

首都機能移転による熱環境変化の予測

The effects of the relocation of Japanese capital on a thermal environment

泉 岳樹*・岡部篤行*・貞広幸雄**・花木啓祐*・一ノ瀬俊明***

Takeki IZUMI*, Atsuyuki OKABE*, Yukio SADAHIRO**, Keisuke HANAKI*, Toshiaki ICHINOSE***

ABSTRACT: This paper predicts the effects of the capital relocation on a thermal environment using a meso-scale meteorological model. Five candidate cities, Tomakomai, Nasu, Hamamatsu, Toki and Ueno, are chosen for study areas.

The simulation results show that temperature will rise in all the candidate cities after the relocation. The temperature rise averaged over a day is from 0.5 to 1.0 degree centigrade in each candidate city. In the coastal candidate cities, Tomakomai and Hamamatsu, the temperature will rise not only in new capital regions but also in the leeward regions because of the sea breeze.

Relative contribution of land cover changes and anthropogenic heat to the temperature rise are also compared. The temperature rise in the daytime is brought mostly by land cover changes. At night the influence of anthropogenic heat becomes large, and in some candidate cities it becomes greater than that of land cover changes. These results imply the energy-saving at night is effective for controlling the temperature rise in a new capital.

KEYWORDS: capital relocation, thermal environment, heat island, numerical simulation

1. はじめに

国土計画や都市計画において、ニュータウン開発や大規模工業団地などの巨大開発プロジェクトは常に時代のひとつの中心を成してきた。その傾向は、近年やや下火にあるものの、今なお多くのプロジェクトが進行、または計画中であり、その1つとして首都機能移転がある。この問題の経緯については次項で述べるが、これまでの日本の国土開発プロジェクトとしては最大級のものといえてよい。

他方、近年、「進歩に対する懐疑」が地球環境問題や環境ホルモン問題などの発生により現実化するなかで、大規模開発に対する疑問が呈されている。その結果、巨大開発プロジェクトについては経済的な面だけではなく、環境面を含めた多様な評価を下す必要性が高まっている。1997年に公布された環境影響評価法は、そのような要請に応えるために制定された。同法は、開発計画の早い段階における環境アセスメントだけでなく、自然環境を総合的に捉えて影響を予測し、評価することを求めている。

従来、首都機能移転問題については、渡辺¹⁾や内仲²⁾に紹介されているように、各種研究調査機関等から多くの提言、提案がなされてきているが、環境アセスメントに対する言及はほとんどみられない。また、この問題に関する学術的研究としては、小池ら³⁾が一般均衡モデルと帰着便益連関表、平⁴⁾が地域間帰着便益構成表を用いて経済効果分析を行った例や、高橋・坪井⁵⁾の交通需要分析などがあるが、環境アセスメントに関わるものはみられない。

このような背景のもと、本研究では、首都機能移転が環境に与える影響、特にヒートアイランド問題に代表される熱環境変化に着目して、その発生の予測を行う。具体的には、気象学の分野で開発され、筆者らが改良を加えたメソスケール気象モデル(CSU-MM)を使用し、首都機能の移転先候補地5ヶ所を対象として、移転前後での熱環境変化を予測する。また、熱環境変化の2大要因である地表面被覆の改変と人工排熱の寄与度についても検討を加える。

* 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 Department of Urban Engineering, University of Tokyo

** 東京大学空間情報科学研究センター Center for Spatial Information Science, University of Tokyo

*** 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

2. 首都機能移転問題の経緯と本研究の対象地

首都機能移転問題の発端は1975年2月に国会議員等により発足した新首都問題懇談会にある。第3次全国総合開発計画では「首都機能の移転問題」が国土計画上の重要課題と位置づけられた。その後、石油ショックやバブル崩壊などの経済状況の変化に直面し、計画の遅延や変更などを繰り返しながらも、現在まで着実に検討が進められてきた。

1998年1月16日には、国会等移転審議会により国の移転調査対象地域として、北東地域(宮城、福島、栃木、茨城)、東海地域(静岡、愛知、岐阜)、三重・畿央地域(三重、滋賀、京都、奈良)が選定された。現在は、1999年秋に移転先候補地を具体的に選定することを目標に、調査が進められている。首都機能移転問題は、国による移転先の絞り込みという計画段階の大きな山場を迎えているのである。

