

(12) 地域規模の土地利用変化に伴う大気環境の変化
濃尾平野の10年間(1975-1985)を例に

EFFECTS OF LOCAL URBANIZATION ON THE CLIMATE AND AIR QUALITY
IN REGIONAL-SCALE: AN ANALYSIS OF HISTORICAL DATA
IN 1975 AND 1985 IN NOBI PLAIN, CENTRAL JAPAN

北田 敏廣*・国井 克彦*・久保 田 庄三*
Toshihiro KITADA*, Katsuhiko KUNII*, Shozo KUBOTA*

ABSTRACT; Effects of local urbanization on the regional-scale climate and air quality have been examined by analyzing historical data of meteorology and air quality in 1975 and 1985 in Nobi Plain, which is located on the Pacific Ocean side of central Japan. During the decade, about 12% (~400 km²) of total land area in the region was changed from rice paddy field or forest to urban or bare soil area, resulting in an increase in ratio of urban (plus bare soil) area from 40.4% in 1975 to 53.1% in 1985. The analysis was performed for total eighteen days under high pressure system from May through September in both years. The results show that: (1) Daily-high-temperature zone shifted from intense urban-complex in coastal area in 1975 to inland in 1985, while temperatures in the urban-complex did not change significantly in these years. The shift can be attributed to horizontal transport of the heat accumulated in sea breeze layer, which heated up over newly urbanized surfaces in the sea breeze's fetch by artificial sources and increased-sensible-heat-flux. (2) Shift of the zone of high NO₂ concentration also well-correlated with that of the high temperature. These results suggest that urbanization in coastal area affects climate and air quality in inland area (i.e., regional effect of local urbanization), and thus necessity of the planning of land-use to preserve atmospheric environment in regional scale.

KEYWORDS; Local climate, Air quality, Land use, Regional planning, Sea breeze.

1. 序論

地域の大気環境(気候、気象、大気の質)に影響を与える要因には、総観規模の気象場、自然地形、土地利用の形態等が考えられる。これらの要因のうちで人工的に改変されるもの、すなわち、都市域の拡大等の土地利用形態の変化は、地表面における顕熱や潜熱のフラックス、力学的特性(地表摩擦)、汚染質フラックス等を変えるために、変化が広範囲に起これば、局所的にはもとより、地域的・大域的スケールでも大気環境の変化を引き起こす可能性がある。

本研究は、広範囲な土地利用の変化が地域の大気環境にどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的に、愛知県西部(図1)を対象にして、土地利用の変化と大気環境変化の関係を10年を隔てたデータを用い(1975年と1985年)、解析したものである。対象領域として選んだ名古屋市中心とする濃尾平野一帯は、南に伊勢湾、その他の方向を山地に囲まれ、高気圧が支配的である総観気象場のもとでは海陸風―山谷風―台地・平地風の循環系が卓越する地域である。さらに、この領域では、気象データ、汚染濃度データが、昭

* 豊橋技術科学大学 建設工学系 (〒441 豊橋市天伯町)

Dept. of Regional Planning, Toyohashi Univ. Technol, Tempaku-cho, Toyohashi 441, JAPAN

和40年代後半から現代に到るまで愛知県、名古屋市等の地方庁により密な測定網の下に蓄積されているのみならず、'75年から'85年の10年間に都市域の拡大などかなりの土地利用の変化も生じているので、本研究の目的には極めてふさわしい地域である。

2. 解析データとその評価

対象領域(図1)は名古屋を含む濃尾平野とその周辺地域(南北約65 km×東西約55 km)である。また、比較のための対象年は'75年(昭和50年)と'85年(昭和60年)である。両年には、図2に示すように約50～60の測定点で気象・汚染濃度データが得られている。また、3.2で述べるように、この10年間に広範囲にわたって都市域の拡大等土地利用の変化が生じている(図3a, b)。解析対象日として、日本中央部が緩やかな高気圧に覆われている総観規模気象場の日を、各年の5、8、9月から数日ずつ(合計18日)選び出した。このような日は、晴天で大規模一般風が弱く、従って気塊の停滞を招きやすく、大気環境が悪化しやすい¹⁾。同時に、局所的な熱的条件の変化が大気流れ等に影響を与えやすいと推測できる。

2.1 土地利用データ

土地利用の変化を見るために使用した情報は、'75年については、国土数値情報の土地利用面積ファイル(K S-200)²⁾、'85年については、当該年度の愛知県の土地利用規制図³⁾である。'85年の場合、国土数値情報のようなデータファイルや土地利用図がなく、土地利用規制図を用いたものである。このデータでも土地利用状況はほぼ推定でき、その精度は本研究の大気環境分析にとって十分と判断した。都市、工業地、水田、海面等の土地利用形態を表1のように四つに分類した。対象領域を1 km × 1 kmのメッシュに分け、メッシュ単位でこの四つの分類のいずれかに割り当てた。図3にこのようにして得た土地利用図を示す。

2.2 大気環境データ

気象・汚染濃度データには、愛知県の大気汚染測定局で測定されたデータ⁴⁾を用いた。気象データについて、一つの測定点(名古屋市内:東山テレビ塔)で高度140 mまで鉛直分布が測定されている以外は、すべてのデータが地上10 mで1時間毎に測定されたものである。解析に用いた測定項目および局数を表2に示す。

2.3 データの解析法

本論文の解析は、すべて図化されたデータに基づく定性的考察によっているが、土地利用変化に対して顕著な反応を示した気温場については、その日変化の解釈に次の熱収支式を用いた。

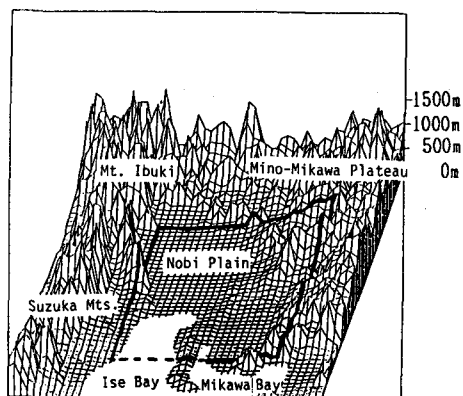


Fig.1 Investigated domain, circled with thick solid line, and its surrounding area.

