

自動車交通と熱環境からみた環境負荷の小さな都市形態

Urban Forms Inducing Less Environmental Loads Both of Traffic and Heat

加藤研二*・熊倉俊郎**・松本昌二***・佐野可寸志***

By Kenji KATO *, Toshiro KUMAKURA **, Shoji MATSUMOTO ***, and Kazushi SANO ***

ABSTRACT: Theoretical and empirical studies have analyzed the problem of metropolitan land use or urban form which reduces traffic volume or travel energy use, but have never take into account the urban environment such as heat island, wind, and pollution dispersion. This paper applies a traditional traffic planning model and a regional atmospheric circulation model for the Niigata metropolitan area. Then, traffic vehicle-kilometer, temperature and wind are assessed for the three kinds of hypothetical urban forms: high-density monocentric, concentrated suburban dispersion, and concentrated decentralization (multi-function-polis). The paper concludes that the urban forms of concentrated decentralization induces the least environmental loads both of traffic and heat, balancing the trade-off relationship between traffic and heat factors.

KEYWORDS: urban form, transportation planning model, atmospheric circulation model, local city

1. はじめに

環境問題、省エネルギーなどを背景に、自動車利用の削減をねらいとした都市の土地利用形態、都市開発のあり方が研究課題とされ、そのような施策が欧米では実施されている。そこでは、環境負荷の小さな都市形態として、コンパクトシティ、高密度でコンパクトな市街地が一般に指向されている。しかし、その概念や様々な環境負荷との関係は必ずしも明確ではない。

地方都市圏レベルで考えた場合、低密な郊外化を抑制し、既成市街地を高密度するのが望ましいという考えがある。しかし一方では、道路混雑による大気汚染、および都市集積による熱汚染（ヒートアイランド）や風の滞留といった本来の都市環境の悪化をもたらす恐れがある。低密な郊外化、分散した新市街地の開発は、熱汚染の面では望ましくとも、長トリップの自動車利用を強要すると推定される。このように、交通と熱汚染という2つの視点から、地方都市を対象として都市形態を考察する。2つの視点からみた望ましい都市形態は必ずしも一致しないのではないか、自動車交通と熱汚染の間にはトレードオフが存在するのではないか、これが明らかにしたい問題である。

既往の研究においては、土地利用と熱環境やヒートアイランドに関する研究¹⁾²⁾、および都市形態と交通⁴⁾に関する研究は数多く行われてきた。しかし、都市形態を媒介として交通と熱環境の関連を扱ったものはない。

本研究においては新潟都市圏を対象とする。新潟都市圏は、人口約 86 万人で、市街地拡大とともに、中心部は商業業務系、市街地周辺は住居系の土地利用が増加し、中心都市である新潟市には都市圏人口の 52

* 正会員 工修 阿南工業高等専門学校建設システム工学科

(〒 774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265 TEL:0884-23-7185, FAX:0884-23-7199)

**正会員 理修 長岡技術科学大学環境・建設系

(〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603.1 TEL:0258-47-9672, FAX: 0258-47-9673)

***正会員 工博 長岡技術科学大学環境・建設系

(〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL:0258-47-9615, FAX: 0258-47-9600)

%、従業者数の 62 % が集中している。しかし、近年は新潟市内より郊外の衛星都市部に人口が拡散する傾向がみられる。

そこで本研究では、新潟都市圏をケーススタディとして、仮想的な都市形態を設定して、交通計画モデルと熱環境モデルの 2 つのモデルを用いてシミュレーションを行う。それにより、異なる都市形態が自動車交通と熱環境に及ぼす影響、および交通と熱環境の関係を定量的に比較し、その範囲内で環境負荷の小さな都市形態とは何かを考察する。

2. 研究方法と都市形態の設定

本研究の手順は図－1 に示す通りであり、まず新潟都市圏を対象として、仮想的に 3 つの異なる都市形態を設定する。次に、それぞれの都市形態について、交通需要予測モデルを用いて自動車交通量を、局地大気数値モデルを用いて温位と風を推定し、都市形態による違いを分析することとする。