本研究では、研究開始時に誘致活動を行っていた移転先候補地のうち、新首都の立地場所に関する情報が豊富であった次の5つの移転先候補地を対象とする。①北海道の千歳空港周辺地域(苫小牧)、②栃木県的那須地域(那須)、③静岡県・愛知県にまたがる三遠地域(浜松)、④岐阜県の東濃地域(土岐)、⑤三重県・奈良県・滋賀県・京都府にまたがる紀央高原地域(上野)である(図2-1)。以下では、各対象地を()内に表記した隣接都市の名前で呼ぶ。

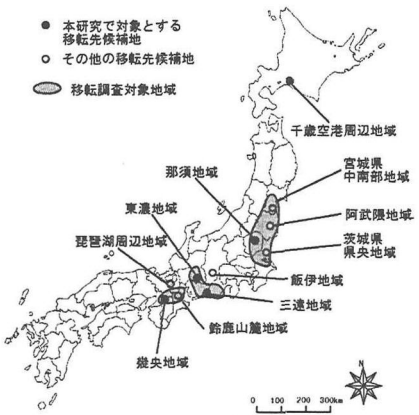


図2-1 対象地

3. 気象モデルの概要

本研究で用いるメソスケール気象モデルは、Pielke⁶⁾を原型としたコロラド州立大学メソスケールモデル(CSU-MM)である。CSU-MMは、ブシネスク近似と静力学平衡を仮定し、z*座標系における運動方程式、熱エネルギー保存式、水蒸気保存式、連続式などの基礎方程式により構成されている。

本研究で用いるプログラムソースは、Ulrickson and Mass⁷⁾やKessler and Douglas⁸⁾により、乱流拡散係数の計算がクロージャスキームに変更され、サブルーチンをモジュール化するなどの改良が行われたものである。これに加え、筆者らが都市の影響を的確に再現するため、地表面パラメータの高解像度入力を可能にし、あわせて人工排熱も入力できるように改良を行っている。詳細は一ノ瀬ら⁹⁾を参照されたい。

計算領域は、垂直方向には、図3-1のように地下50cmから高度8000mまでとし、地下、上空を不等間隔でそれぞれ11層と23層とした。水平方向には、対象地ごとに海陸風循環を再現するのに十分な海面を含むよう配慮し、図3-2のように東西方向390km-470km、南北方向430km-470kmとした。水平方向の格子間隔も不等間隔で、計算領域の中心付近で最も細かく(2km×2km)、周辺にいくに従って粗くなる(最大で20km×20km)。

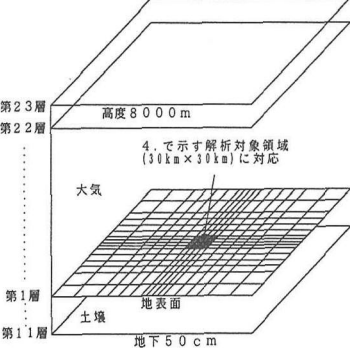


図3-1 計算領域

表3-1 地表面パラメータ

土地利用区分 (国土数値情報)	粗度 (cm)	蒸発効率	アルベド	密度 (g/cm ³)	比熱 (cal/g/K)	熱拡散係数 (cm ² /s)
田	10	0.50	0.17	1.8	0.28	0.0053
畑	10	0.30	0.17	1.8	0.28	0.0053
果樹園	50	0.30	0.16	1.8	0.28	0.0053
公園及びその他畑	50	0.30	0.16	1.8	0.28	0.0053
森林	50	0.35	0.16	1.8	0.28	0.0053
荒地	15	0.20	0.14	1.8	0.28	0.0053
建物用地	50	0.00	0.18	2.4	0.21	0.0072
交通用地	5	0.00	0.18	2.1	0.21	0.0038
その他の用地	20	0.03	0.18	1.8	0.28	0.0035
河川・湖沼	0	1.00	0.08	1.0	1.00	0.0033
海浜	5	0.25	0.18	1.8	0.28	0.0053
海面	0	1.00	0.08	1.0	1.00	0.0033