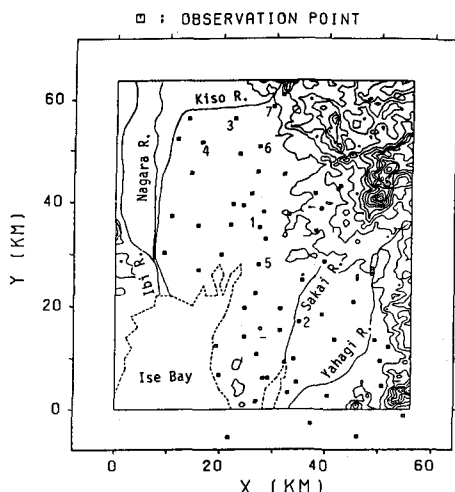


Fig.2 Observation sites for meteorological and air quality data. 1: Showa-ku, Nagoya, 2: Kariya, 3: Konan, 4: Ichinomiya, 5: Minami-ku, Nagoya, 6: Komaki, and 7: Inuyama.

Table 1. Classification of land-use.

Type of classification	Type of surfaces
Water surface	Rice paddy, lake, river
Forest	Forests in plain and mountainous areas
Grass land	Field, grass land, bare soil
Urban area	City center, residential area, industrial area, road

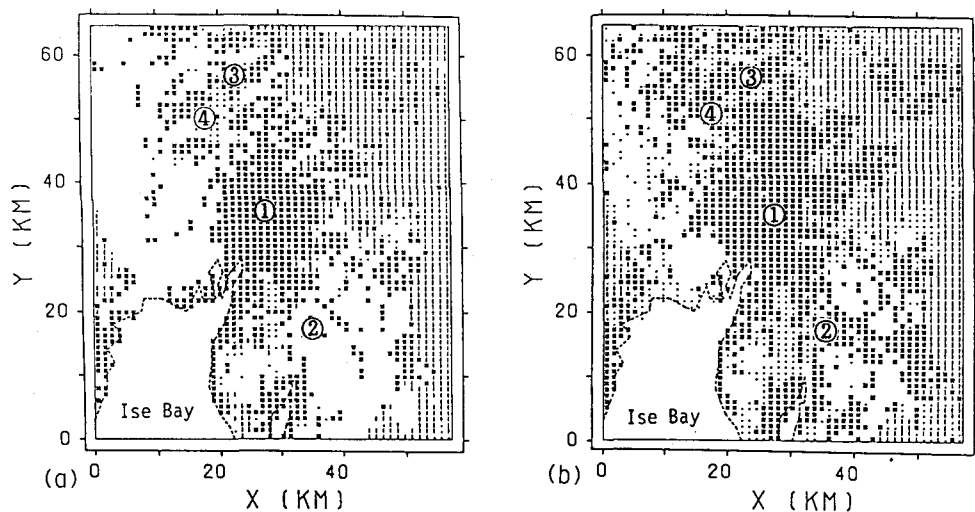


Fig.3 Map of the type of land use in (a) 1975 and (b) 1985. Symbols in the map denote: urban area (*), forest (+), grass land (.), and water surface ().

① Showa-ku, Nagoya, ② Kariya, ③ Konan, and ④ Ichinomiya.

$$C_P \rho_a \frac{\partial T_a}{\partial t} = -\frac{\partial Q_{HV}}{\partial Z} - \frac{\partial Q_{HH}}{\partial X} - \delta \frac{\partial Q_E}{\partial Z} - \frac{\partial Q_L}{\partial Z} + q_M \quad (1)$$

ここに、 T_a :気温、 ρ_a :空気密度、 C_P :空気の定圧比熱、 Q_{HH} :水平顕熱流束、 Q_{HV} :鉛直顕熱流束、 Q_E :潜熱流束、 δ :水蒸気の相変化の割合を表す無次元定数、なければ0、 Q_L :長波放射によるエネルギー流束(地表面からの放射の気成分による吸収と気成分からの放射)、 q_M :人工熱源

(1)式において、右辺第一項は鉛直方向の渦拡散による顕熱輸送項、第二項は水平方向移流による顕熱輸送、第三項は水蒸気の凝結による潜熱の放出項(水蒸気は鉛直方向に渦拡散によって輸送)、第四項は大気長波を吸収、放出することによる熱輸送、第五項は人工熱源による熱放出項を表す。

3. 解析結果および考察

3.1 領域内大気流れの特性

先述のように、日本中央部が緩やかな高気圧の支配下にある総観規模気象場の日を解析対象に選んだ。この時、晴天で総観規模の流れは弱い。従って、海陸の分布や山脈などの自然地形に基づく日周期的な流れが主流となる。土地利用の様子が多々変わっても、この主たる流れの傾向までは変化しない。現に、本論文で取り上げた'75年と'85年についても、上の意味での周期的な流れの特徴は年度間で差がなかった。従って、本項では'85年5月12日～13日を例にとって、総観場がこのような特徴を持つ日の大気流れの時間変化について概括する。この流れの日変化が、次項以降に述べる土地利用変化と大気環境変化の関連解析の底流にある。

熱的な条件から言えば、この時期海風は発達しやすいが、陸風はそうではない。例えば、5月12日～13日の名古屋市昭和区の日最高気温は26℃(12日14時)、最低気温は16℃(13日5時)である。一方、三河湾および伊勢湾の表層水温は、いずれも17～18℃程度(5月頃)⁵⁾である。従って、表層水温と陸地最高気温との差が8～9℃、最低気温との差が1～2℃であり、陸風にとっては良い条件ではない。また、濃尾平野を中心とするこの領域は、関東平野と同様に、中部山岳地帯に日中午後発達する局地的熱低気圧(heat low)の影響を受けやすい。

Table 2. Analyzed data.