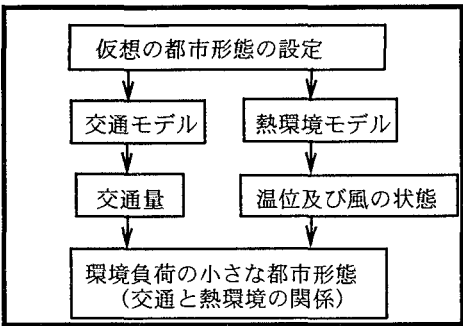
第 2 回新潟都市圏パーソントリップ調査において人口及び土地利用を検討するために、圏域を 108 ゾーンに区分している⁹⁾。本研究では同調査圏域のゾーニングを用いて、以下に示す 6 つの区域を設定した。

- ①中心部：新潟市の商業業務機能を担う中心地。
- ②市街地：新潟市内で市街化区域指定の地域。
- ③郊外開発地：市街地の外側にあって市街化が進んでいない地域。
- ④衛星都市都市部：新潟市都心から 20 ～ 30 km 離れた所に位置し、衛星都市として市街化が進んでいる地域。
- ⑤衛星都市開発地：衛星都市都市部の周辺に位置し、市街化が進んでいない地域。
- ⑥その他：地形、植生等からみて開発が困難と考えられる地域。

将来の予測年度は平成 22 年とし、対象とした 108 ゾーンの内、都心より半径約 30 km に位置する 92 ゾーンについて、人口配置（表－1）および土地利用を計画し、以下に示す 3 つの仮想的都市形態を設定する（図－2）。

①一極集中型

将来予測される人口増加が中心部および市街地に限定され、中心部では主に商業系（第 3 次産業）の土地利用が増加し、市街地では主に住居系の土地利用が増加すると仮定した都市形態。中心部の夜間人口密度は 70 から 122 人/ha、昼間人口密度は 52 から 112 人/ha へ増加する。



図－1 研究フロー

表－1 夜間人口と昼間人口の設定

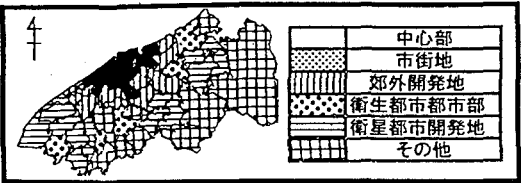
○一極集中型 (増加率:H22/S63)				
	夜間人口		昼間人口	
	平成22年	増加率	平成22年	増加率
中心部	204,807	1.75	187,062	2.17
市街地	530,084	1.89	232,199	1.82
郊外開発地	110,555	1.00	38,090	0.77
衛星都市都市部	105,820	1.00	48,843	0.93
衛星都市開発地	119,382	1.00	46,832	0.84
その他	129,352	1.00	45,433	0.77
合計	1,200,000	1.39	598,459	1.39
○市街地拡大型				
	夜間人口		昼間人口	
	平成22年	増加率	平成22年	増加率
中心部	172,489	1.47	177,556	2.06
市街地	437,473	1.56	197,376	1.55
郊外開発地	235,484	2.13	82,419	1.67
衛星都市都市部	105,820	1.00	48,843	0.93
衛星都市開発地	119,382	1.00	46,832	0.84
その他	129,352	1.00	45,433	0.77
合計	1,200,000	1.39	598,459	1.39
○衛星都市型				
	夜間人口		昼間人口	
	平成22年	増加率	平成22年	増加率
中心部	117,097	1.00	78,440	0.91
市街地	280,744	1.00	114,412	0.90
郊外開発地	110,555	1.00	38,090	0.77
衛星都市都市部	360,433	3.41	200,466	3.83
衛星都市開発地	201,819	1.69	115,969	2.09
その他	129,352	1.00	51,082	0.87
合計	1,200,000	1.39	598,459	1.39

②市街地拡大型

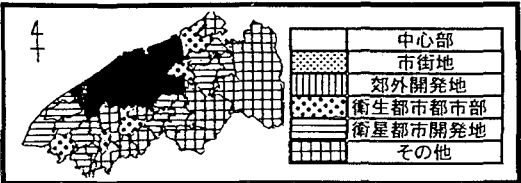
将来予測される人口増加が中心部、市街地および郊外開発地に限定して起こり、一極集中型と同じように、中心部では商業系、市街地と郊外開発地では住居系の土地利用が増加すると仮定した都市形態。中心部の夜間人口密度は 103 人/ha、昼間人口密度は 106 人/ha への増加に抑制されている。

