都市緑地のスケール, 配置変化に関する 影響のシミュレーション解析

本條 毅*・高倉 直**

(* 千葉大学大学院自然科学研究科)
(** 長崎大学環境科学部)

Simulation of the Influence of Urban Green Areas with Various Scales and Allocation

Tsuyoshi HONJO* and Tadashi TAKAKURA**

(* Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Inage-ku, Chiba, 263-8522 Japan)
(** Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University, Nagasaki, 852-8521 Japan)

Abstract

In this study a two dimensional $k-\varepsilon$ two equation model was used with the equations of temperature and normalized humidity to analyze the thermal effect of urban green areas. The relation between the scale of an urban green area and its influence and the relation between the interval of an urban green area and its influence were analyzed.

The relation of scale of a green area and its influence on the surrounding urban area is not clear, although many micrometeorological measurements of urban green areas have indicated that a large scale of green area influences a large urban area. The relation of the interval between green areas and its effect on the surrounding urban area is also unclear.

With respect to the relation between scale of urban green area and its influence, at the lowest simulated altitude of 2m sudden decreases in temperature and sudden increases in normalized humidity were observed at the upwind edge of green areas. In the adjacent urban area downwind of green areas, rapid increases in temperature and rapid decreases in normalized humidity were found. At the height of 6m, the changes were smoother.

From the distribution of temperature and normalized humidity, it is observed that a green area of larger scale influences a higher area. From the distribution of diffusivity, a large value was observed at the transition area from green area to urban area and this tendency was the same in the case of two green areas. On the relation of interval between green areas and its influence, low temperature and high humidity were observed in the urban area between two green areas. These results show that the two green areas with optimal interval affect the temperature and humidity near the ground effectively.

Key words: Interval of green area, $k-\varepsilon$ two equation model, Scale of green area, Simulation, Turbulent model.

キーワード: $k-\varepsilon$ 2 方程式モデル, シミュレーション, 乱流モデル, 緑地間隔, 緑地規模

1. はじめに

都市緑地による周囲への影響については, 様々な観測例があり, 緑地の規模が大きいほど, 周囲への影響も大きい傾向があることが示唆されている (例えば, Honjo

and Takakura, 1984; 1986; Yun *et al.*, 1998)。しかし, 微気象観測などから得られるデータは, 時間的にも空間的にも限界があり, 緑地のスケールと緑地の影響との関係を予測するためには, シミュレーションモデルを用いた分析が必要である。

また, 同面積の緑地をどのように配置すれば, 効率的に周囲に影響を及ぼすことができるかなどについては,

1990年8月8日 全国大会にて発表

1999年11月25日 受付, 2000年6月26日 受理

Fig. 1. Diagram of the thermal effect of an urban green area and parameters used in the simulation.

測定例は非常に少ない。測定の適地が少ないことや、測定の空間的密度や回数には限界があるため、様々な条件を想定した定量的予測には、同様にシミュレーションモデルを用いた分析が必要であるが、緑地の配置などについてのシミュレーションによる研究例はほとんどない。

そこで、本研究では、シミュレーションにより、特に緑地のスケールが変化したときの周囲への影響、複数の緑地が存在し、緑地間隔が変化したときの周囲への影響について解析を行った。

流体シミュレーションモデルは、天気予報に用いられる数値予報モデルや、建築での室内外の気流シミュレーションなど非常に多くの分野で用いられている。比較的小規模な気象現象のモデルとしては、海陸風、湖陸風のシミュレーション (Estoque, 1961; Estoque and Bhumralkar, 1969; Bill *et al.*, 1979), ヒートアイランドのシミュレーション (McElroy, 1973; Lee and Olfe, 1974; Bornstein, 1975; Gutman and Torrance, 1975; Yu and Wagner, 1975) など研究例が多い。都市緑地による気温低下のシミュレーションモデルは、Honjo and Takakura (1990/1991), Kanda and Hino (1990) などにより研究されている。