Data	Items	Number of observation sites	
		1975	1985
Meteorological	Wind-speed and -direction	52	67
	Air temperature, relative humidity	52	45
Air quality	NO ₂	46	62

すなわち、午後になると木曽川に沿ってこのヒート・ローに吹き込む平地→台地風が卓越し、局所的な海風も谷風もすべて、この流れの方向に整流されるように見える(Kondo, 1990の数値解析⁶⁾)。以上が基調となり、流れの日変化が形成される。

流れの日変化は、ほぼ次の四つの位相に分けられると考える。

(i)午前中の11時頃までは、海風や谷風の初期にあたる。海風はそれぞれの海岸線に直交するように、谷風はそれぞれの谷筋に沿って、いずれも独立に吹き始める。図11aがこの時期を代表する。(ii)この後、14時頃までに、海風と谷風はさらに発達し、一続きの風系を形成する(図7aがその典型を示す)。さらに、(iii)15時以降、この一続きの風系の方向が、明らかにそれまでの北北東から北北西に向かうように変化する。Kondo (1990)⁶⁾の日本中央部を対象とした数値計算の結果と比較すれば、この北北西に向かう地上風が、直近の山をう回して木曽川沿いに中部山岳地帯のヒート・ローに向かう流れの一部であることが推測できる。この時期を代表する流れ場が図7bである。この流れは22~23時頃に終了し、(iv)以後、領域全体の流れは弱く、陸風、山風あるいは都市ヒートアイランドに吹き込む風が各所で見られる(図7dが代表)。

3.2 土地利用特性の変化

対象領域の土地利用は以下のように概観できる。濃尾平野の南東部には名古屋の都市域があり、それが東部の丘陵にまで進出している。名古屋都市域の周辺、領域北部さらに領域南東部には中小規模の都市が散在し、水田や畑地等とともに数種の土地利用からなる混在地域を形成している。領域の南西部は伊勢湾が占める。領域西端近くから北にかけて木曽三川が流域を形成し、同じく、知多半島より東部の三河には矢作川流域が存在する。領域東端付近から北東部にかけては美濃三河高原の山地がある。伊勢湾岸は、木曽三川付近の水田地帯を除き工業地帯である。以上の大勢は変わらないが、'75年から'85年までの10年間に次の土地利用変化が生じた。

図3a, bに'75年と'85年の土地利用状況、表3にそれぞれの年における土地利用の面積率(海面を除く)を示す。図3a, bを比較すると、'75年から'85年にかけて名古屋市周辺、特にその北部で都市化が進んだことがわかる。これは、水田から都市への変化が主なものである。また、規模は小さいが同様の都市化が、名古屋南東部の刈谷市付近でも進んでいる。なお、'85年の土地利用と'75年のそれでは、草地が増加しているが(表3)、これは森林や水田から畑地等への転換が主たる原因と考えられる。表3より、'75年は水表面、都市、森林、草地の順で面積率が大きかったのが、'85年には都市、水表面、森林、草地と、水表面と都市の順位が入れ替わっている。10年間に陸地領域面積の12~13%(392~425 km²)が水表面(水田が主)や森林から草地(畑地、裸地)や都市へと変化し、この地域における都市化傾向がはっきりと読み取れる。

3.3 土地利用の変化と大気環境特性の変化

本節では、10年間に生じた土地利用の変化が、気温、湿度およびNO₂濃度に及ぼした影響について論ずる。なお、5, 8, 9月のデータ間に定性的な差が認められなかったので、主として5月と8月のデータをもとにして論じた。

(1) 気温

1) 領域代表点における気温の日変化

図4a~dに、'75年(実線)と'85年(破線)における①昭和区、②刈谷市、③江南市、④一宮市の気温日変化を示す。ただし、このデータは1日だけのものではなくそれぞれ数日分の平均値に基づいている:例えば、'75年、'85年の5月、8月はそれぞれで3日分ずつ。このように数日分の平均をとることにより、1日以内の特異性に基づくノイズを除去することを狙った。測定点のうち、昭和区は都市中心部(名古屋市)を代表し、刈谷市は周辺の都市化域のうちで海に近い位置を、また江南市と一宮市は同じく周辺の都市

Table 3. Area ratio of land use* (in %).

land use \ year	1975 (A)	1985 (B)	B - A
Water surface	35.0	28.5	-6.5
Forest	24.6	18.4	-6.2
Grass land	9.0	15.6	6.6
Urban area	31.4	37.5	6.1
	100	100	0

* See Table 1 for detail of the classification of land use.

化域で、かつ内陸側の地点を代表する(図2参照)。図4は、これらの地点で都市化による影響に明瞭な違いがあることを示している。この違いをもたらす要因は、

(i)大都市のキャノピー効果と

(ii)海風時の都市化域のフェッチ効果、

であると考え。ここでいうフェッチ効果は熱的なものを指し、風上側にあたる都市化域から、海風層に人工排熱および地表の舗装等に伴う顕熱フラックスの増加分が加えられることを意味している。なお、図4の5月のデータについては、各観測点とも夜間から早朝にかけて'85年度の気温の方が低い傾向を示す。はっきりと理由を特定できないが、'85年の場合、平均をとった日に当該領域を支配したシノプティックスケールの気温の場がやや低かったことが考えられる。また、人工熱源がかなり増加しない限り、地表の舗装化などを伴う都市化は、乾燥した地表の放射冷却に伴う夜間の負の顕熱流束を増加させ、むしろ気温を下げる効果があると推測できるのも一因であろう。以下に、代表測定点における気温日変化の10年間にわたる変化と都市化の関連について考察する。

①昭和区(図4a):都市中心部

'75年と'85年の気温日変化にほとんど違いが見られない。これは、(i)大都市のキャノピー効果によるものと考え。すなわち、昭和区の測定点は、'75年にすでに大都市名古屋の中心部にあって、'75年、'85年共に高層建物群が形成する都市キャノピー内にあった。このような地点における熱収支式((1)式)の各項寄与を考えると、キャノピーによる水平風の減速効果により(1)式中の水平方向移流項は相対的に小さく、逆に地表からの人工熱源やその他の鉛直熱フラックスの寄与が大きい。すなわち、ほぼ局所的に気温が決まると考えられる。局所的には、'75年と'85年で大きな違いはないから、大体同じ気温の日変化を示すことになる。10年間で大きな変化がないため、昭和区は、気温の平面分布の経年変化等を分析する場合に、基準点として都合の良い地点であると考えられる。