③衛星都市型

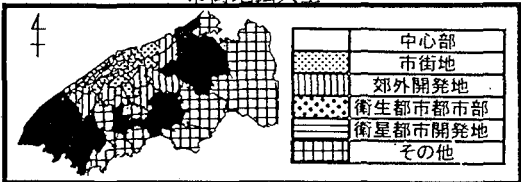
将来予測される人口の増加が衛星都市の都市部および衛星都市開発地に限定して起こり、衛星都市都市部において主に商業系、開発地においては主に住居系の土地利用が増加すると仮定した都市形態。中心部の夜間人口密度は 70 人/ha、昼間人口密度は 47 人/ha で、ほぼ現状のままである。一方、衛星都市都市部の夜間人口密度は 26 から 89 人/ha、昼間人口密度は 13 から 50 人/ha へ増加する。



一極集中型



市街地拡大型



衛星都市型

: 集中開発地

図-2 仮想の都市形態

3. 交通需要予測

(1) 推定法

本研究では、手段分担なしの三段階推定法を用いて、各都市形態の将来交通量を予測する。使用するデータは、第 2 回新潟都市圏パーソントリップ調査によって求められた 4 目的（通勤、業務、私用、帰宅）の自動車 OD 表である。従って、都市形態の違いによって交通手段分担率は変化しないと仮定したことになる。

まず、都市圏全体の生成交通量をコントロールテーブル（表-2）とし、発生・集中交通量を重回帰分析により推計する（表-3）。ここで、集中量帰宅目的の決定係数は低いが、都市形態を表現しうる変数で説明力をもつものとして採用した。

推計されたゾーン別目的別発生・集中交通量を基に、フレータ法を用いて OD 表を推計する。表-4 に、都市形態毎に推計した区域別 OD 表を示す。OD 表の特徴としては、各都市形態とも開発を行ったゾーンの発生・集中交通量が多く、さらにそのゾーンの内々交通率が 76 - 82 % と高いことである。特に衛星都市域の内々交通率が、一極集中型、市街地開発型では 50 % であるのに対して、衛星都市型では 77 % である。つまり衛星都市型では、交通が衛星都市域内で自立しており、多核分散型の都市構造となっていることがわかる。

次に、現況の道路網を用いて現況自動車 OD 表を均衡配分法により配分し、リンク交通量の現況と配分結果との相関係数は 0.965 を得た。将来 OD 表の配分については、都市形態に合った道路網を設定するという

表-2 生成交通量の予測

目的	生成交通量		増加率
	現況	平成22年	
通勤	396,428	431,429	1.09
業務	330,228	423,273	1.28
私用	643,964	760,128	1.18
帰宅	928,510	1,086,995	1.17

表-3 発生・集中交通量の予測

○発生量

目的	説明変数	決定係数(R^2)
通勤	夜間人口	0.81
業務	3次産業就業者数	0.50
私用	2次+3次産業就業者数	0.81
帰宅	総就業者数	0.82

○集中量

目的	説明変数	決定係数(R^2)
通勤	2次+3次産業就業者数	0.46
業務	3次産業就業者数	0.68
私用	夜間人口	0.35
帰宅	夜間人口	0.24

考え方もあり得るけれども、同一の道路網のもとで配分し都市形態を比較するという意図から、現況の道路網を使用することとした。一例として、

図－3に一極集中型の交通配分結果を示す。

(2) 交通需要の推定結果

3つの仮定の都市形態について求めた区域別 OD 表 (表－4) および配分結果の自動車交通量 (図－4)、混雑度、リンク速度にもとづき、都市形態の比較を行う。なお、区域は新潟都市域、郊外開発地、衛星都市域、その他の4つに統合してある。

①一極集中型

新潟都市域の内々交通量が、3つの都市形態の中で最も多く、新潟都市域と衛星都市域間の OD 交通量も最も多い。その反面、郊外開発地を OD とする交通量は少ない。配分結果をみても、都市圏全体の交通量 (台キロ) の約 70 % が新潟都市域に集中し、その新潟都市域内での交通量が他の都市形態より大きい。また、都市圏全体の交通量が最も多い都市形態である。