緑地の内外では、急激に地表面が変化するため大気の運動量、熱、物質の拡散係数も大きく変化するものと考えられる。このような、拡散係数のモデル化は、乱流モデルにより行うことができる。そこで、本研究では、Honjo and Takakura (1990/1991; 2000) で報告した $k-\varepsilon$ 2 方程式モデルを用いて解析を行った。

2. モデル

2.1 モデルの概要

モデルは、Fig. 1 の模式図のような緑地を含む都市平面上を風が吹くとき、都市-緑地-都市と地表の状態が変わるとともに変化する地表面温度、湿度、粗度上での風速、温度、湿度などの分布を二次元で予測するものである。計算領域は、垂直方向 200 m、水平方向 1,500 m の 2 次元の範囲とした。また、風上境界の風速プロファイルなどを計算するため、風上にも同様の計算領域をとった。

Fig. 1 には、気温について本研究で用いた緑地の影響の範囲 (distance of influence) や影響の強度の定義 (intensity of influence) も示している。本研究では、影響の範囲は、緑地の風下端から、風下の都市部の気温が、緑地風上の都市部の気温に回復する点までとし、影響の強度は、その間の気温差の積分値とした。

複数緑地の影響の範囲は、緑地間の都市部でも風上の都市部の気温以下であれば 緑地の影響を受けている範囲に含まれるとした。

緑地の影響のシミュレーションでは、都市などに比べスケールが小さく、水平方向の変化を知ることが重要であることから、二次元あるいは三次元のモデルが必要である。本研究では、二次元モデルを使用した。緑地の特徴は、地表面の温度、湿度、粗度などの境界条件で設定した。

本研究で用いた $k-\varepsilon$ 2 方程式モデルなどの基礎方程式、境界条件は Honjo and Takakura (2000) 同様、以下に示すようなものである。式中の変数の意味は、Table 1 に示す。

Table 1 Variables and parameters used for the simulation model.

x_i : direction
t : time
U_i : velocity
k : turbulent energy
ε : dissipation rate
p : pressure
θ : temperature
ρ_0 : density of air
H : normalized humidity
g : acceleration due to gravity
ν : molecular diffusivity (air)
ν_θ : diffusivity for heat (air)
ν_H : molecular diffusivity (water vapor)
ν_t : eddy diffusivity (air)
$\beta = -1/\rho_0 (\partial \pi / \partial T)_p \approx 1/T_0$
$\delta_{ij} : \delta_{ij} = 1 (i=j), \delta_{ij} = 0 (i \neq j)$
constants : $c_1 = 1.44, c_2 = 0.18, c_D = 0.09, \sigma_\theta = 1, \sigma_H = 1, \sigma_k = 1, \sigma_\varepsilon = 1.3$.

運動方程式

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_j} - \beta g \theta \delta_{i3} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\nu_t + \nu) \cdot \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (1)$$

ただし

$$\pi = \frac{p}{\rho_0} + \frac{2k}{3} \quad (2)$$

連続の式

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad (3)$$

エネルギー方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\theta} + \nu_\theta \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

水蒸気などの拡散方程式

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu_t}{\sigma_H} + \nu_H \right) \frac{\partial H}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

乱流エネルギー方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_t S - \varepsilon + \frac{\beta g}{\sigma_\theta} \nu_t \frac{\partial \theta}{\partial x_3} \quad (6)$$

ただし，

$$S = \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

粘性消散率方程式

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right)$$

Table 2 Cases of the simulation. Location of green areas indicates the horizontal distance from the inflow boundary in a horizontal direction in Fig. 1.