②刈谷市(図4b):海に近い周辺都市化域

昭和区と同様、両年の気温の日変化にあまり変化は見られない。この場合は、昭和区とは異なり、海風による水平熱流束が卓越しているために変化が見られないものと考えられる。すなわち、ある程度付近の都市化が進んではいるが、境川を通じて入り込んだ海に近く、また海風時に風上側にあたる地帯での土地利用(水田、草地に代表される)にあまり変化が見られないため、両年とも同じような熱特性をもたらす海風に支配されていると考えられるのである。

③江南市、④一宮市(図4c, d):内陸部の都市化域

昭和区、刈谷市等と比べ大きく異なる点は、'75年に対し'85年の最高気温がかなり高いことである。これ

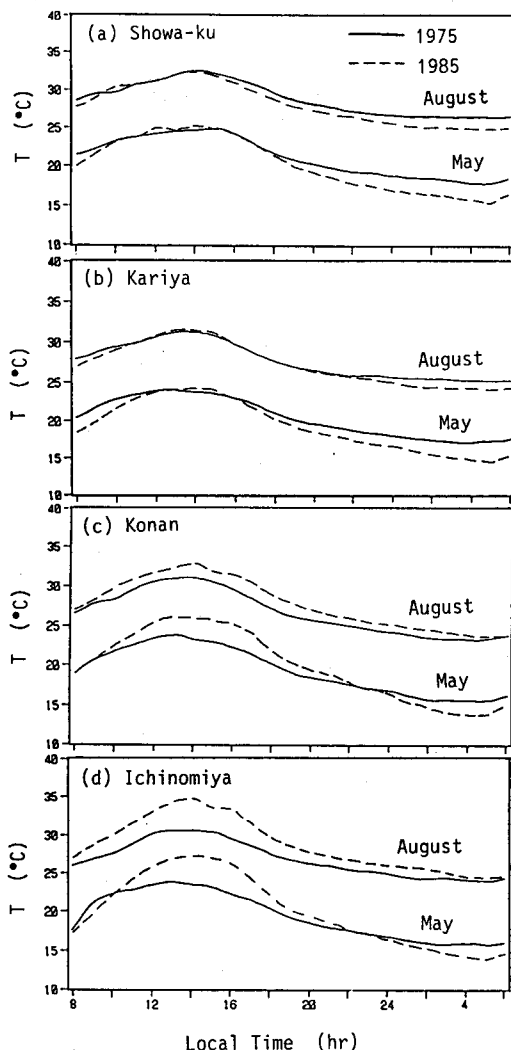


Fig.4 Comparison of diurnal variation of temperature in May and August between 1975 and 1985: (a) Showa-ku, Nagoya, (b) Kariya, (c) Konan, and (d) Ichinomiya. Solid line stands for 1975 and dashed line for 1985. Each line includes data for three days when high pressure system prevailed.

は、先述の(ii)海風時の都市化域のフェッチ効果によるものとする。すなわち、海風時風上側の都市化域の増加が海風層の加熱を促進し(海風時のフェッチにおける熱源の増加)、内陸の地点ほどバックグラウンド気温の高い気塊が到達していることが、この最高気温の増大に大きく寄与するものとする。実際、'85年については、海からの距離が遠い場所ほど日最高気温が大きくなることをデータは示す(図5)。図5中の四角印(□)は'75年のデータを表すが、'85年と違い、内陸地点の(海からの距離に伴う)気温増加の傾向は極めて弱い。ここに、熱源の増加は、単に人工熱源が増えるというばかりでなく、舗装地表面の水分保持の低下に伴う顕熱流束の増大も大きいと考えられる。まとめると、今の場合、熱収支式(1)式中の水平方向移流による熱輸

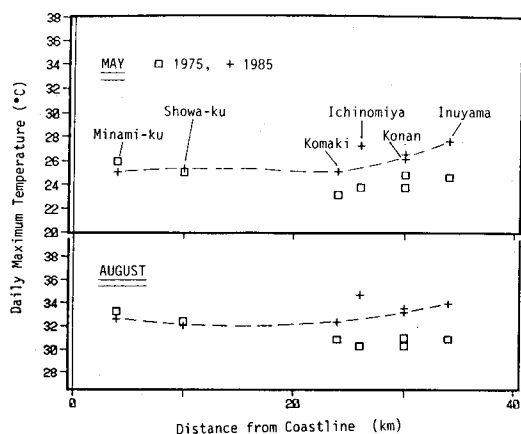


Fig.5 Spatial variation of daily maximum temperature with distance from coastline in May and August under high pressure system. Plus sign is for 1985 and open square for 1975.

