【原著論文】

エネルギー消費からみた都市内土地利用配置の評価

渡辺晃久・貞広幸雄・岡部篤行・泉 岳樹

Evaluation of Land Use Patterns with Respect to Energy Consumption

Teruhisa WATANABE, Yukio SADAHIRO, Atsuyuki OKABE and Takeki IZUMI

Abstract: This report evaluates five land use patterns with respect to energy consumption. Two types of energy consumption are considered: one depends on the atmospheric temperature, that is, energy consumed by air-conditioning and hot water supply systems; and the other is that consumed by transportation systems. Energy consumption by air-conditioning and hot water supply systems is estimated using a mesoscale meteorological model called the modified Colorado State University Mesoscale Model (CSUMM). Calculation of energy consumption by transportation systems is based on two types of trip behavior models. Comparison of energy consumption shows that the mixture of land use reduces energy consumption, and that excessive concentration of urban functions is not desirable with respect to energy consumption.

Keywords: 土地利用配置 (land use pattern),

気候依存エネルギー消費 (energy consumption depending on atmospheric temperature),

交通エネルギー消費 (energy consumption for transportation)

1. 研究の目的

近年、地球環境問題や化石燃料の枯渇、新エネルギー開発の遅れなどを背景に、エネルギー消費抑制の重要性が高まってきている。エネルギーの消費を抑えるために、省エネルギー住宅や家庭用電化製品の低消費電力化、発電段階でのエネルギー損失低減、産業機器の省エネルギー化などのミクロスケールでの努力が現在盛んに行われている。

一方、長期的な視点に立つと、上述のようなミクロスケールでの方策の他に、マクロスケールでの施策もまた重要である。例えば、都市における大きなエネルギー消費源の一つは交通機関である。通勤や通学、貨物輸送などに必要なエネルギーは都市全体

のエネルギー消費において少なからぬ割合を占めている。そのため、例えば鈴木・田頭 (1997) では、都市構造と交通エネルギーとの関係を論じ、エネルギー消費の小さな都市構造を理論的に導出している。

本論文は、このような長期的な視点に立ち、都市内土地利用の望ましい配置をエネルギー消費という観点から論ずる。もちろん、都市内土地利用を現状から大きく改変することは、実際には容易ではない。しかし、発展途上国では現在でも新たな都市の建設が盛んに行われており、そのような場合に低エネルギー消費型の都市構造を論じておくことは有用である。また国内においても、首都機能移転のように新たな都市開発を行う場合や、都市計画において土地利用計画を立案する場合には、望ましい都市構造の姿を念頭に置くことが重要である。

都市構造とエネルギー消費との関係を論じた既存研究は、都市内エネルギー消費として交通エネル

渡辺：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻

Tel.03-5841-6259

E-mail: teru@okabe.t.u-tokyo.ac.jp

ギー消費と気候に依存するエネルギー消費（空調用エネルギー消費や給湯用エネルギー消費など、ここでは気候依存エネルギー消費と呼ぶ。）を考えたものの二種類に分類することができる。前者には例えば Hemmens (1967), Edwards and Schofer (1976), 鈴木・田頭 (1997) などが、また後者には泉ら (1999) や平野ら (1999) がそれぞれ挙げられる。しかし、これらはいずれもどちらか一方のエネルギーだけを取り上げて論じているという問題がある。交通エネルギー消費と気候依存エネルギー消費はいずれも都市内エネルギー消費として大きな部分を占めるものであり、どちらか一方だけを取り上げると議論が偏る危険性がある。また、泉ら (1999) や平野ら (1999) の研究は都市の存在が気候依存エネルギー消費に及ぼす影響を論じるものであり、都市構造と気候依存エネルギー消費との関係の議論が十分に行われているとは言えない。

そこで本研究では、都市内エネルギー消費として交通エネルギー消費と気候依存エネルギー消費を同時に考慮しながら、望ましい都市構造、即ち、エネルギー消費の少ない都市内土地利用配置のあり方を議論する。以下、2 節では、本研究の対象都市の概要と、本研究で想定した土地利用配置を説明する。3 節では、各土地利用配置における気候依存エネルギー消費の推定を行う。4 節では、交通エネルギー消費の推定を行う。5 節では、3 節と 4 節の結果に基づき、都市内エネルギー消費という観点から土地利用配置の評価を行う。

