

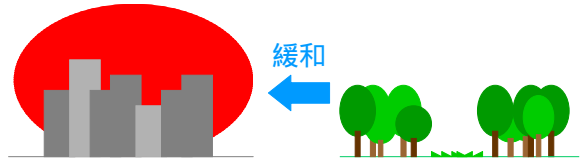
新宿御苑における 冷気のにじみ出し現象の解析

環境計画学専攻
緑地環境情報学研究室
YN

研究の背景

ヒートアイランド現象

都市緑地の利用



にじみ出し現象

静穏な夜間



既往の研究

新宿御苑で冷気のにじみ出し現象を超音波風速計を用いて観測した。(成田ら, 2002)

未解明



- ・にじみ出し現象時の緑地上空の空気の流れ
- ・にじみ出し現象の起こる層の厚さ
- ・冷気の移動速度の解析

本研究の目的

・緑地上空の気流の流れ
・にじみ出し現象の層の厚さ



緑地上空の気流のシミュレーションによる推定

・冷気の移動速度の解析

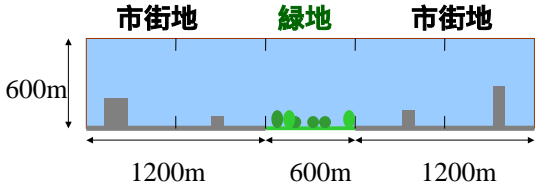


冷気の移動のスペクトル解析

緑地上空の気流のシミュレーション

シミュレーションのスケール

新宿御苑を想定し、幅600mの緑地の両側に幅1200mずつの市街地を想定した。空間の垂直方向の幅は600mである。



ただし、地表面は平らであるものとし、二次元で計算した。

シミュレーションに使用した式

連続の式より

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

ナビエ・ストークス式より

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho g T \quad (3)$$

エネルギー保存法則より

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

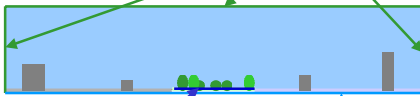
u,v: 水平, 垂直方向の速度 (m/s) ρ: 密度 (kg/m³) ν: 動粘性係数 (m²/s)

T: 温度 (K) t: 時間 (s) κ: 拡散係数 (k/C_v) x,y: 水平, 垂直方向の距離 (m)

初期条件と境界条件

初期条件: 緑地表面以外の地表面とその他全てについて風速 0m/s

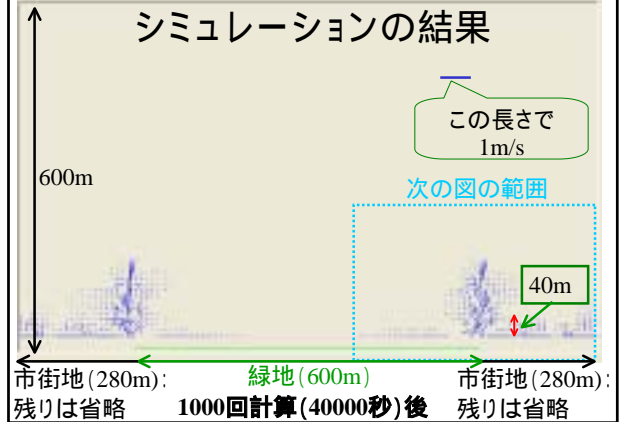
境界条件: 風速・温度は境界上で変化しない,
 $\frac{\partial T}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0$