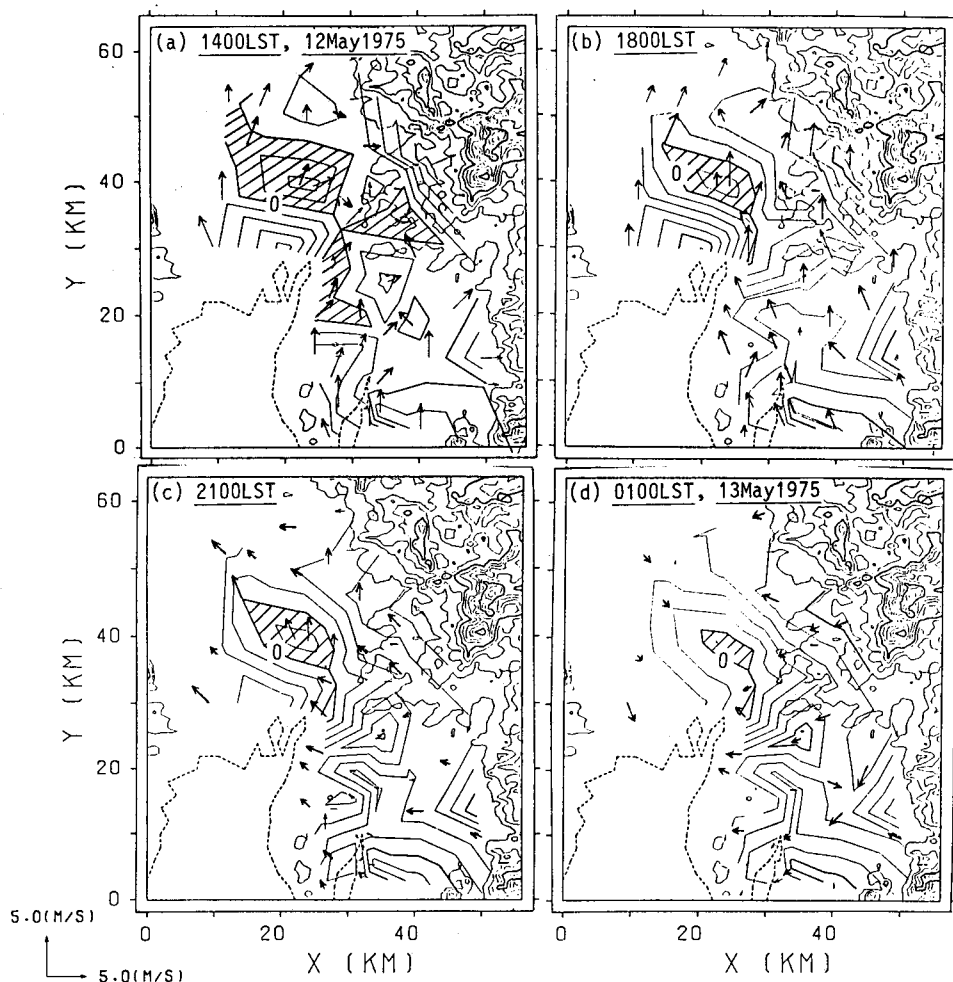


Fig.6 Diurnal variation of temperature field : (a) 1400LST, (b) 1800LST, (c) 2100LST on May 12, 1975, and (d) 0100LST on May 13, 1975. Deviated temperatures from that at Showa-ku, Nagoya, site are used for plotting. Thus zero value attached to contour line indicates the same temperature as that for Showa-ku site. The shaded area shows high temperature zone. Contour-interval is 1°C.

送、鉛直顕熱輸送、人工熱源がともに重要であることを意味する。

2) 気温場の日変化

前項では、個々の測定点における気温の日変化を論じた。本項では、土地利用の変化が気温の空間分布(気温場)に与えた影響について考察する。上述のように、名古屋市都心部の昭和区測定点は、10年間でほとんど気温の変化がなく、基準点として好適であるため、以後気温の分布は昭和区測定点での値との差を取る形で論ずる。図6a~dは、'75年5月12日14時~13日1時の気温場(昭和区の気温からの差)を示し、図7a~dは、'85年5月のそれである。図中、斜線部が昭和区測定点よりも高温であることを表す。'75年(図6)の特徴は、いずれの時刻にも高温域が名古屋市中心部付近にあることである。一方、'85年(図7)では、日中(14, 18時)の高温域が明らかに北方に移動している。さらに、夜になると高温域が名古屋都心部にも広がり、深夜1時には名古屋市のみとなる。'75年(図6a, b)では見られなかった、午後の最高気温域の北方へのシフト(図7a, b)は、明らかに前述の「フェッチ効果」、すなわち、風上側の都市化域が拡大して海風層に加わる熱量が増加、蓄積することによるものと考えられる。その後、海風が減衰し、また太陽放射が無くなって地表からの顕熱流束が衰えると、名古屋都心部の人工熱源の相対的重要度が高まり、高温域が再び都心部にも広がる(図7c)。都心と新興都市化区域では、人工熱源の強度に差がある(特に夜間)。深夜に、最高気温域が名古屋都心部のみになるのは、この人工熱源強度の違いによる。