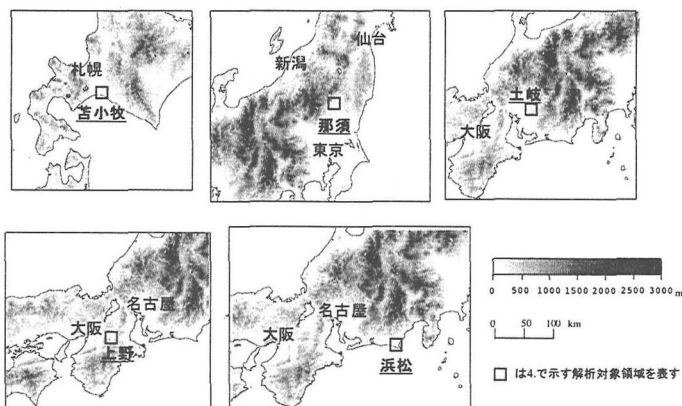


図3-2 水平計算領域と標高

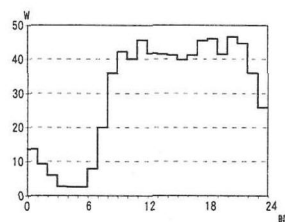


図3-3 人工排熱の時間変化

地形については、国土数値情報の自然地形メッシュデータ（国土庁）を利用し、各格子の平均標高データを与えた。

地表面の特性を表すパラメータは、一ノ瀬ら⁹⁾、近藤¹⁰⁾、下堂蘭¹¹⁾を参考に表3-1のように定め、国土数値情報の土地利用メッシュデータ（国土庁）に基づいて算出した。

人工排熱は、守田・竹内¹²⁾の東京都区部における日平均人工排熱量と一ノ瀬ら¹³⁾の東京都区部におけるエネルギー消費量の時間分布曲線を参考に、建物用地と交通用地に図3-3に示すように与えた。

4. モデルの再現性

前項で示した改良型のCSU-MMについて、その有効性を検証するために、まず、現状をどの程度再現できるかについて検討を行う。具体的には、現状の土地利用に基づいたシミュレーション結果と、実際の観測値（気象庁アメダス観測値）を比較する。全ての対象地について検討することが望ましいが、計算機負荷が大きいことから苫小牧のみを対象とした。

4.1 比較条件

対象日は、日中の気温上昇が著しく、空調などによる電力消費が特に大きくなる、典型的な夏の晴天日とした。全国的に太平洋高気圧に覆われ、晴天が1日以上続いていることが条件である。気象庁のアメダス観測値(1992年-1995年)と、極東天気図に基づき調査した結果、1995年の梅雨明け直後の7月26日が最適であることが分かった。

初期条件は、表4-1のように与えた。シミュレーションは、午前0時から48時間分行い、計算の安定する24時から24時間分の結果を解析する。なお、計算間隔は20秒である。

表4-1 初期条件

対象地	苫小牧
日付	1995/7/26
地表面気温(°C)	21.1
地表面湿度(%)	89
地表面気圧(hPa)	1014
温位勾配(k/m)	0.0057
風向	N
風速(m/s)	0.5
海面水温(°C)	16.7

4.2 比較結果

比較は、図4-1で示した計算領域中心付近の88km四方の領域で行った。水平方向の計算領域でアメダス観測点を含む大気最下層の計算気温(地上4m)と観測気温の関係を示したのが図4-2である。観測気温を被説明変数とする回帰直線の傾きは0.58となり、観測気温の上昇に対して計算気温の上昇が鈍いことがわかる。このような傾向は、中心部から周辺にいくに従って大きくなる。これは、計算格子の大きさが周辺にいくほど粗くなり、観測値に影響を与えている地物の影響が十分に反映できなくなるためと考えられる。

図4-3は、計算格子の大きさが最も細かい30km四方の領域内に含まれる2つのアメダス観測点(苫小牧、厚真)での、観測気温と計算気温の時間変化を表している。苫小牧では、日中の計算気温が高めになり、厚真では、計算気温の日較差が小さくなる。これは、都市キャンノピー等、モデルでは考慮されていない局地的な地物の影響を観測値を受けていることやアメダスの観測気温と計算気温の持つ空間代表性が異なることが原因と考えられる。