Scale of green area	Location of green area
100 m	300–400 m
200 m	300–500 m
300 m	300–600 m
400 m	300–700 m
100 m × 2 with 100 m interval	300–400 m, 500–600 m
100 m × 2 with 200 m interval	300–400 m, 600–700 m

$$+ \frac{c_1 \varepsilon}{k} \nu_t S - \frac{c_2 k \varepsilon}{\nu_t} \quad (8)$$

渦動粘性係数

$$\nu_t = \frac{c_D k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

本モデルでは，コントロールボリューム法を用い，メッシュは風速とその他の変数が交互に位置するスタガートメッシュを採用した。運動方程式の解法にはMAC法を用いた。移流項の空間差分の解法は，風速については中心差分を，その他の変数については風上差分を用いた。時間差分には，二次精度のアダムスバッシュフォース法を用いた。

境界条件は，上面，地表面，風上面，風下面に分けて以下のように設定した。

(1) 上面，風下面

境界での変化がないものとした。

(2) 風上面

風速，温度，湿度については，垂直分布を与え，時間的な変化はないものとした。その他は，(1) 同様，境界での変化がないとした。

(3) 地表面

地表での境界条件は，wall-boundary条件を用いた。

2.2 シミュレーションケースの概要

コンクリートなどで覆われた面の多い市街地を，都市部とよぶことにする。

シミュレーションに使用した緑地のスケールの値を，Table 2に示す。基本的にはHonjo and Takakura (1990/1991) で用いたのと同じのケースである。単独の緑地の規模が変化した場合のケースと，2つの緑地を含む都市平面上のケースがある。2つの緑地を含む場合では，都市部-緑地-都市部の変化が2度連続することになる。

シミュレーションに使用したパラメータ値をFig. 1中に示す。想定したのは夏期の日中の場合で，緑地の表面温度は気温と同じ30℃，市街地の地表面は日射によ

Fig. 2. Horizontal variation of (a) temperature and (b) normalized humidity near a green area (case of 100 m scale green area). The number on the line in Fig. 2 to 5 shows altitude in m.

り高温となり 34°C となるという状況である。湿度は、絶対湿度（あるいは水蒸気圧）を正規化した値を用い、湿った面である緑地上では 1、緑地に比べ乾燥した都市部や上面境界では 0 とした。粗度長は、低層の住宅地と、低木からなる緑地を想定し、都市部、緑地ともにすべて 0.2 m とした。

シミュレーションの対象領域は、水平方向に 150 メッシュ ($1,500\text{ m}$)、垂直方向に 50 メッシュ (200 m) の実線の長方形内である。緑地は、単独の場合も複数の場合も、計算領域の風下 300 m から配置されるように設定した。

対象領域の風上に、均一な $1,500\text{ m}$ の都市部地表面を設定し、計算領域の風上境界条件を計算した。この部分の風上境界の風速、温湿度の垂直分布は対数分布とした。

Fig. 3. Horizontal variation of (a) temperature and (b) normalized humidity near a green area (case of 400 m scale green area).

3. 結果および考察

3.1 スケール緑地の異なる緑地上の温度と湿度の高度別変化

Fig. 2 に緑地スケール 100 m 、Fig. 3 にスケール 400 m の場合の、高さ 2 m から 18 m までの 5 高度での温度、湿度の水平方向の変化を示す。湿度は、最小値 0、最大値 1 と、正規化された値とした。Fig. 2 には、温度について高度 2 m での緑地の影響の範囲、影響の強度について図示した。緑地スケール 200 m 、 300 m の場合は、ほぼ、Fig. 2 と Fig. 3 の中間の値をとった。緑地の規模が大きくなるにしたがい、緑地上での温度の低下、湿度の上昇は大きくなっている。

Fig. 2 と Fig. 3 の高さ 2 m の温度、湿度を比較した場合、都市部から緑地に移ったときに温度は急激に低

Fig. 4. Horizontal variation of (a) temperature and (b) normalized humidity near a green area (case of 100m interval with two 100m scale green areas).