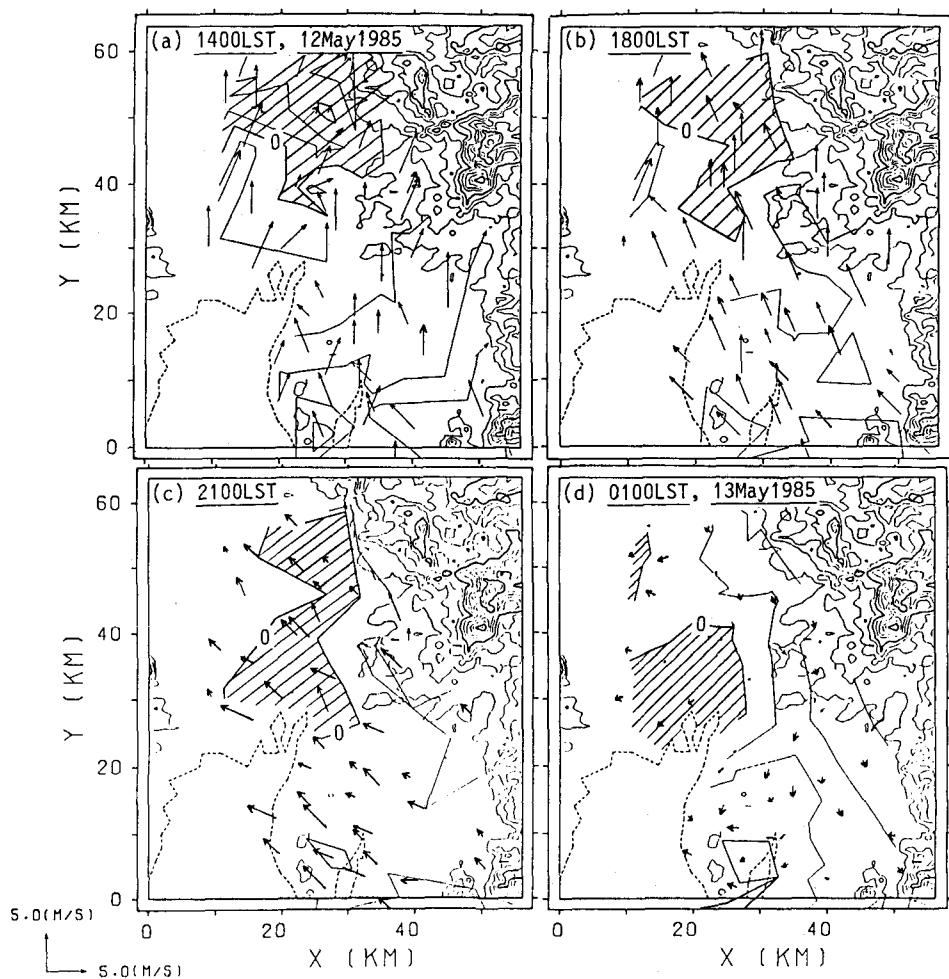


Fig. 7 Same as in Fig. 6 but for 1985.

(2) 相対湿度

都市化(森林から裸地へ、裸地から舗装化へなど)の進行は、日中の相対湿度の低下をもたらすと推測できる。一つは、地表の水分維持機能の低下に伴う乾燥化の結果、大気中への水蒸気フラックスが減少すること。もう一つは、このようにして潜熱フラックスが減少するため代わりに地表から大気への顕熱流束が増し、気温が上昇することによる。図8aは、内陸を代表する点(江南市)における相対湿度の日変化である('75年—実線、'85年—破線)。'85年のデータは、'75年に比べて、日中から夜にかけて相対湿度が低下(最大で20%近く)することを示している。その他の内陸点でも同様の傾向が見られ、これが上記の都市化に伴う乾燥化と結びついていることを強く示唆している。

一方、図8bは海に近い測定点(刈谷市)を代表する相対湿度の日変化である。海に近い場所では、海風が運ぶ水蒸気の影響を強く受けると考えられる。実際、図8bの場合も、'75年と'85年の日変化に、内陸点(図8a)ほどの差が認められない。夜間に'85年の湿度の方が高くなっているが、ちょうどこの時の低い気温(図4b参照)と対応している(海辺におけるこの低温は、土地利用の変化と直接結びつくものではないと考えられる)。

都市の低湿度化および相対湿度の気温との逆相関性を示すのが図9a, bである。図9a, bは、'75年と'85年の5月12日14時における相対湿度場を表す。斜線部は相対的な低湿度域を表す。気温場(図6a, 7a)との逆相関性がかかりはつきりと示されている。すなわち、低湿度域が'75年の名古屋中心部から'85年の名古屋北方部へと移動した。

(3) 汚染質濃度

汚染質濃度は、土地利用の変化によって二つの仕方で影響を受ける。一つは、直接的な(都市化、人口増加に伴う)排出強度の増加であり、二つ目は、大気の流れ、気温や地表の変化にしたがって汚染質の輸送過程、

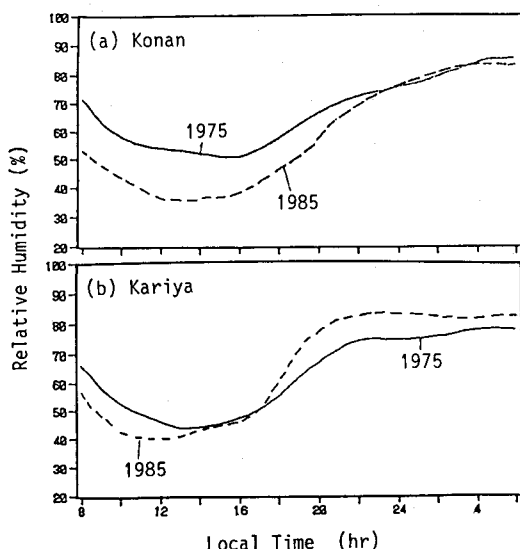


Fig.8 Comparison of diurnal variation of relative humidity in May between 1975 and 1985: (a) Konan and (b) Kariya. Solid line is for 1975 and dashed line for 1985.

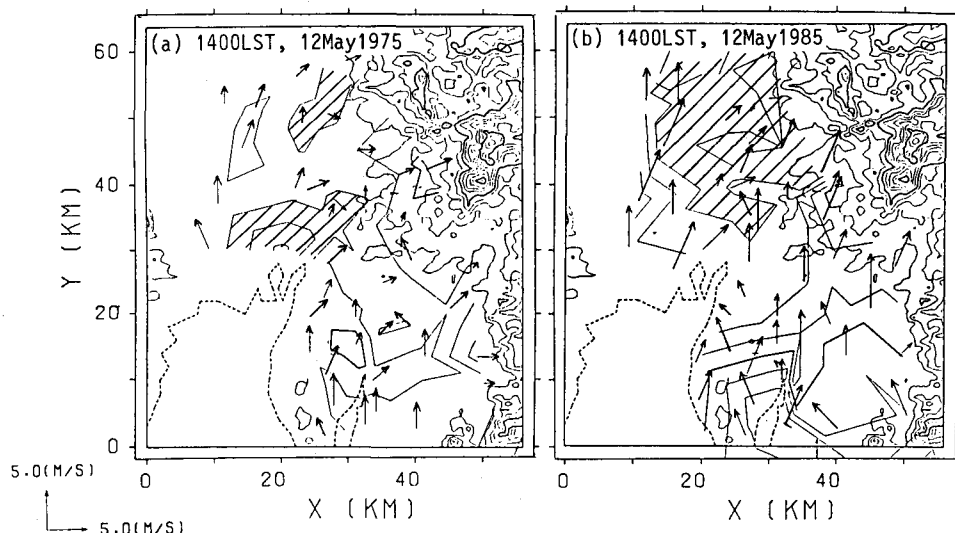


Fig.9 Spatial distribution of relative humidity at 1400LST, May 12 in (a) 1975 and (b) 1985. Shaded area shows low humidity (<40%) zone. Contour-interval is 5%.