本研究では、都市内の局地的な地物の影響より、首都機能移転が移転先やその周辺地域の熱環境に与える影響を全体として把握することを目的としている。また、影響予測にあたっては、移転前と後の2つのシミュレーション結果を比較するという方法を用いるため、観測気温と計算気温の比較で見られる空間代表性の違いによる誤差は生まれない。これらを考慮すると、改良型CSU-MMは首都機能移転の影響予測をするのに十分な再現性を持っていると考えられる。但し、計算領域の周辺部にいくほど誤差が大きくなることが予想されるため、首都機能移転の影響予測や評価にあたっては、中心付近の30km四方の領域(格子サイズ4km²)を解析対象領域とする。

5 シミュレーション結果

5.1 本研究で仮定した首都像

移転する首都機能の規模は、国土庁大都市整備局編¹⁴⁾に基づき表5-1のように与えた。道路・公園等公共用地は、既存の官庁街や住宅地を参考に表5-2のような土地利用比率を仮定し、首都機能等施設用地、住宅用地、生活関連施設用地に分配している。現在、新首都の開発にあたっては、一括開発だけでなく、クラスター開発などの分散型の開発も検討されているが、本研究では、影響が最も大きいと予想される一括開発を対象とした。新首都の土地利用は図5-1の通りである。

5.2 計算条件

初期条件は、気象庁観測平年値・高層気象観測年報(気象庁)、経緯度1度メッシュの水温統計(日本海洋データセンター)を基に表5-3のように与えた。計算は、午前0時から48時間分行い、24時から24時間分の結果を用いる。シミュレーションでは計算領域全体に対する気温の

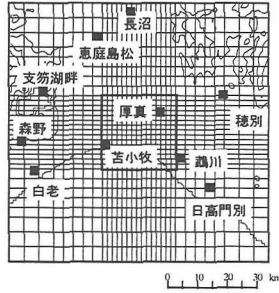


図4-1 比較対象領域内のアメダス観測点と計算格子

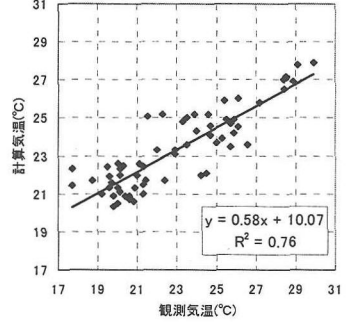


図4-2 観測気温と計算気温の関係

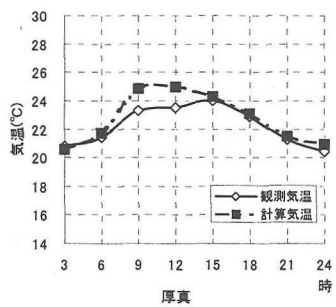
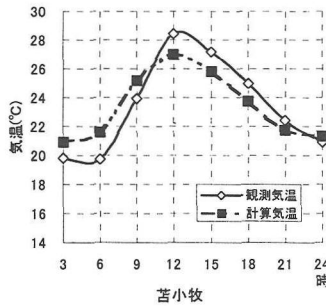


図4-3 アメダス観測気温と計算気温の時間変化

表5-1 首都機能移転の規模

項目	面積(ha)
首都機能等施設用地	200
住宅用地	4,700
生活関連施設用地	1,000
道路、公園等公共用地	3,000
合計	9,000

表5-2 仮定した土地利用比率

	建物用地	道路	公園緑地
首都機能等施設用地	60%	30%	10%
住宅用地	63%	22%	15%
生活関連施設用地	50%	20%	30%

国土数値情報との対応 建物用地 交通用地 樹木畑

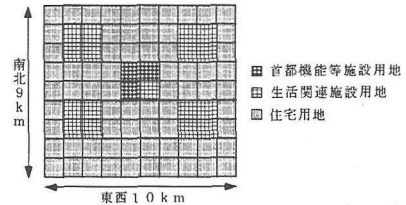


図5-1 新首都の土地利用イメージ図

3次元分布が20秒ごとに計算されるが、データ量が膨大になるため3時間ごとに出力し、解析を進める。

5.3 シミュレーション結果の解析

首都機能移転による熱環境変化を予測するにあたっては、①移転前の土地利用に基づいて行ったシミュレーション、②移転後の土地利用に基づいたシミュレーション、を行い、その結果を比較するという方法を用いる。