②市街地拡大型

郊外開発地の内々交通、および新潟都市域との OD 交通が際立って多く、その他の新潟都市域の OD 交通は一極集中型より幾分少ない。都市圏全体の交通量 (台キロ) は一極集中型よりも 2 % 少ないが、全体的な傾向は同じである。混雑度 1.5 以上の道路距離は、全体では一極集中型と変わらないが、新潟都市域で増加し、郊外開発地で増加する。

③衛星都市型

衛星都市域の内々交通が多く、衛星都市域内に交通が集中している多核分散型の都市形態である。新潟都市域の内々交通は少ない。配分結果によると、都市圏全体の交通量 (台キロ) が3つの都市形態の中で最も小さく、一極集中型より 14 % 少ない。混雑度 1.5 以上の道路距離は、一極集中型と比べて新潟都市域で減少し、衛星都市域とその他で増加し、全体でも 5 % 増加する。これは衛星都市域での道路網整備が相対的に進んでいないためと考えられる。

4. 温位および風の予測

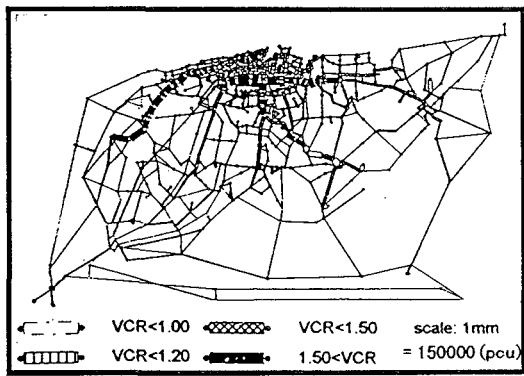
(1) モデルの概要

本研究においては、F. Kimura の局地大気数値モデル (Version 4) を用いて温位および風向・風力を予測す

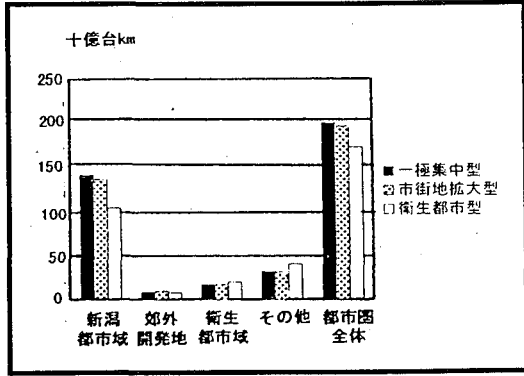
表－4 都市形態別の区域 OD 表

○一極集中型					
OD	N	K	E	S	G
N	1,430,767	110,130	165,049	93,612	1,799,558
K	108,840	51,425	26,371	14,521	201,157
E	161,240	18,326	259,074	51,837	490,477
S	46,624	8,183	67,322	108,504	230,633
G	1,747,471	188,064	517,816	268,474	2,721,825
○市街地拡大型					
OD	N	K	E	S	G
N	1,179,716	181,058	152,184	82,774	1,595,732
K	181,058	150,543	40,620	18,412	390,633
E	149,042	30,660	258,404	54,801	492,907
S	42,358	13,985	66,988	106,513	229,844
G	1,552,174	376,246	518,196	262,500	2,709,116
○衛星都市型					
OD	N	K	E	S	G
N	885,575	118,187	98,284	32,940	1,134,986
K	95,297	82,310	33,929	8,902	220,438
E	175,467	71,525	700,624	73,658	1,021,274
S	26,269	9,907	73,918	124,833	234,927
G	1,182,608	281,929	906,755	240,333	2,611,625

N：新潟都市域 (中心部＋市街地)
 K：郊外開発地
 E：衛星都市域
 (衛星都市都市部＋衛星都市開発地)
 S：その他
 G：合計



図－3 一極集中型の配分結果



図－4 区域別の配分交通量 (台 km)

る。⁹⁾このモデルでの基礎方程式は以下に示す3つの近似を用いている。

- ・ Boussinesq 近似：温度変化が小さく、鉛直方向の運動量が全体の流れに対しあまり大きくないと考え、密度変化は浮力に対してだけ考慮する。
- ・ 静力学近似：鉛直運動は水平運動より小さく、鉛直加速度は無視できることが多いことから、重力と気圧の鉛直分布が釣り合う。
- ・ 非弾性近似：弾性エネルギーを含まない。