なお、都市内エネルギー消費としては、気候依存エネルギー消費と交通エネルギー消費の他にも、産業部門におけるエネルギー消費や民生部門における家庭用機器のエネルギー消費などが挙げられる。しかし、本研究では、都市構造による影響が比較的大きいと考えられる気候依存エネルギー消費と交通エネルギー消費のみに絞って分析を行う。他のエネルギーについては、今後の課題とする。

2. 研究対象都市

都市内エネルギー消費、特に、気候依存エネルギー消費は、都市内構造および都市外部の要因、例

えば、地形や広域的な気候などの影響を受ける。そのため、現実に存在する都市を対象として議論を行うことは、結果の一般化という点で困難が生じる可能性がある。そこでここでは、仮想的な都市を想定し、その内部の土地利用配置を論じる。仮想都市としては、地方中心都市～政令指定都市程度の規模を考え、海に南面する 32 km 四方のものを想定する。都市内の土地の起伏はなく、周辺の陸地には、森林が広がっているものとする。仮想都市は東京と同じ緯度に位置しているものとする（図 1）。

図 1 仮想都市と周辺の地形

仮想都市内は 1 km メッシュに分割されており、その中には、東京都の土地利用分類に従い、公共系、商業系、住居系、空地系（公園および運動場を含む）、林野系（水面を含む）および工業系の 6 種類の土地利用が配置されている。各土地利用カテゴリー内には、各建物用途別床面積が一定の割合で均一に配置されているものとする。

仮想都市内の土地利用配置は、以下の 5 種類のものを考える。このとき、土地利用の空間的配置パターンのみを変数とするために、各土地利用面積および各建物用途別床面積の合計は一定とする。ここでの土地利用構成比および建物用途別の容積率は、東京都都市計画局地理情報システムにおける 1991 年の土地・建物利用データから算出される東京 23 区の平均値を用いる（表 1）。なお、交通用地は、全ての土地利用配置において、東京都 23 区内の交通用地率 21.7% をそのまま全てのメッシュに与えている。

表 1 各土地利用面積と床面積

	土地利用面積		床面積	
	面積(km ²)	比(%)	面積(km ²)	比(%)
公共	79.1	7.7	49.1	10.5
商業	86.9	8.5	129.2	27.6
住居	326.6	31.9	239.8	51.2
空地	152.7	14.9	-	-
林野	82.2	8.0	-	-
工業	74.4	7.3	49.9	10.7
交通	221.9	21.7	-	-
合計	1024.0	100.0	468.1	100.0

1) パターン 1：用途混在型都市

都市内の全メッシュにおいてすべての土地利用が均一に混在している都市である。パターン 1 は他の土地利用配置と比較するための基本的配置である。

2) パターン 2：一心型都市

メッシュにそれぞれ異なる土地利用が配置された都市である。公共系土地利用の占めるメッシュ、即ち都心が都市の中心に 1 つ存在し、その周りを内側から商業系、住居系、空地系、林野系の土地利用が囲んでいる（図 2 (a)）。

3) パターン 3：四心型都市

都心が 4 つ存在する都市であり、東京のような複数の副都心から成る都市構造を想定したものである。都市域は 4 つの地域に分けられ、それぞれの地域には公共系、商業系、住居系、空地系の土地利用がパターン 2 とほぼ相似形になるように分離配置されている。工業系と林野系の土地利用の配置は、パターン 2 と同じである（図 2 (b)）。

4) パターン 4：十六心型都市

都心が 16 個ある都市である。都市域は 16 個の地域に分けられ、それぞれの地域には公共系、商業系、

住居系、空地系の土地利用がパターン 2 とほぼ相似形になるように分離配置されている。工業系と林野系の土地利用の配置は、パターン 2 と同じである（図 2 (c)）。