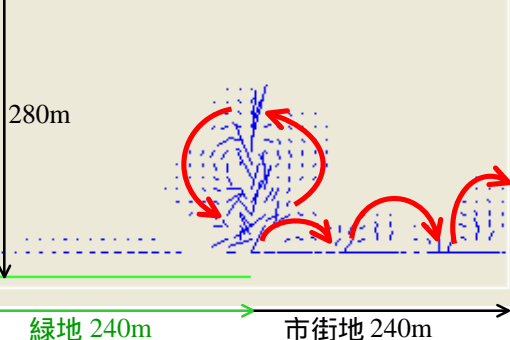
初期条件: 緑地表面のみ温度 20、その他は温度 25

境界条件: 地表面の風速は 0m/s

シミュレーションの結果

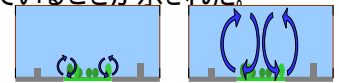


シミュレーションの結果の一部拡大図



シミュレーションの結果のまとめ

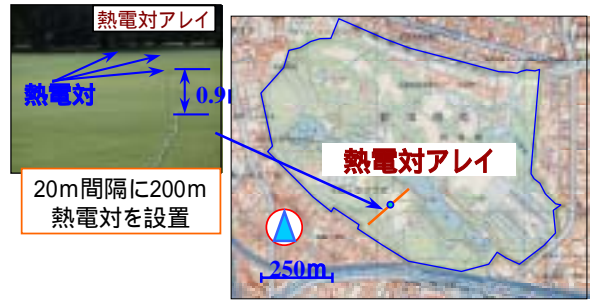
- ・温度差のみで緑地から市街地への冷気の移動(にじみ出し現象)が見られた。
- ・上空はほぼ無風である様子が見られた。
- ・ airflow は緑地と市街地の境界上の比較的狭い範囲で、緑地内部では下降、市街地側では上昇していることが示された。



- ・にじみ出しの層の厚さが厚いところでも 40m 位であることが推測される。

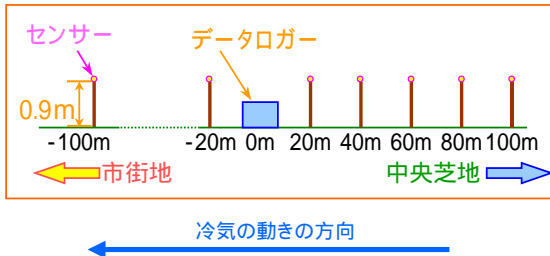
冷気の移動のスペクトル解析

データの測定場所



熱電対アレイについて

データの測定時間などについて



測定時間

2002年7月23日17:00から翌日03:00

測定間隔

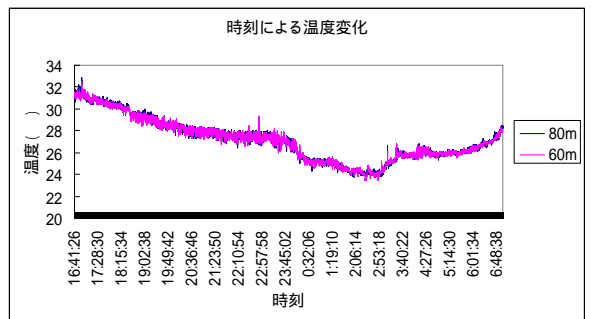
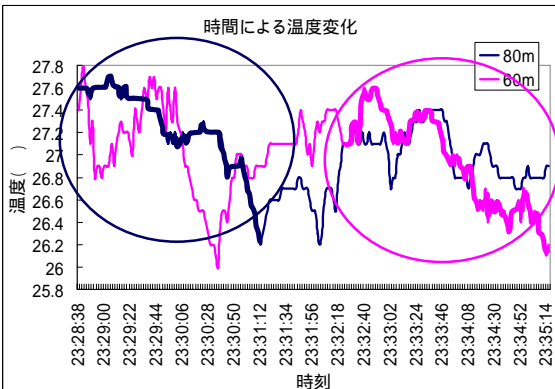
2秒毎 (各センサ毎に25770個のデータ)