新潟都市圏 60 km × 60 km の範囲において、土地利用（田、森林、建物用地および海域）を 30 × 30 グリッドに分割（1 格子 2 km × 2 km）したメッシュデータに置き換え、下部境界条件として格子ごとに、アルベド（入射する太陽放射に対する反射率）、地表面粗度（地表面の凹凸の度合いを長さで表現する指標であり、風速や気温の鉛直分布に影響する）、土壌湿潤度、熱伝導率の各種パラメータを設定する（表-5）。また、初期条件としては、夏で雲のない日、 X_0 、 Y 軸方向とも初期風速は 0 m/s と設定した。

表-5 土地利用分類毎の各種地表面パラメータ

分類	アルベド	地表面粗度 (cm)	土壌湿潤度	熱伝導率
田	0.17	10	1.0	1.00
森 林	0.16	50	0.9	1.82
建物用地	0.16	50	0.5	2.16
海 域	0.08	0.0001	1.0	1.00

参照：建設省緑被率データ
東京都都市計画局
25m ポイントサンプリングデータ

(2) 予測結果

上記の初期条件によりシミュレーションを開始する
が、実際の都市においては、無風状態ではなく、常に風が吹いている。そこで、地表面から高さ 10m において X 軸方向の風の状態を時間毎に計算した結果、海陸風が3日目に定常状態になっていることが判明した。そこで、3日目の地表面より高さ 10m において、温位および風の状態を比較検討するものとする。温位および風の状態が大きく変化する夜間（3時）と昼間（15時）について、現況と仮想の都市形態の状態を表したのが図-5～12である。なお、図の対角線がほぼ海岸線であり、左上は日本海に相当する。これらの図を比較することにより、都市形態の影響を把握する。

(3) 温位の状態

現況では、新潟都市域（中心部・市街地）だけで昼夜間の温位の差がみられるが、仮想都市形態においては、開発区域においても温位の差がみられる。特に下部境界条件において設定した建物用地の熱伝導率は他の土地利用区分よりも高く、夜間に中心部において激しい冷え込みが生じている。
一極集中型においては、現況とほぼ同じような温位を示し、新潟都市域だけで温位の差が大きい。
市街地拡大型においては、郊外開発地まで開発され市街化したことにより、温位差の大きい地域が現況よりもそれだけ拡大した。

衛星都市型においては、新潟都市域の温位差は現状とほぼ同じだが、そのような温位差が衛星都市域において現状より強く起こっている。

(4) 風の状態

現況をみると、風は北東方向より吹き込み、時間を追う毎に時計回りに風向を変化させている。また、夜間には温位が新潟都市域でかなりかなり下がるので、都市域に吹き込む風がかなり強くなっている。一極集中型および市街地拡大型においては、現況と同じように、風が新潟都市域に集中して吹き込み、日中に新潟都市域からその周辺地域に吹く。また、新潟都市域において風が滞留すると考えられ、特に市街地拡大型はこの傾向が顕著に現れる。

衛星都市型では、新潟都市域、衛星都市域という温位の差が大きいところを中心にして、風が循環して流れ、風の発生・集中する地点が増えた。このため日中、風が衛星都市域に分散して流れ、風が衛星都市の間を通り抜けるという傾向が現れる。

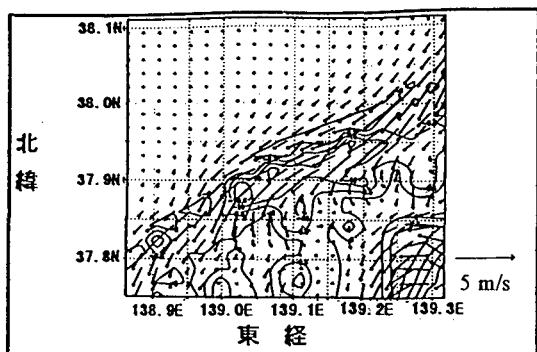


圖-5 現況 (3時)