5) パターン 5：一心型空地混在都市

パターン 2 と同様、都心が 1 つ存在する都市である。但し、パターン 2 とは異なり、空地系土地利用が都市全域に均等に配置されている（図 2 (d)）。

3. 気候依存エネルギー消費の推定

前節で設定した 5 つの土地利用配置に対して、それぞれ気象シミュレーションを実行する。気象シミュレーションには、局地気象モデル CSUMM (Colorado State University Mesoscale Model) を用いる。そして、気象シミュレーションで得られた夏季の気温分布から、気候依存エネルギー消費を推計する。ここでは、気候依存エネルギー消費として、民生部門の空調用および給湯用のエネルギー消費を考える。

3.1. 気象モデルおよび気象シミュレーション

本研究で使用する局地気象モデルは、Pielke (1974) を原型としたコロラド州立大学メソスケールモデル (CSUMM) である。CSUMM は、3 つの要素、即ち、3 次元空間における気流モデル、地表面における熱収支モデル、地中への熱伝導モデルから構成されている。3 次元空間における気流モデルは、ブシネスク近似と静力学平衡が仮定された運動方程式、熱エネルギー保存式、水蒸気保存式、連続式により記述されている。

本研究で使用するプログラムソースは、Ulrickson and Mass (1990) や Kessler and Douglas (1992) に

図 2 土地利用配置

より乱流拡散の計算スキームが改良され、Ichinose et al. (1999) により、地表面パラメータの高解像度入力や建物用途別の人工排熱の入力が可能にされたものである。CSUMM の現象再現性は、実在フィールドを対象に観測値との比較を行った泉ら (1999)、Ichinose et al. (1999) などにより検証されている。

南関東での夏季の観測値を参考に表 2 のような初期条件を与えシミュレーションを行った。風向・風速に関しては、仮想フィールド内の海陸の配置から弱い陸風を想定した。その結果、仮想フィールド内でも一日周期の海陸風循環が良好に再現されることが確認された。シミュレーションは午前 0 時から 48 時間分を行い、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、計算時間間隔は 10 秒である。

表 2 初期条件

項目	値	出所
日付	7/15	
地表面気温(K)	297.8	アメダス地点別月別準平年値(1979~1990)(気象庁)
地表面湿度(%)	76	月別平年値(1961~1990)(気象庁)
地表面気圧(hPa)	1005	月別平年値(1961~1990)(気象庁)
温位勾配(K/km)	5.4	高層気象観測年報(気象庁)における土浦市館野の値
風向	N	
風速(m/s)	0.5	
海水面温度(K)	298	月別水面温度データ(海洋データセンサー)における東京湾内の値

3. 2. 空調用・給湯用エネルギー消費の推定法

シミュレーション結果に基づき、メッシュごとに気候依存エネルギー消費量を、平野 (1998) が提案した以下の式によって推定した。なお、東京都の土地建物用途分類と平野 (1998) による床面積用途分類とは表 3 のように対応させた。

メッシュ (x, y) の気候依存エネルギー消費：

$$E(x, y) = \sum_i \sum_j \sum_t \{a_{ij}(t) + b_{ij}(t)T(t; x, y)\} N_i(x, y) \quad (1)$$

i ：建物用途 $i = 1, \dots, 16$.

j ：エネルギー用途 $j = 1$ (暖房), 2 (冷房), 3 (給湯).

$T(t; x, y)$ ：時刻 t 、メッシュ (x, y) における気温.

$N_i(x, y)$ ：メッシュ (x, y) における建物用途 i の床面積.

$a_{ij}(t)$, $b_{ij}(t)$ ：建物用途 i 、エネルギー用途 j 、時刻 t 別の定数.

式 (1) で表現されているように、気候依存エネルギー消費は建物用途別床面積に気候依存エネルギー消費原単位 $(a_{ij}(t) + b_{ij}(t)T(t; x, y))$ を乗じて、その値を時刻、エネルギー用途、建物用途で積分することで求められる。ここで気候依存エネルギー消費の気温への依存性を考慮するために、気候依存エネルギー消費原単位は気温の一次式としている。なお、このエネルギー消費原単位の妥当性は、平野ら (1999) により検証されている。

表 3 東京都の土地建物用途分類と平野 (1998) による床面積用途分類の対応表 (「1/2」は床面積の 1/2 を、「-」は対応先がないことを表す.)