測定精度

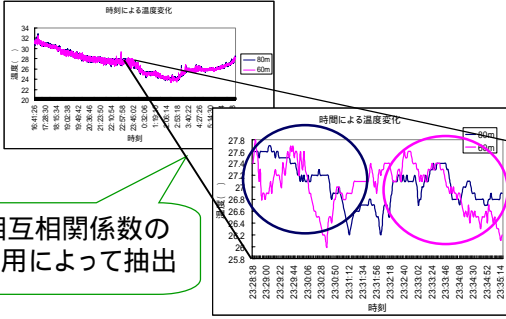
0.1

冷気の移動箇所の判断方法

温度グラフ

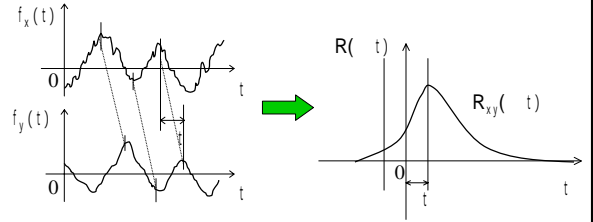


解析方法



相互相関係数の使用によって抽出

相互相関係数の式



二つの不規則変動 $x(t)$ と $y(t)$ との間の相互相関係数 $R_{xy}(t)$ は以下によって定義される。

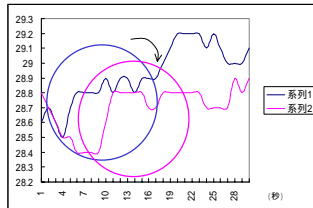
$$R_{xy}(\Delta t) = \frac{x(t)y(t + \Delta t)}{\sqrt{x^2} \sqrt{y^2}}$$

t : 時間差 t : 時間 $\sqrt{x^2}$: $x(t)$ の分散 $\sqrt{y^2}$: $y(t + t)$ の分散
 $x(t)y(t + \Delta t)$: $x(t)$ と $y(t + t)$ の共分散

相互相関係数の基準値

0.85以上

相互相関係数
0.85のサンプル



冷気の移動速度の算出方法

相互相関係数の算出の結果として表示されるもの

温度低下の動きの相互相関係数が0.85以上となる

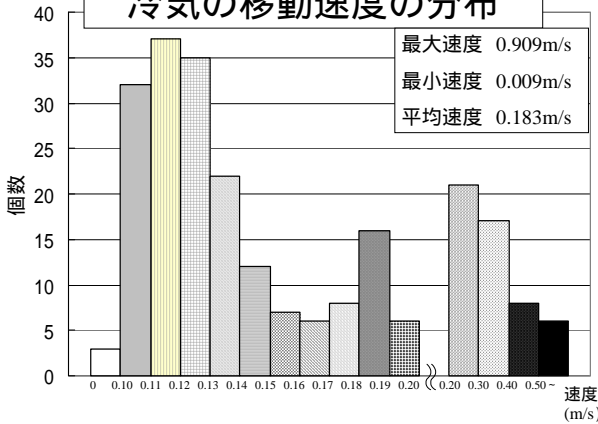
- ・ 2地点の場所
- ・ データを抽出した時間帯(200秒)の最初の時刻
- ・ 時間のずれ幅(t)

地点 時刻
80m 00:00:00
比較
-80m 00:21:00

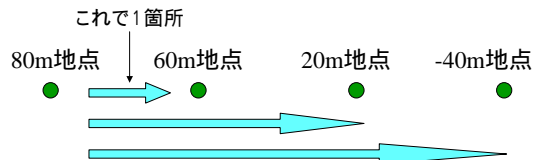
80m ~ -80m地点間は160m
時間のずれ幅は
00:00:00 - 00:21:00
により1260秒

速度 0.127m/s

冷気の移動速度の分布

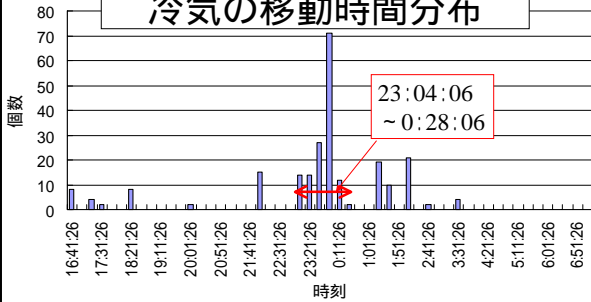


冷気の移動の様子



冷気の移動速度はほぼ一定
(精度 ± 0.02m/s)