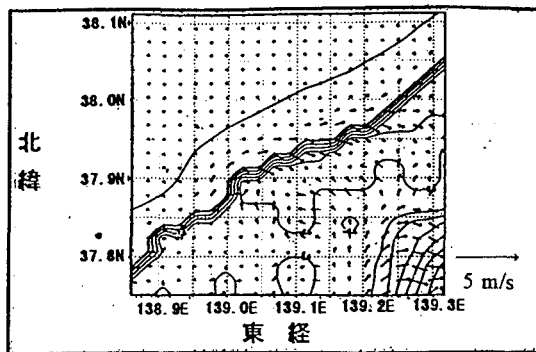


圖-9 現況 (15時)

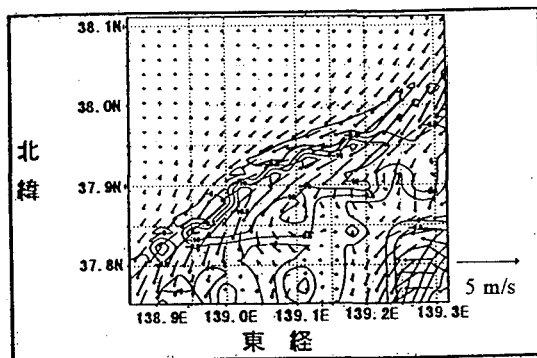


圖-6 一極集中型 (3時)

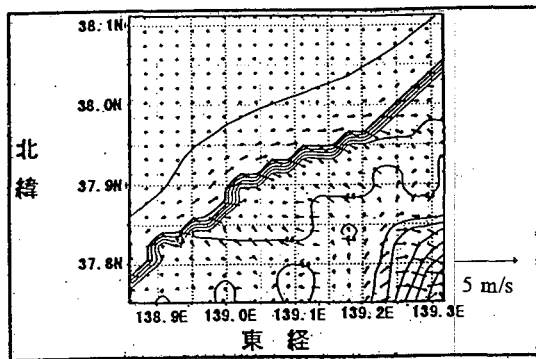


圖-10 一極集中型 (15時)

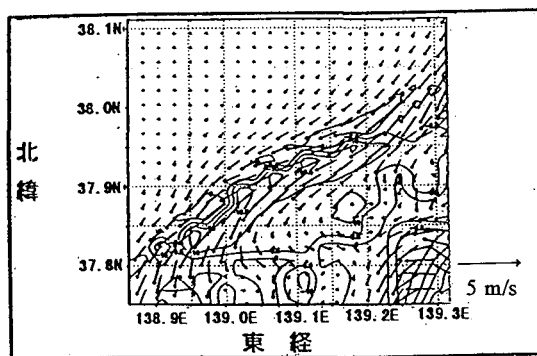


圖-7 市街地拡大型 (3時)

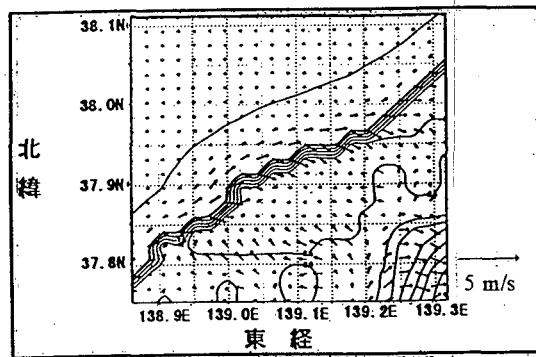


圖-11 市街地拡大型 (15時)

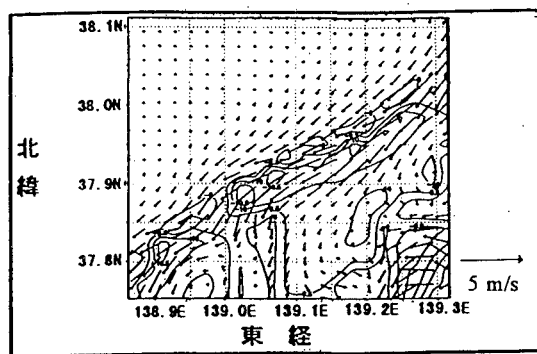


圖-8 衛星都市型 (3時)