	東京都の土地建物用途分類	平野 (1998)
公共	官公庁施設	事務所
	教育文化施設	学校
	厚生医療施設	病院
	供給処理施設	事務所
商業	事務所建造物	事務所
	専用商業施設等	商業施設
	住商併用建物	1/2を商業施設
	宿泊・遊興施設	1/2を戸建住宅
住居	スポーツ・興行施設	ホテル
	専用独立住宅	娯楽施設
	集合住宅	戸建住宅
	農林漁業施設	集合住宅
工業	専用工場、作業所	戸建住宅
	住居併用工場、作業場	-
	倉庫、運輸関係施設	1/2を戸建住宅 1/2を事務所

3. 3. 推定結果および考察

以上の方法により推定した、各土地利用配置における気候依存エネルギー消費を、表 4 に示す。本研究では気候依存エネルギー消費の一時間値を 1 時から一時間おきに 24 時まで積算した値を、各土地利用における気候依存エネルギー消費とした。

この推定結果より、以下のことがわかる。まず第一に、パターン 2, 3, 4 を比較するとこの順でエネルギー消費が少なくなっている。このことから、都市の核が多くなるほど気候依存エネルギー消費が少なくなることがわかる。第二に、同じ一心型の都市であるパターン 2 および 5 を比較すると、パターン 5 の方が気候依存エネルギー消費が少なくなっている。このことから、空地を都市の縁に配置する場合

表 4 各土地利用配置における気候依存エネルギー消費

	気候依存エネルギー消費(TJ/day)				パターン 1 に対する比(%)
	暖房用	冷房用	給湯用	合計	
パターン1	0.8	1016.9	220.1	1237.8	-
パターン2	0.3	1149.5	202.2	1351.9	109.22
パターン3	0.4	1131.9	203.9	1336.1	107.94
パターン4	0.3	1130.6	204.8	1335.7	107.91
パターン5	0.6	1055.8	215.0	1271.4	102.71

と都市全域に均等に配置する場合とでは、後者の方が気候依存エネルギー消費は少なくなることがわかる。第三に、第二における減少分は、第一における減少分よりも大きい。したがって、都市を多心型にすることよりも、空地进行を都市内に分散させる方が、気候依存エネルギー消費の削減効果は大きいということが言える。

ここで問題となるのが推定精度である。本研究の目的は、各土地利用配置の絶対評価ではなく比較による相対評価である。比較による相対評価については泉ら（1999）などにより議論が行われており、ここで得られた差は十分有意であると考えられる。

4. 交通エネルギー消費の推定

次に、5つの土地利用配置における交通エネルギー消費を推定する。

4. 1. 推定法

交通エネルギーの消費量は、通勤、買物、業務の各トリップについて、トリップ数に平均移動距離および交通手段別のエネルギー消費原単位を乗じて推定する。推定には予め、目的別のトリップ数と移動距離分布を求めておく必要があるが、ここでは1) 発地制約型モデル、2) 着地制約型モデルの2通りによって求める。なおいずれの場合においても、通勤交通は住居・公共系および商業系、買物交通は住居・商業系の各土地利用相互間で、業務交通は公共・商業系の土地利用内で起こるものとする。また、ここでは便宜上「発地」とは行きでも帰りでも、行きの交通における発生メッシュを指すものとする。つまり、例えば通勤目的の交通における発地とは、行きでも帰りでも住居系土地利用のメッシュを指すものとする。

発地制約型モデルでは、交通目的 i におけるメッシュ j, k 間のトリップ数 t_{ijk} は以下の式で表されるものと仮定する。

$$t_{ijk} = \frac{d_{jk}^{-b}}{\sum_l d_{jl}^{-b}} O_{ij} \quad (2)$$

ここで、 d_{jk} はメッシュ j, k 間の距離、 b は距離抵抗の大きさ、 O_{ij} はメッシュ j における交通目的 i の発生交通量をそれぞれ表す。メッシュ間距離はメッシュの中心間の直線距離で代表し、同一メッシュ内の移動距離は、正方形内の任意の2点間距離 R の期待値 $E(R)$ を導く以下の式で与えられる（伊理・腰塚, 1993）。

$$E(R) = a \{2 + \sqrt{2} + 5 \log(1 + \sqrt{2})\} / 15 \quad (3)$$

a = 正方形の一辺の長さ

通勤および買物トリップの発生源である住民はすべて住居系土地利用に均一の密度（東京23区全域の1995年時点での人口密度（12,834人/km²））で住んでいるとする。通勤、買物および業務目的の総トリップ数は、第4回東京都市圏パーソントリップ調査（1998）の結果に基づき、表5のように仮定する。