下、湿度は急激に上昇する。Fig. 2, Fig. 3 ともに高度が高くなるにしたがい、緑地上での温度低下、湿度の上昇の度合は小さく、都市部上に移ったときの温度の上昇、湿度の低下もゆるやかである。また、Fig. 3 の場合では、風下に行くほど、緑地内の温度は下がるが、単位距離あたりの温度の低下する率は小さくなる。今回の計算では、都市部と緑地間の地表面温度差を 4°C に設定したが、この程度の差であれば、緑地スケールが 300m 以上になると高さ 2m では温度、湿度は変化が小さくなり、むしろ緑地スケールが大きくなるにしたがい、上空での温度低下や湿度上昇がみられた。

3.2 複数緑地上の温度と湿度の高度別変化

Fig. 4 に緑地間隔 100m 、Fig. 5 緑地間隔 200m に、緑地の間隔が変化した場合の高さ 2m から 18m までの

Fig. 5. Horizontal variation of (a) temperature and (b) normalized humidity near a green area (case of 200m interval with two 100m scale green areas).

5 高度での温度、湿度の水平方向の変化を示す。

高さ 2m での温度をみると、Fig. 4, Fig. 5 のすべての緑地では、緑地の規模が 100m と小規模に設定したため、Fig. 2 同様どの場合も緑地内での温度低下、湿度上昇は非常に急である。Fig. 4 では緑地の間隔が 100m であり、緑地間の都市部での温度上昇、湿度低下は急であるが、風上の都市部温度まで上昇する前に、2 番目の緑地で再度温度低下している。また、湿度もピーク値は、風上の緑地の方が、風下の緑地より小さい値をとっている。Yun *et al.* (1998) の測定結果でも、緑地間の都市部において低温域が形成されることが示唆されている。一方、Fig. 5 では緑地の間隔が 200m であり、緑地間の都市部の温度は、風上の都市部温度程度まで上昇し、2 番目の緑地で再度低下している。湿度についてもピーク値は、風上の緑地と、風下の緑地が同程度である。

Fig. 6. Distribution of normalized humidity near a green area (case of 200 m scale green area).

Fig. 7. Distribution of normalized humidity near a green area (case of 100 m interval with two 100 m scale green areas).

高さ 6 m 以上では、高さ 2 m と同様の傾向はみられるものの、温度、湿度の変化は、高度が高くなるにつれゆるやかになる。高さ 18 m では、Fig. 4 と Fig. 5 の温度の差は非常に小さくなっている。

3.3 温度、湿度、拡散係数の分布

Fig. 6 に緑地スケール 200 m の場合の、緑地付近の湿度分布を示す。Fig. 7 には、間隔 100 m で 2 つの緑地を配置した場合の湿度分布を示す。図から緑地の影響がどの程度の強度や範囲で及ぶかわかり、Fig. 7 で

Fig. 8. Relation between scale of green areas and distance of influence.

Fig. 9. Relation between scale of green areas and intensity of influence.

は、緑地間にも比較的高湿度域が形成される様子がわかる。

温度分布、拡散係数の分布図は、省略したが、高湿度の部分と、温度分布での低温の部分是一致的であり、緑地上や風下に低温部分が形成される。拡散係数の分布からは、緑地から都市部へと移るところで、緑地が単一でも複数のときでも拡散係数が大きな値をとる領域が形成されることがわかった。低温域から高温域へ移行するときに、浮力が増大する影響によるものと考えられる。

また、様々なスケールの緑地付近の温度、湿度分布を比較すると、緑地スケールが大きくなるほど、緑地の影響による低温域、高湿度は垂直方向に範囲が広がる傾向があることがわかった。

3.4 緑地のスケールと影響の強度

Fig. 1 に示すように、緑地の影響の及ぶ範囲は、温度については、緑地の風下端から温度が緑地の風上と同じになる都市部上までの距離と定義し、影響の強度はその間の温度を積分した値とした。Fig. 8 に緑地の規模と影響の範囲の関係を、Fig. 9 に緑地の規模と影響の強度の関係を、高度 2 m と 6 m について示した。

Fig. 8 では、高度 2 m では、緑地の影響の及ぶ範囲は、緑地規模が、300 m 以上では一定値になる。高度 6 m では、緑地の影響の及ぶ範囲は、高度 2 m よりも大きな値を取り、また、増加率もスケールが大きくなると

Fig. 10. Relation between interval of green areas and distance of influence.