新首都領域内の移転前後での気温の変化を表したのが図5-2である。全ての対象地で移転後に気温が上昇すること(以下、気温上昇効果と呼ぶ)が見込まれ、全般的に日中の方が気温上昇効果が大きく、明け方に小さくなる傾向がある。

苫小牧を除き、どの対象地でも気温上昇効果は6時以降に急激に大きくなる。最大となるのは、

苫小牧と浜松では15時でそれぞれ約1.2℃と約0.8℃となり、それ以外の地域では12時に、那須と土岐で、約0.8℃、上野で約1.0℃である。24時の気温上昇効果は、苫小牧、浜松、土岐で約0.6℃、上野で約0.4℃、那須で約0.3℃となる。日中の気温上昇効果が最大の時と、夜半の24時の気温上昇効果の差は、苫小牧で約0.1℃、土岐で約0.3℃、那須と浜松で約0.5℃、上野で約0.6℃となり、昼から夜半にかけての気温上昇効果の時間変化には大きな地域差が見られる。

表5-3 初期条件

対象地	苫小牧	那須	浜松	土岐	上野
日付	8月15日	8月15日	8月15日	8月15日	8月15日
地表面気温(℃)	21.1	24.3	25.8	26.9	26.5
地表面湿度(%)	89	78	83	79	79
地表面気圧(hPa)	1010	1012	1014	1014	1014
風向	N	N	N	NE	E
風速(m/s)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
海水面温(℃)	16.7	20	26.4	26.4	26.4

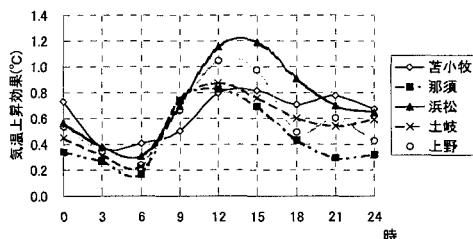


図5-2 移転前後の気温上昇効果の時間変化

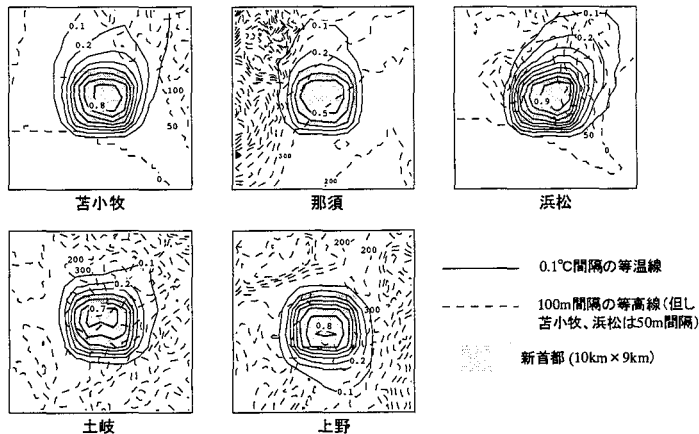


図5-3 移転前後の気温上昇効果の日平均値

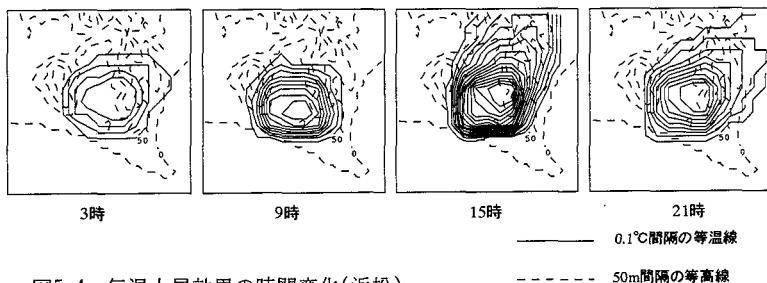


図5-4 気温上昇効果の時間変化(浜松)