表 5 交通目的別の総トリップ数（P：都市人口）

	総トリップ数
通 勤	$0.5324 \times P$
買 物	$0.5814 \times P$
業 務	$0.2192 \times P$

着地制約型モデルでは、交通目的 i におけるメッシュ j, k 間のトリップ数 t_{ijk} は以下の式で表されるものと仮定する。

$$t_{ijk} = \frac{d_{ij}^{-b}}{\sum_l d_{lk}^{-b}} D_{ik} \quad (4)$$

ここで、 d_{ij} はメッシュ j における交通目的 i の集中交通量を表す。この場合、通勤の着地である公共系・商業系土地利用に建物床面積当たり均一の密度に就業者が分布しており（就業者総数は発地制約型モデルと同じ）、式（4）によってトリップの分布

が規定されるものとする。買物トリップ、業務トリップについても、それぞれの着地である商業系および公共系土地利用の中で集中トリップ数が均一に分布しているものと考えてトリップ分布を推定する。なおここでも、各交通目的のトリップ数は発地制約型モデルと等しいものとする。

交通エネルギー消費は分布交通量に大きく依存し、分布交通量は、変数 b の値、即ち距離抵抗の大きさによって大きく異なる。そこで本研究では、通勤および買物目的の交通における距離抵抗の大きさを変動させて ($b=0\sim3$)、各土地利用配置における交通エネルギー消費の変動をみる。但し、業務交通に関しては距離抵抗はないものとする ($b=0$)。したがって、2つのモデルにおいて、就業者数の分布は異なるが、業務交通の集中トリップ数の分布は同じものになる。ここで全てのトリップについて $b=0$ とおくと、田頭 (1998) に想定されている交通モデルと一致する。

表 6 交通手段別エネルギー消費原単位

	KJ/trip/m
自動車	2.695
鉄 道	0.441
自転車 or 徒歩	0.000

交通手段としては、鉄道、自動車、徒歩（自転車を含む）の3種類を考える。各交通手段の分担率は、距離の関数とした谷藤 (1974) のものを使用し、また、交通手段別のエネルギー消費原単位は、田頭 (1998) を参考に表 6 の通りとする。

4.2. 推定結果

前節の方法で推定した各土地利用配置における交通エネルギー消費を、図 3 に示す。

この推定結果より、5つの土地利用配置間における交通エネルギー消費の大小関係について以下のことが言える。

まず、変数 b の値が 0 から 1.2 付近までは、いずれのモデルにおいても、大小関係は b の値によって変わる。しかし、 b の値が 1.5 を超えると大小関係はパターン $5>2>3>4>1$ の順に固定される。

図 3 交通エネルギー消費（線上の数字は、土地利用番号を表す。）

大佛ら (1999) は、首都圏におけるトリップ・データを用いて変数 b の値を実証し、その結果変数 b の値は 1.84~1.97 に収まるとしている。 b が都市構造に依存しないとすれば、交通エネルギー消費の大小関係はパターン $5>2>3>4>1$ の順であると考えてよい。したがって、交通エネルギー消費は一心型の都市で最も多く、都心の数が増えるほど減少するということと言える。この結果は、同様に仮想都市を対象に都市構造と交通エネルギー消費との関係を論じた Edwards and Schofer (1976) の結果と一致している。

5. 土地利用配置の評価

以上の結果を総合し、気候依存エネルギー消費（表 4）および交通エネルギー消費（図 3）を同時に考慮して、都市内土地利用配置の評価を行う。図 4 に、3 節および 4 節の結果を合計したものを示す。