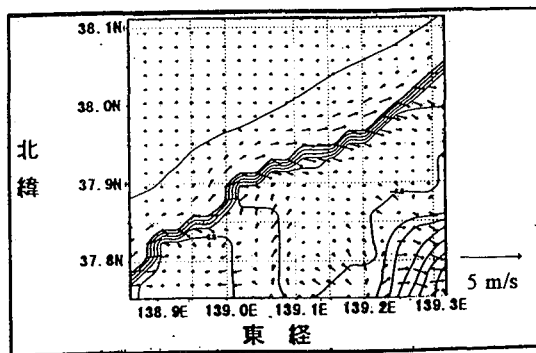


圖-12 衛星都市型 (15時)

5. 結論

3つの仮想の都市形態を設定し、自動車交通量および温位・風の状態を分析したが、その範囲内で環境負荷を最も小さくできる都市形態について検討する。

①一極集中型

新潟都市域と衛星都市域から中心部に自動車交通が集中し、都市圏全体の交通量（台キロ）は3つの都市形態の中で最も大きい。また、新潟都市域において昼夜の温位差が大きく、その場所に風が流れ込むことにより、風が中心部で滞留すると考えられる。

②市街地拡大型

交通量、熱環境とも一極集中型とほぼ同じである。特に、新潟都市域と郊外開発地の全体が市街地となることから、日中広範囲で温位が高くなり、風が滞留すると考えられる。

③衛星都市型

各衛星都市は自立した生活圏を形成し、自動車交通が新潟都市域と各衛星都市域に分散することにより、都市圏全体の交通量（台キロ）は3つの都市形態の中で最小である。また、新潟都市域および衛星都市域において風が循環することにより、日中、衛星都市の間を風が通り抜ける傾向が現れる。交通と熱環境の範囲内において、最も環境負荷の小さい都市形態である。

異なる都市形態の分析を通して、交通と熱環境の関連を考察する。一極集中型と市街地開発型の間には、交通と熱環境に根本的な違いは存在しないので、空間的な広がりやの違いがあるものの、交通と熱環境の負荷状態を比較するのは困難であった。自立した生活圏を形成する衛星都市型は、交通と熱環境両方の負荷が小さな都市形態であり、そこには両者の間にトレードオフは存在しない。しかし、本研究では対象としなかったけれども、非自立的な衛星都市（住居系の土地利用に特化した衛星都市）では、自動車交通による負荷がより大きくなるのは明らかであり、交通と熱環境にトレードオフ関係が生じることになる。今後、環境負荷の小さな都市形態を検討するに当たり、交通量、交通エネルギー消費といった視点だけではなく、熱汚染を含めた都市環境にも着目する必要があると考える。

本研究は、極めて異なった都市形態を分析することを目的として、交通モデル、熱環境モデル共に相対的にマクロな扱い方をしており、今後の研究課題として多くの問題が残されている。空間的には都市の内部構造が詳細ではなく、特に空地の配置を考慮することが必要である。さらに、自動車排出ガス等が風によってどのように拡散するかという、交通モデルと熱環境モデルを結合させて都市環境を検討することも必要である。

謝辞：局地大気数値モデルを提供頂いた筑波大学地球科学系木村富士男先生に、ここに記して感謝致したい。

参考文献

- 1)ノ瀬：シリーズ「ヒートアイランド」その1 人口排熱と都市気候, 生活衛生, 39, 6, 309-319, 1995.
- 2)横山長之他：「環境シミュレーションシリーズ 大気環境シミュレーションー大気の流れと拡散ー」, 白亜書房.
- 3)浦野他：広域大気環境シミュレーションシステムの開発, アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 技術研究発表論文集, 6, 69-74, 1995.
- 4)宮武・秋澤・茅：運輸エネルギー消費を最小化する最適都市構造の評価, 電気学会論文集 B, 115, 6, 617-623, 1995.
- 5)新潟都市圏総合都市交通計画協議会：新潟都市圏 第2回パーソントリップ調査報告書, 1.実態調査編, 2.現状分析編, 3.現況データ編, 4.将来推計編, 5.施設 計画編, 1990.
- 6) Kikuchi, Y., S. Arakawa, F. Kimura, K. Shirasaki: Numerical Study on the Effects of Mountains on the Land and Sea Breeze Circulation in the Kanto District, J. Meteor. Soc. Japan, 59, 723-738, 1981.