もに小さくなるが、高度 2 m よりも大きな値をとる。

Fig. 9 の影響の強度については、どちらの高度でも、緑地の規模が大きくなれば、増加する傾向がみられたが、緑地の規模が大きくなるにしたがい、単位距離当たりの増加量は減り、一定値に近づく傾向がみられた。

したがって、高度 2 m, 6 m での単位スケール当たりの緑地の影響を考えると、100 m のスケールの緑地が 400 m の緑地よりも影響が大きくなっているといえる。

また、温度分布、湿度分布からみると、スケールが大きくなるほど、緑地の影響による低温域、高湿度域は垂直方向に範囲が広がる傾向がある。

3.5 複数緑地の間隔の影響

Fig. 4, Fig. 5 のように複数の緑地があるとき、前述の定義より緑地間の都市部も影響の範囲に含まれるとした。高さ 2 m の影響の範囲を Fig. 4 に図示した。緑地の間隔と、影響の範囲の関係を Fig. 10 に、影響の強度との関係を Fig. 11 に示した。間隔 0 m は、200 m の緑地の場合の値を使用した。右端の間隔 300 m の緑地におけるデータは、スケール 100 m の緑地とその影響が及ぶ範囲が、Fig. 8 より、高度 2 m, 6 m の場合とも、約 300 m であったため、緑地の間隔が 300 m 以上の場合には、緑地の影響の範囲や強度は変わらないと仮定し、スケール 100 m の緑地の影響範囲を 2 倍した値を用いた。

Fig. 10 では、緑地の影響の及ぶ範囲は、緑地の間隔が大きくなるにしたがい、間隔 100 m ではやや小さくなるが、その後大きくなっている。前述のように、間隔 300 m 以上では緑地の影響の及ぶ範囲は、一定値となると考えられる。Fig. 11 の緑地の影響の強度についても、同様の傾向がみられた。

したがって、複数の緑地を設ける場合、緑地の影響の範囲や強度に関しては、間隔 300 m かあるいはそれ以上にした場合に、影響の範囲、強度は最大となるので、その間隔で配置するのが効果的に気温を低下させると考えられる。また、一般的に複数の緑地の配置を行う場合には、このような、最適な緑地の間隔が存在すると考え

Fig. 11. Relation between interval of green areas and intensity of influence.

られる。

3.6 都市緑地の設計と緑地規模について

今回のシミュレーションは、2次元モデルであり3次元的にみると奥行き方向が同一状態を仮定していることになる。したがって、緑地帯の影響とみることができ、緑地のスケールも長さで表された。

Fig. 8 や Fig. 9 に示したような緑地の規模と影響の範囲、強度との関係から、緑地の影響をできるだけ風下側に大きくとりたい場合は大規模緑地がよいことが予測される。我々が生活している地表数 m 付近での、単位長さの緑地当りの影響を大きくしたい場合は、ある程度の小規模緑地が効率的であるといえる。

これらの値は、地表面でのパラメータや、モデルの仮定が異なれば当然異なるので、緑地の設計時には具体的な事例ごとに同様な計算を行う必要がある。実際の3次元での緑地は、奥行き方向のスケールが有限である。2次元の場合、奥行き方向のスケールが無限とみなされるので、3次元の場合には二次元の場合に比べて、緑地が都市の影響を受けるため、緑地の風下方向の温度低下の程度は弱まるであろうが、地表付近での単位面積あたりの影響という観点からは、小規模の緑地が効率的であり大規模の緑地では効果が一定に近づくという傾向はほぼ同じであると考えられる。

3.7 都市緑地の設計と緑地の間隔について

複数の緑地を設ける場合についても、シミュレーションが2次元モデルであり3次元的にみると奥行き方向が同一状態を仮定していることになり、実際には二次元の場合より風下方向の温度低下の程度は弱まるであろう。複数の緑地を設ける場合、ある程度距離をおいて配置した方が効果的に気温を低下させるという傾向はほぼ同じであると考えられる。