この結果から、都市内エネルギー消費から見た望ましい都市内土地利用配置について、次のことが言える。

第一に、いずれの交通モデルでも b の値に関係なく、都市内エネルギー消費はパターン 1 で最も少なく、パターン 2 で最も多い。このことから、各土地

図 4 都市内エネルギー消費（線上の数字は、土地利用番号を表す。）

利用は混在している方が分離しているより望ましいということが言える。

第二に、交通エネルギー消費（図3）の大小関係が一意に定まる $b > 1.5$ のときには、パターン2, 3, 4の都市内エネルギー消費は常にこの順で少ない。これは、気候依存エネルギー消費のみでも、交通エネルギー消費のみでも、この3つの土地利用配置間の大小関係がパターン2, 3, 4の順に一致したことによる。このことから、都市内エネルギー消費からみると都心の数は多いほど望ましいと言える。

第三に、同じ一心型都市であっても、パターン5の方がパターン2よりも都市内エネルギー消費は少ない。このことから、都市内エネルギー消費という観点に立つと、都心の数だけではなく公園や運動場といった空地系土地利用の都市内配置も重要な要素であること、特に、空地系土地利用の都市内配置に関しては、空地を都市内全域に均等に配置する場合の方が都市の縁に配置する場合より望ましいということが言える。また、気候依存エネルギー消費はパターン5の方が、交通エネルギー消費はパターン2の方がそれぞれ少ないこと（表4および図3参照）を考えると、空地系土地利用の都市内配置が異なることによるエネルギー消費の変動分は、交通エネルギー消費よりも気候依存エネルギー消費の方が大きいと考えられる。このことから、空地系土地利用の都市内配置を都市内エネルギー消費の観点から評価するには、交通エネルギー消費よりも気候依存エネルギー消費の方がより重要であることが言える。

第四に、パターン3, 4, 5の間の都市内エネルギー消費の大小関係は、交通モデルにおける仮定や交通における距離抵抗の指数 b の大きさに依存している。発地制約型モデルにおいては、距離抵抗の指数 b の値が0のとき、パターン3, 4, 5の順でエネルギー消費が少なく、 b が1まで増加するとパターン4と5の順が逆転、さらに、 $b=1.4$ まで増加するとパターン5, 3, 4の順序へと変化する（図4(a)）。一方、着地制約型モデルにおいては、 $b=0$ のときにはパターン3, 4, 5の順でエネルギー消費が少ないという点は発地制約型モデルと同じであるが、パターン5と4の大小関係が逆転するのは $b=1.2$ 付

近であり、またパターン5と3の大小関係が逆転するのは $b=1.8$ 付近である（図4(b)）。このことから、パターン3, 4, 5の都市内エネルギー消費の差異は比較的微妙であり、そこで想定される交通モデルに依存する部分が少なくないということが言える。但し、前述のように、現実の距離抵抗の指数が $b=1.9$ 程度であることを踏まえれば、いずれの交通モデルでもパターン4で最も少なく、パターン3, 5の順に増加すると言ってよいであろう。つまり、都市内エネルギー消費からみると、十六心型都市、四心型都市、一心型空地混在都市の順に望ましいと言える。

なお、気候依存エネルギー消費はパターン3, 4, 5の順で少なくなり、交通エネルギー消費は、 $b > 1$ の場合いずれの交通モデルでも b の値に関係なくパターン5, 3, 4の順で少なくなるというように、気候依存エネルギー消費あるいは交通エネルギー消費だけを考えると、パターン3, 4, 5の間の大小関係は一意に定まっていた。したがって、パターン3, 4, 5間の都市内エネルギー消費の大小関係が b の値によって変化することは、気候依存エネルギー消費のみ、あるいは交通エネルギー消費のみでは、都市内土地利用配置の真の評価は得られないことを示しており、本論文の意義を裏付けていると言えよう。

6. おわりに

本研究では、都市内エネルギー消費の観点から、仮想的な都市内における5つの土地利用配置の評価を行った。都市内エネルギー消費としては、既存研究において個別に扱われていた気候依存エネルギー消費と交通エネルギー消費という二種類のエネルギー消費を同時に扱っている。

その結果、用途混在型都市が最も望ましく、十六心型都市、四心型都市、一心型空地混在都市、一心型都市の順でエネルギー消費が増大することが明らかになった。また、都市内土地利用配置の真の評価は、気候依存エネルギー消費のみ、あるいは交通エネルギー消費のみではなく、両者の合計からみないと得られないことがわかった。このことは、現実の都市における土地利用配置の評価においては、本研