化学反応過程、地表での除去過程が変わることによるものである。本項では、光化学スモッグや酸性雨の前駆物質である NO_2 を対象にして土地利用の変化と濃度分布の変化の関係を考察する。

はじめに、'75年から'85年までの10年間における対象領域の大気環境の変化を平均的な統計量を基に述べる。 NO_2 は、ほとんどが高温燃焼で生成する NO の気中酸化によって生まれる。大都市では、この NO のかなりの部分(少なくとも50%以上)が自動車排ガスによるものと言われている。本研究の対象領域(愛知県)における自動車登録台数は、192万台('75年)から298万台('85年)へと10年間で増加した⁷⁾。ただし、自動車排ガスの規制措置により一台当りの排出量が減少しているので、この割合で自動車の NO 排出量が増えたわけではない。領域内の排出総量の変化を把握することは難しいが、名古屋市内全市平均の環境濃度年平均値を見ると、窒素酸化物については、 NO :49 ppb('75年)→24 ppb('85年)、 NO_2 :34 ppb('75年)→25 ppb('85年)と⁸⁾、年平均的には減少の傾向にあり、自動車排出の NO_x 総量についてもほぼ同様の推定が成り立つ。

上述の10年間の領域平均的な変化を背景にして、特定日('75年5月12日および'85年5月12日)の NO_2 濃度分布

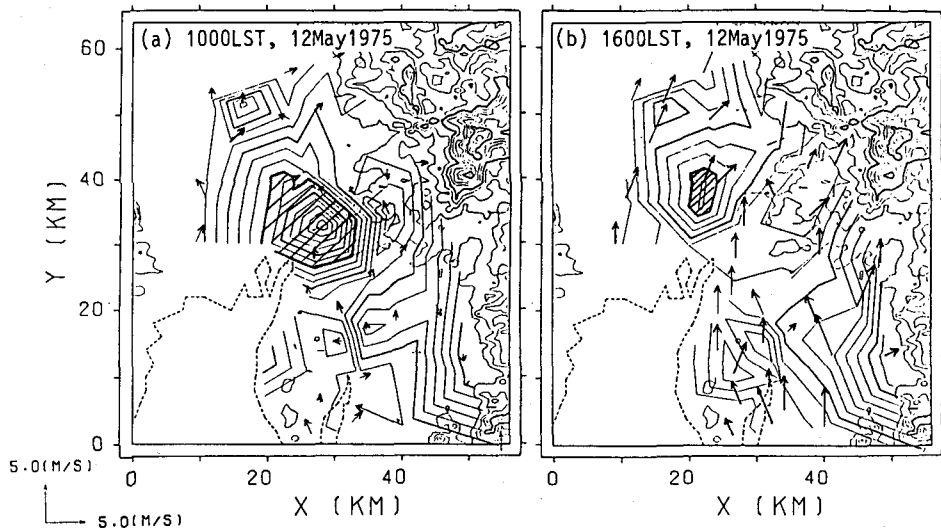


Fig.10 Spatial distribution of NO_2 concentration at (a) 1000LST and (b) 1600LST on May 12, 1975. Shaded area shows high NO_2 (>40ppb) zone. Contour-interval is 5ppb.

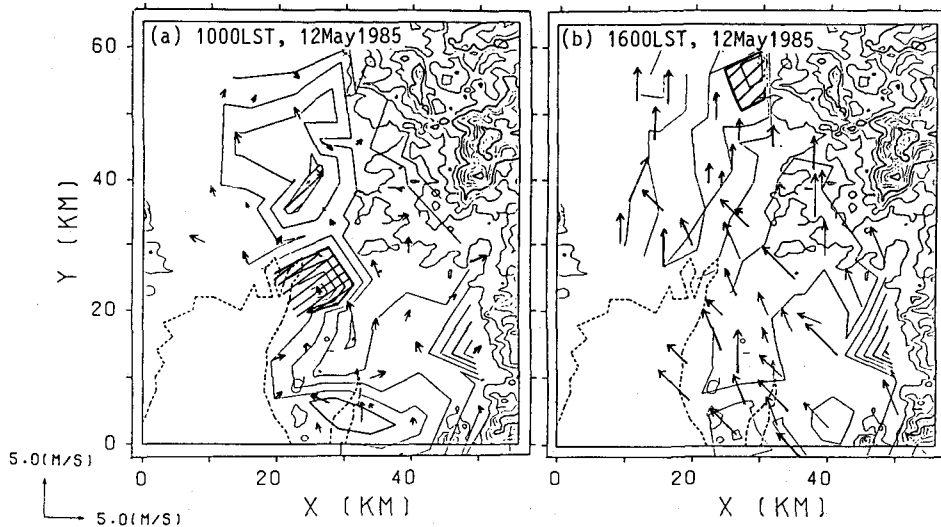


Fig.11 Same as in Fig.10, but for May 12, 1985. Shaded area shows high NO_2 (>20ppb) zone.

の変化を考察する。図10a, bに'75年5月12日10時と16時のNO₂濃度分布、また、図11に'85年の同じものを示す。兩年をくらべてわかる大きな違いは次の二つである：(i)'75年の方が最大値が大きい、(ii)'75年の場合、濃度の極大値域が、一日中ほぼ名古屋市付近に停滞するのに対して、'85年の場合は、それが午後名古屋北方に移動する。(i)のNO₂最大値の変化は、上述の年平均値から見た10年間の傾向とほぼ一致するものである。一方、(ii)の最大濃度域の移動('85年)に関しては、先に述べた最高気温域の変化(図6, 7参照)と良い対応が見られる。すなわち、'85年5月12日午後に出現する名古屋北部の高温域(図7a, b)とNO₂の高濃度域(図11b)には、極めて強い空間的な相関がある。従って、内陸の高温域の形成に、海風時の風上側フェッチにおける地表変化(森林、水田→市街地、畑地)に伴う熱源の増加と海風層への熱の蓄積が寄与していたように(図5)、NO₂の場合も、都市化に伴う排出面積の拡大(拡散)が内陸部で最大濃度をもたらすに到ったものと考えられる(同様の海風層への汚染質の蓄積効果は、筆者らの矢作川流域での解析⁵⁾でも示されている)。ただし、NO₂の分布(図11b)と気温の分布(図7a, b)では違いも見られる。すなわち、NO₂の高濃度域が、気温の場合にくらべてより限定されていることである。これは、NO₂源が人工排出源(自動車、工場等)に限られているのに対して、熱源には直接の人工熱源(各種の燃料使用に伴う)のみならず、地表面が水田や森林から畑や舗装された地面に変わったことによる、より広範囲の“間接的”人為熱源も含まれるからと考えられる。