次に、気温上昇効果の空間的分布を見てみよう。図5-3は、首都機能移転先を中心とする30km四方の領域で、移転前後の気温変化の日平均値の分布を0.1℃間隔の等温線で示したものである。どの対象地でも、新首都の中心部付近で気温上昇効果が最大となり、浜松で約1.0℃、次いで苫小牧と上野で約0.8℃、土岐で約0.7℃、那須で最も小さく約0.5℃になることが明らかとなった。

臨海部に立地している苫小牧や浜松では、新首都周辺の内陸部にまで広く気温上昇効果が見られる。浜松での気温上昇効果の時間変化を示した図5-4を見れば分かるように、臨海部では、海風が流入する時間帯に内陸部への影響が大きくなる。これは、海風流入による移流効果で影響が広がったものと考えられる。臨海部以外の候補地でも、卓越風による周辺地域への影響がみられる。

ここで、首都機能移転による影響を評価するため、以下に定義する指標A、Bを導入する。

指標Aは、移転前後の気温変化の値に面積を乗じたものの日積算値で、移転前後の気温変化の大きさや影響範囲を表す指標である。指標Aを計算すると、図5-5のようになり全体への影響の大きさは、苫小牧、浜松、上野、土岐、那須の順に小さくなることが分かった。ただし、新首都領域に限った影響では、浜松が最も大きくなる。

指標Bはエネルギー消費に大きく影響する冷房に関するものである。冷房の設定温度を24℃と仮定し、気温が24℃以下の時には0、24℃以上の時には、設定温度との差を冷房負荷と定義し、その日積算値を指標Bとして求めた(図5-6)。首都移転後の冷房負荷は上野、浜松、土岐、那須、苫小牧の順に小さくなるが、移転前後の冷房負荷の増加が最も大きいのは浜松であった。

