測する手法が模索されている⁴⁴⁾。地球規模の気候変動に加え、土地利用変化に起因する地域的な気候変動に対してもこれを予測していく必要がある。将来の土地利用を局地気候の視点からも望ましいものに誘導していくためにも、本研究に示した手法は有益であると考えられる。

土地利用データをご提供いただいた北海道教育大学・氷見山幸夫先生、愛知大学・有菌正一郎先生、東京における観測気温データをご提供いただいた東京都立大学・三上岳彦先生に御礼申し上げます。

文 献

- 1) Fujibe 1995. *Pap. Meteor. Geophys.* 46: 35-55.
- 2) 藤部 1997. 天気 44: 101-112.
- 3) 例えば, Yoshino 1990/1991. *Energy and Buildings* 15/16: 1-10.
- 4) Kimura and Takahashi 1991. *Atmospheric Environment* 25B: 155-164.
- 5) 一ノ瀬ら 1997. 天気 44: 785-797.
- 6) Ichinose *et al.* 1998. "Klimaanalyse fuer die Stadtplanung" Report of RCUSS, Kobe University: 279-285.
- 7) Ichinose *et al.* 1999. *Atmospheric Environment/Urban Atmosphere* 33.
- 8) 氷見山 1993. 日本の近代化と土地利用変化「近代化による環境変化の地理情報システム」平成2-4年度文部省重点領域研究研究成果総括報告書.
- 9) 有菌 1994. 歴史地理学 167: 16-30.
- 10) 氷見山編 1995. 「アトラス - 日本列島の環境変化」朝倉書店.
- 11) 朴ら 1994. 地理学評論 67A: 561-574.
- 12) 野口 1994. 天気 41: 123-135.
- 13) 日下ら 1998. 天気 45: 369-378.
- 14) 例えば, Jones 1988. *J. Climate* 1: 654-660.
- 15) 例えば, Yoshino 1981. *Sci. Rept. Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, Sect. A* 2: 45-60.
- 16) 例えば, 上野ら 1993. 環境システム研究 21: 33-39.
- 17) 例えば, 河原ら 1994. 環境システム研究 22: 274-279.
- 18) 北田・米津 1993. 環境工学研究論文集 30: 361-370.
- 19) Lenz 1996. Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften von der Fakultät fuer Physik der Universität (TH) Karlsruhe genehmigte Dissertation. (*in German*)
- 20) 持田ら 1998. 日本風工学会誌 75: 55-60.
- 21) 杉山ら 1997. 日本建築学会計画系論文集 429: 83-90.

- 22) 柴田ら 1998. 環境システム研究 26: 289-296.
- 23) 一ノ瀬 1987. 東京大学理学部卒業論文.
- 24) 例えば, Kondo 1990. *J. Meteor. Soc. Japan* 68: 419-434.
- 25) 谷治・三沢 1981. 横浜国立大学理科紀要 II 28: 91-107.
- 26) 三上 1993. 地学雑誌 102: 144-151.
- 27) Mikami 1996. *Proceedings of the 1995 Nagoya IGBP-PAGES/REP-II Symp.*: 8-13.
- 28) 深石・田上 1993. 地学雑誌 102: 176-182.
- 29) 吉村 1993. 地学雑誌 102: 131-143.
- 30) Maejima *et al.* 1980. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University* 14/15: 27-48.
- 31) 例えば, Kukla *et al.* 1986. *J. Climate. Appl. Meteor.* 23: 1265-1270.
- 32) Anthes *et al.* 1987. *Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4)*. National Center for Atmospheric Research. NCAR/TN-282+STR(PB87190633/AS).
- 33) 一ノ瀬ら 1994. 環境工学研究論文集 31: 263-273.
- 34) Pielke 1974. *Monthly Weather Review* 102: 115-134.
- 35) Kessler and Douglas 1992. *User's Guide to the Systems Applications International Mesoscale Model (Version 2.0)*. Systems Applications Int., SYSAPP-92-085.
- 36) Therry and Lacarrere 1983. *Bound.-Layer Meteor.* 25: 68-88.
- 37) Ulrickson and Mass 1990. *Monthly Weather Review* 118: 2138-2161.
- 38) 例えば, 小笠原 1990. 地理学評論 63A: 593-605.
- 39) 例えば, 山添・一ノ瀬 1994. 地理学評論 67A: 551-560.
- 40) 例えば, 藤野ら 1994. 環境システム研究 22: 280-285.
- 41) Yoshikado 1994. *J. Meteor. Soc. Japan* 72: 139-143.
- 42) 例えば, 小林 1979. 地理学評論 52: 251-260.
- 43) 例えば, Oke 1987. *Modeling the Urban Boundary Layer*. American Meteor. Soc.: 1-52.
- 44) 例えば, 大坪 1998. 「LU/GEC プロジェクト報告 - アジア太平洋地域の土地利用・被覆変化の長期予測 (III) -」環境庁国立環境研究所水圏環境部.