4. 結論

広範囲にわたる土地利用の変化が、大気環境(主として気温場、汚染質の濃度場)にどのような影響を与えるかを、濃尾平野を対象として、1975年(昭和50年)と1985年(昭和60年)の10年を隔てた気象、汚染濃度データを用いて解析した。この期間に、対象領域(図1、南北約65 km×東西約55 km)の陸地面積の約12~13%(392~425 km²)が水田や森林から畑、裸地、市街地へと変えられている。これらの効果を調べるために、解析対象日には、日本中央部が緩やかな高気圧に覆われていて、局地風の発達しやすい日を兩年から選び出した。得られた結果は以下のようである。

(i)この10年間で、日中の最高気温域が移動した(図6, 7)。すなわち、'75年当時の最高気温域は一日中名古屋中心部に存在していたのに対して、'85年では日中の最高気温域が、名古屋市北方の内陸域に移動したことがわかった。

(ii)この理由は、海風のフェッチ域の土地利用が畑、水田、森林から市街地、住宅、裸地へ変わり、海風層に加えられる熱量が増加したからである(人工熱源の増加および地表の水分が減り地面から大気への顕熱輸送が増えたこと等による)。海岸線から内陸へ行く程、日最高気温の増加が見られ(図5)、局所的な熱源増加の効果ばかりでなく、海風によって運ばれてくる熱量の増加という大域的な都市化の効果が確かに存在するし、重要であることを示している。

(iii)名古屋中心部(例えば昭和区測定点)の気温は、10年間でほとんど変化していない。昭和区の周囲は10年前からすでに都市化しており人工熱源等に大きな変化がなく、かつ高層の建物群による都市キャノピーの内部にあることから水平移流による熱輸送が弱められ、従って、局所的に気温が決まるためと推測される。

(iv)汚染質の代表として選んだNO₂の高濃度域の時間変化は、気温のそれと極めて相関が高かった。すなわち、'75年当時、NO₂高濃度域は一日中名古屋市付近にあったのに対して、'85年には、日中の午後の高濃度域が名古屋の北方に移動している。理由は、気温の場合と同じく、海風支配領域に広くNO₂排出源が分布するようになった結果、海風層に蓄積したNO₂の影響で内陸域の測定点で最も濃度が高くなるためと考えられる。

(v)ただし、NO₂の場合は気温と違い、高濃度域の面積がより限られているように見える。これは、二つの量の排出源の違いによると考えられる。すなわち、NO₂の場合は、完全に人工排出源のみであるのに対して、熱の場合は、人工排出源だけではなく、地表が顕熱の放出に好都合ように改変されれば、それだけで熱源として作用するからである。

以上をまとめると、'75年から'85年に生じた都市化により、この領域の大気環境が、最高気温域、NO₂高濃

度域の移動という意味で明らかに変化したと言える。しかもその変化は、当該場所の熱源(汚染源)が増えたからという局所的な理由のみならず、他の場所(沿岸域)で生じた都市化の影響を受けているという大域的な側面もある。

これらが示唆するものは、より良い大気環境(気候、気象、大気の質)の創造を考えた広域的土地利用計画の必要性であるし、そのような計画を支援するための大気環境予測モデルの必要性でもあると考える。筆者らの研究室では、そのようなモデルのための研究が進行中である^{1, 10, 11, 12)}。

謝辞

環境データを提供していただいた愛知県環境部大気保全課、愛知県公害調査センターの皆様には謝意を表します。本研究の一部は、平成元年度の石田財団研究助成(NO. 89-460)を受けた。あわせて謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば Kitada, T. and Ueda, H.: Pollutant dispersion and land/sea breeze circulations. Encyclopedia of Environ. Control Tech., Vol. 2, pp. 583-630, 1989.
- 2) 国土地理院: 国土数値情報, 130pp., 1987.
- 3) 愛知県1985: 愛知県土地利用規制図, 1985.
- 4) 愛知県環境部: 昭和50年度および昭和60年度気象・汚染データテープ, 1976, 1986.
- 5) 中部電力総合技術研究所: 内湾水の熱収支機構に関する研究(その1). 研究報告書, 土木NO. 0208, 69pp., 1981.
- 6) Kondo, H.: A numerical experiment of the "extended sea breeze" over the Kanto Plain. J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 68, pp. 419-434, 1990.
- 7) 愛知県企画部交通対策室: あいちの交通, 48pp., 1987.
- 8) 名古屋市公害対策局: 公害の現況(昭61年版), 228pp., 1986.
- 9) Kitada, T., Igarashi, K. and Owada, M.: Numerical analysis of air pollution in a combined field of land/sea breeze and mountain/valley wind. J. Climate Appl. Meteor., Vol. 25, pp. 767-784, 1986.
- 10) Kitada, T.: Turbulence structure of sea breeze front and its implication in air pollution transport - Application of $k-\epsilon$ turbulence model. Bound.-Layer Meteor., Vol. 41, pp. 217-239, 1987.
- 11) Kitada, T., Takagi, H., Kato, H. and Kunii, K.: Numerical investigation of the coastal atmospheric environment influenced by small-scale peninsula. Energy and Buildings, Vol. 15, 1991, in press.
- 12) 国井克彦, 北田敏廣: 急斜面を下る重力流の非静力学モデルによる解析, 第31回大気汚染学会講演要旨集, p. 370, 1990.