冷気の移動時間分布



冷気の移動時間の特徴

冷気の移動が検出される時間帯に周期性はない。
冷気の移動が集中的に検出される箇所がある。

考察

冷気の移動速度

- ・冷気の移動速度が1m/s以下であること
- ・冷気の移動速度の平均が0.183m/sであること

冷気の移動の様子

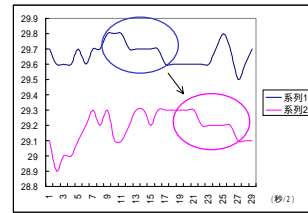
- ・移動する時刻に周期性はない
- ・冷気の移動時刻の分布
- ・冷気は緑地中央から市街地まで速度を変えずに移動する

おわりに

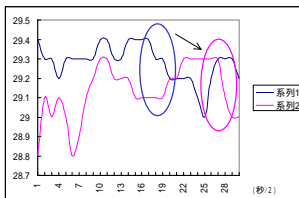
今回の研究の成果

- ・上空を含めた、緑地とその周辺全体の気流の様子がシミュレーションによってわかった。
- ・冷気の移動速度の具体的な値が判った。
- ・移動時刻の分布など、冷気の移動の様子について考察する材料が得られた。

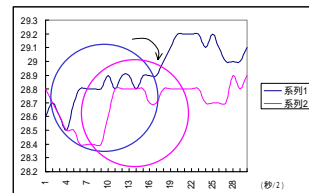
0.7



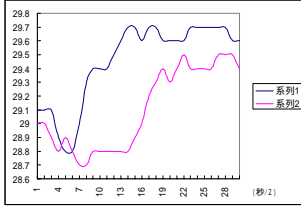
0.8



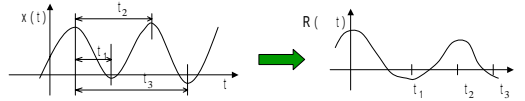
0.85



0.9



自己相関係数

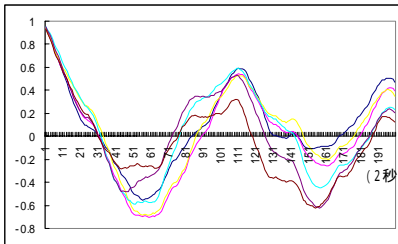


ある不規則変動 $x(t)$ 内における $x(t)$ と $x(t + \Delta t)$ の自己相関係数 $R(\Delta t)$ は以下によって定義される。

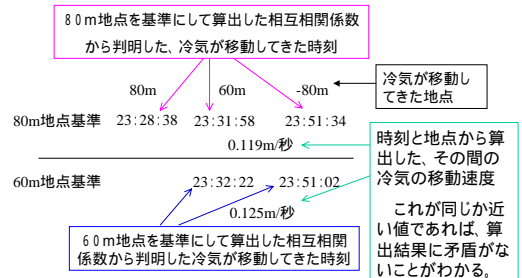
$$R(\Delta t) = \frac{\overline{x(t)x(t + \Delta t)}}{\sqrt{\overline{x(t)^2}} \sqrt{\overline{x(t + \Delta t)^2}}}$$

Δt : 時間差 t : 時間 $\sqrt{\overline{x^2}}$: $x(t)$ の分散 $\sqrt{\overline{y^2}}$: $y(t + \Delta t)$ の分散
 $\overline{x(t)y(t + \Delta t)}$: $x(t)$ と $y(t + \Delta t)$ の共分散

自己相関係数結果



冷気の移動速度の算出方法



基準地点を変えても速度に矛盾のないデータ同士が同一の冷気の移動を検出していると判断する根拠