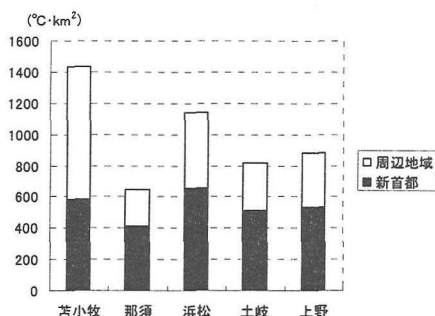


図5-5 各移転先候補地における指標Aの値

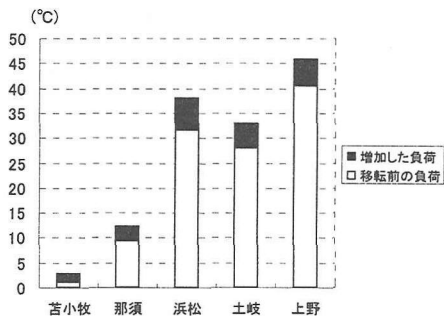


図5-6 各移転先候補地における指標Bの値

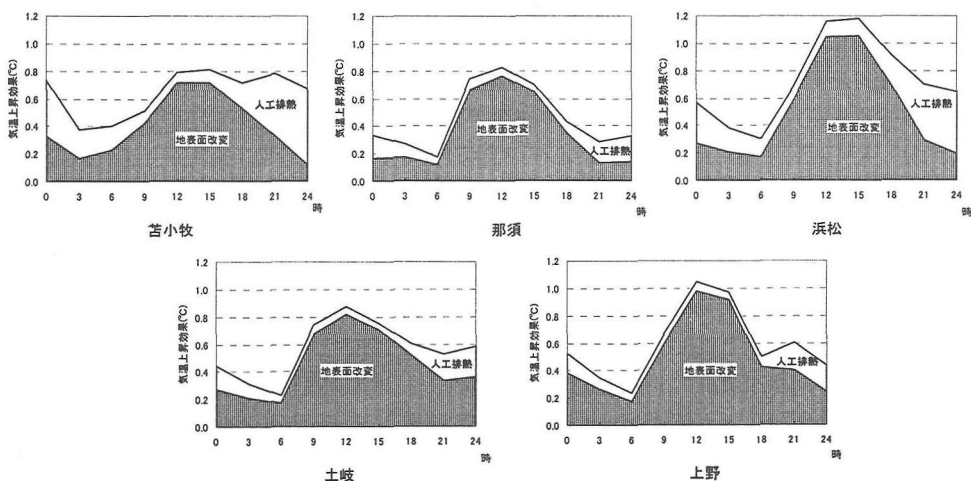


図5-7 気温上昇効果への地表面被覆改変と人工排熱の寄与度

5.4 人工排熱と地表面改変の寄与度の解析

首都機能の移転により気温上昇が起こる原因は、森林の減少やアスファルト面の増加といった地表面被覆の改変と、冷暖房・給湯といった人間活動に伴い排出される人工排熱である。これら2つの原因の気温上昇効果への寄与度を知ることは、新首都の計画やそこで行われる人間活動を考えるのに有効である。

そこで、新首都で地表面被覆改変のみを行い、人工排熱を与えない設定で、新たにシミュレーションを実行した。この結果と前の2つのシミュレーション結果を比較することにより気温上昇効果への寄与度を計算した(図5-7)。これによれば、いずれの地域でも日中は、地表面被覆の改変の影響が非常に大きい。夜間には、人工排熱の影響が相対的に大きくなるのが分かる。特に苫小牧や浜松では夜間の人工排熱の影響が大きい。

都市化した地域において、人工排熱の影響が夜間に強まることは、既に下堂蘭ら¹⁵⁾が指摘し、東京都23区を対象として、夏季の夜間で約1.5℃であることを示している。それに比較すると、夜間の人工排熱による気温上昇効果は那須、土岐、上野では0.2℃以下で軽微といえるが、苫小牧や浜松では0.5℃を越え、他の地域より大きい。次に、この地域差の原因や夜間に人工排熱の影響が大

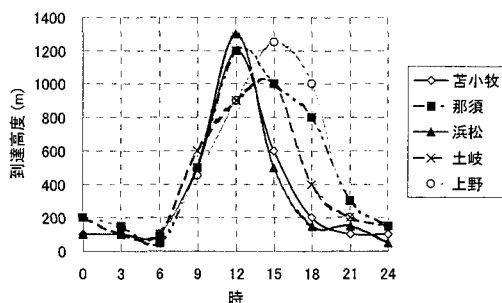


図5-8 到達高度の時間変化

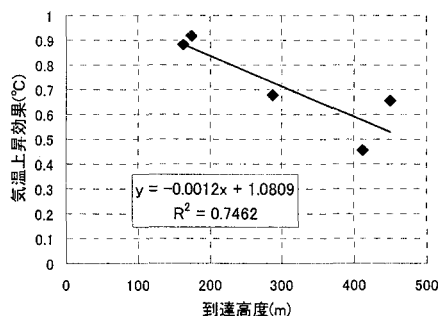


図5-9 夜間(18時-6時)の気温上昇効果と到達高度の関係

きくなる原因について考察する。

図5-8は、移転前後の新首都周辺の上空で0.1℃以上の気温上昇効果がみられた最高高度(以下、到達高度と呼ぶ)の日変化を表したものである。日の出後、急速に高くなり、日の入り後低くなる性質は混合層高度に類似している。到達高度は、地表面付近での対流や乱流による、人工排熱の拡散状況を示していると考えられる。苫小牧や浜松では15時前後から急速に到達高度が低くなり、その後も明け方まで他の地域より到達高度が低い状態が続く。夜間(18時-6時)の到達高度の平均と気温上昇効果の平均の関係(図5-9)をみると、到達高度が低いほど気温上昇効果が大きくなる傾向がある。これは、到達高度が低いと熱が下層の大気に滞留するため、到達高度の差が、人工排熱の寄与度の地域差の原因であると考えられる。

また、人工排熱の量がそれほど変化しないに関わらず、夜間に人工排熱の影響が大きくなるのは、夜間は日中に比べ極端に到達高度が低くなるため、同じ熱量でも地表面付近の気温に与える影響が大きくなるためと考えられる。このことは、新首都で夜間の人工排熱を抑制することが、気温の上昇を抑えるのに効果的であることを示唆している。