究で扱った二種類のエネルギー消費を考慮に入れるべきであることを示す。

最後に、本研究において残された課題をいくつか述べる。まず第一に、本研究では、都市内土地利用配置が異なっても各土地利用の総面積および建物用途別の総床面積が等しければ都市の経済規模は変わらないと仮定している。しかし、現実には、各土地利用の総面積および建物用途別の総床面積が等しくても、都市内土地利用配置が異なれば経済規模にも少なからず影響が出ると考えられる。したがって、経済モデルを導入した都市内土地利用配置の評価が今後必要である。

第二に、本研究で使用した気象モデルの現象再現性は、既存研究によって夏季の一日分だけが保証されているのみであるため、気候依存性エネルギー消費も夏季の一日分しか推定していない。しかし、気候依存性エネルギー消費は気候条件に依存するため、一年中変動する。特に冬季は夏季とは逆に都市の気温が高くなるほどエネルギー消費は抑制されるため、気候依存性エネルギー消費を一年の総量でみたとき、本研究の結果と全く同じ結果が得られるとは限らない。したがって、一年を通した気候依存性エネルギー消費の推定が必要であり、そのためには一年間の気候条件を実用可能な精度でシミュレーションできる気象モデルの開発が必要である。

第三に、本研究で対象とした仮想都市は、既存研究により気象モデルの適応妥当性が保証されている東京と同じ緯度に位置する海岸都市である。気候依存エネルギー消費は都市の位置する緯度や地形の影響を受けるため、本研究の結果が世界中の全ての都市にそのまま当てはまるとは必ずしも言えない。より多様な条件の都市に対して、本研究の評価方法をさらに適応するべきである。

謝辞

本研究は、東京都立大学都市研究所・共同研究「大都市の地域情報と居住システムに関する計画論的研究」（1994-1997年度）、「循環型社会とまちづくりに関する総合的研究」（1998-2001年度）の研究成果の一部である。

参考文献

- 泉 岳樹・岡部篤行・貞広幸雄・花木啓介・一ノ瀬俊明（1999）首都機能移転による熱環境変化の予測。「環境システム研究」, 27, 171-178.
- 伊理正夫監修・腰塚武志編集（1993）『計算幾何学と地理情報処理 第2版』, 共立出版株式会社.
- 大佛俊泰・三村昌裕・西島順子（1999）居住地選択における期待効用とその時空間分布特性。「1999年度日本建築学会関東支部研究報告集」, 405-408.
- 鈴木 勉・田頭直人（1997）都市交通の視点から見た省エネルギー型都市構造とは？。「オペレーションズ・リサーチ」, 1月号, 14-19.
- 田頭直人（1998）都市の空間構造とエネルギー消費に関する一考察 ―エネルギー削減を目指した諸システムの導入効果について―。「日本都市計画学会学術研究論文集」, 33, 61-66.
- 谷藤正三（1974）『都市交通計画』, 技報堂.
- 平野勇二郎（1998）都市ヒートアイランド現象の民生用エネルギー消費への影響。「1997年度慶應義塾大学政策・メディア研究科修士論文」.
- 平野勇二郎・茅 陽一・柴崎亮介（1999）都市ヒートアイランド現象の空調・給湯用エネルギー消費への影響評価。「土木学会論文集」, 629 (VII-12), 83-96.
- Edwards, J. L. and Schofer, J. L. (1976) Relationships between transportation energy consumption and urban structure: results of simulation studies. *Transportation Research Record*, 599, 52-59.
- Hemmens, G. C. (1967) Experiments in urban form and structure. *Highway Research Record*, 207, 32-41.
- Ichinose, T., Shimodozono, K. and Hanaki, K. (1999) Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, 33, 3897-3909.
- Kessler, R. C. and Douglas, S. G. (1992) User's guide to the system applications international mesoscale model (Ver. 2.0), *System Application Int*, SYSAPP-92-085.
- Pielke, R. A. (1974) A Three-dimensional numerical model of the sea breezes over South Florida. *Monthly Weather Review*, 102, 115-139.
- Ulrickson, B. L. and Mass, C. F. (1990) Numerical investigation of mesoscale circulations over the Los Angeles basin. Part I. *A Verification Study*, 118, 2138-2161.