都市全体のスケールでみた緑地の配置については、緑地による熱的影響のみを考えた場合、特に、夏期の地表付近の微気象緩和のためには、緑地の総面積が同じであれば、最適なスケールと間隔で緑地を分散して配置する

のがよいといえるであろう。

4. ま と め

都市緑地上の風速, 温度分布などを予測するため, $k-\varepsilon$ 2 方程式モデルを使用して, 緑地のスケールが変化したときや, 複数の緑地が存在したときのシミュレーションを行った。

その結果, スケールの大きな緑地ほど大きな影響の強度を示すが, 単位スケール当たりの影響の強さは, 小さな緑地の方が大きいことや, また, スケールが大きくなるほど, 緑地の影響による低温域は垂直方向に及ぶ範囲が広がる傾向があることが示された。

また, 複数の緑地が存在し, 緑地間隔が変化した場合のシミュレーションを行った結果, 地表付近では, 緑地間の都市部にも相対的な低温域が形成されることや, その温度低下の程度は, 緑地間隔により異なることがわかった。

総面積が同じであれば, 適度な間隔で緑地を分散して配置する方が, 地表付近の温度低下や, 湿度上昇には効果があることが示唆された。

今回のシミュレーションは, 非常に限られたケースのものであった。実際の現象は 3 次元であるため, 今後は, モデルの 3 次元化を行い解析することが必要であろう。また, 計算結果を気象観測と比較し検証することも, 今後の課題である。

引 用 文 献

- Bill, R. G., Chen, E., Sutherland, R. A. and Bartholic, X., 1979: Simulating the moderating effect of a lake on downwind temperature. *Bound.-Layer Meteorol.*, **16**, 23-33.
- Bornstein, R. D., 1975: The two-dimensional URBMET urban boundary layer model. *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 1459-1477.
- Estoque, M. A., 1961: Theoretical investigation of the sea breeze. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **87**, 136-146.
- Estoque, M. A. and Bhumralkar, C. M., 1969: A method for solving the planetary boundary equations. *Bound.-Layer Meteorol.*, **1**, 169-194.
- Gutman, D. P. and Torrance, K. E., 1975: Response of the urban boundary layer to heat addition and surface roughness. *Bound.-Layer Meteorol.*, **9**, 217-233.
- Honjo, T. and Takakura, T., 1984: Thermal effect of greenspace in urban area (1) Energy budget analysis based on the micrometeorological observation. *J. Agric. Meteorol.*, **40**, 257-261.
- Honjo, T. and Takakura, T., 1986: Analysis of temperature distribution of urban green spaces using remote sensing data. *J. Jpn. Inst. Landsc. Archit.*, **49**, 299-304.
- Honjo, T. and Takakura, T., 1990/1991: Simulation of thermal effects of urban green area on their surrounding areas. *Energy and Buildings*, **15-16**, 443-446.
- Honjo, T. and Takakura, T., 2000: Validation of the $k-\varepsilon$ model for analysis of the thermal effect of urban green area. *J. Agric. Meteorol.*, **56**, 243-251.
- Kanda, M. and Hino, M., 1990: Numerical Simulation of Soil-Plant-Air System (2) Numerical experiment on the effect of plant on meteorological environment. *J. Jpn. Soc. Hydrol. Water Resour.*, **3**, 47-55.
- Lee, R. L. and Olfe, D. B., 1974: Numerical calculations of temperature profiles over an urban heat island. *Bound.-Layer Meteorol.*, **7**, 39-52.
- McElroy, J. L., 1973: A numerical study of the nocturnal heat island over a medium-sized mid-latitude city. *Bound.-Layer Meteorol.*, **3**, 442-453.
- Yu, T. W. and Wagner, N. K., 1975: Numerical study of the nocturnal urban boundary layer. *Bound.-Layer Meteorol.*, **9**, 143-162.
- Yun, Y., Maruta, Y., Honjo, T. and Yanai, S., 1998: A study on the relations between scale and green spaces and decreasing air temperature of surrounding urban area. *Papers on Environmental Information Science*, No. **12**, 275-280.