6. まとめ

本研究では、都市の影響を捉えられるよう改良したメソスケール気象モデルを利用し、首都機能移転が熱環境に与える影響を5つの移転先候補地を対象に予測した。

その結果、①首都機能移転を行った場合、どの候補地でも気温が上昇することが見込まれること、②その大きさは日平均で0.5℃-1.0℃であること、が明らかとなった。また、③候補地の立地によって影響が異なること、④特に臨海部に立地した場合、海風により内陸部にまで広く影響が及ぶこと、が明らかとなった。首都機能移転先で気温が上昇する原因(地表面被覆改変と人工排熱)の寄与度分析では、⑤日中は地表面被覆改変の影響が非常に大きいこと、⑥夜間には人工排熱の影響が相対的に大きくなり、候補地によっては、地表面被覆改変の影響を上回ること、が分かった。また、⑦夜間に人工排熱の影響が大きくなるのは、到達高度が低くなるためであり、⑧新首都で夜間の人工排熱を抑制することが、気温上昇を抑えることに効果的であること、が示唆された。

近年、環境アセスメントにおいては、特定の動植物種等だけでなく、自然環境全体への影響に対する総合的評価が求められている。その一方で、具体的な予測手法はまだ確立されていない。生態系や人間生活の快適性に大きな影響を及ぼす熱環境の変化予測は、このような総合的評価の重要な要素になると考えられる。本研究の意義は、改良したメソスケール気象モデルが、開発に伴う熱環境変化予測に一定の有効性を持つことを明らかにしたことである。その結果、今後の環境アセスメントにおいて熱環境に関する予測や評価を行う技術的可能性が示されたといえよう。

本研究は、科学技術振興事業団戦略的基礎研究「都市ヒートアイランドの計測制御システム」(代表者:久保幸夫)の研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 渡辺一郎:遷都論の全て -首都移転についての各種提言及び資料集-, 竹井出版, 1988.
- 2) 内仲英輔:首都移転, 朝日新聞社, 1996.
- 3) 小池淳司・上田孝行・森杉壽芳:首都機能移転効果分析のための一般均衡モデルと帰着便益連関表, 応用地域学研究, No.2, pp179-187, 1996.
- 4) 平修久:首都機能移転の経済的費用便益分析, 応用地域学研究, No.3, pp.117-131, 1998.
- 5) 高橋洋二・坪井竹彦:首都機能移転に伴う広域交通需要と交通機関分担に関する研究, 計画行政, Vol.21, pp.68-78, 1998.
- 6) Pielke, R.A.: A three dimensional numerical model of sea breezes over South Florida, *Monthly Weather Review*, Vol.102, pp.115-134, 1974.
- 7) Ulrickson, B.L. and Mass, C.F.: Numerical investigation of mesoscale circulations over the Los Angeles basin. Part I, A verification study, *Monthly Weather Review*, Vol.118, pp.2138-2161, 1990.
- 8) Kessler, R.C. and Douglas, S.G.: User's guide to the System Applications International Mesoscale Model (Ver.2.0), *System Application Int*, SYSAPP-92-085, 1992.
- 9) 一ノ瀬俊明・下堂蘭和宏・鶴野伊津志・花木啓祐: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, 天気, Vol.44, pp.785-797, 1997.
- 10) 近藤純正:水環境の気象学 -地表面の水収支・熱収支-, 朝倉書店, 1994.
- 11) 下堂蘭和宏・一ノ瀬俊明・鶴野伊津志・花木啓祐:土地利用および人間活動の都市気候へのインパクト評価 -東京23区を例として-, 環境システム研究, Vol.23, pp347-351, 1995.
- 12) 守田優・竹内友昭:東京の人口熱排出構造とその時間変動について, 環境システム研究, Vol.20, pp.287-293, 1992.
- 13) 一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩:細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析, 環境工学研究論文集, Vol.31, pp.263-273, 1994.
- 14) 国土庁大都市整備局編:国会等移転調査会報告 -一緒に考えませんか 21世紀の日本-, 大蔵省印刷局, 1995.
- 15) 下堂蘭和宏:都市活動の再配置による熱環境の制御に関する研究, 東京大学修士論文, pp16-18, 1997.