

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560187

研究課題名（和文）地球観測画像を利用した局地気象予測における多孔質概念の導入

研究課題名（英文）Introduction of the porous concept in the locality weather prediction using earth observation image

研究代表者

桑原不二朗（KUWAHARA FUJIO）

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：70215119

研究成果の概要（和文）：

地球観測衛星画像を用いて、都市構造を分類した。多孔質概念を導入し、地表構造物の局地気象に及ぼす影響を含む新しい数値シミュレーション手法として提案した。局地的集中豪雨の数値予測を目指し、都市構造の及ぼす影響について検討し、局地的前線の形成とそれに伴う強い上昇気流を予測し、局地的集中豪雨の前兆現象の予測に成功した。

研究成果の概要（英文）：

I grouped city structure using an earth observing satellite image. And I suggested a new numerical value simulation technique including the influence to give to the locality weather of the surface of the earth structure. And I calculated about the local concentrated downpour. The formation of the local front was predicted. And the strong ascending current of air was predicted. I succeeded in the prediction of the harbinger phenomenon of the local concentrated downpour.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：対流（局所気象予測，リモートセンシング）

## 1. 研究開始当初の背景

局地的集中豪雨は、暖湿な海風の流入、上空の寒気などのグローバルな気象と都市部のヒートアイランド現象に伴う上昇気流などの局所的な気象現象が組み合わせられ、いっどこでどれぐらいの強度で発生するかを正しく予測することは難しい。都市部の複雑な構造の影響を考慮することは難しく、新たな数値計算手法の提案が求められた。

一方、地球観測衛星の画像取得性能の発展

は目覚ましく、地下資源の調査や、農林水産業などの効率化など、その役割は大きく発展している。地球観測画像は、近赤外においても数バンドを有するなど多くの情報を有し、画像処理技術を用いて、地表構造を大きく分類することを可能にした。

## 2. 研究の目的

局所気象予測のうち、大きな被害をもたらす局地的集中豪雨の予測を目指し新しい数

値シミュレーション手法を提案する。本数値計算においては、実際の都市構造に注目し、都市構造が局地的集中豪雨の発生にどのようにかかわるかを明らかにする。そのため、地表構造を地球観測衛星画像を用い画像処理することで大きく分類する手法を提案する。また、画像処理技術の最適化を目指す。

また、地表構造の代表的寸法や空隙率などにより風の通気性（透過率）などの巨視的モデル定数を含む支配方程式群を提案する。局地的集中豪雨の発生に欠かせない、強い上昇気流の発生メカニズムを解明し、その予兆現象を捉えることで、局地的集中豪雨のより精度の高い数値予測を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (地表構造の分類)

地球観測衛星画像を取得し、その多くのバンド域データを生かし、都市部を河川・海、森林、田畑、住宅街、商業域、高層ビル群などに分類する。森林部の分類には、近赤外域に注目することにより容易に分類することが可能である。さらに教師付き分類法を採用することで、同類の性格の持つ地表構造を分類する。

#### (都市構造の巨視的性質)

地表構造の分類ののち、その代表的寸法に注目する。例えば高層ビル群は高さ 200m に及ぶが、1 区画 50-100m に比較的間隔を有して立ち並ぶ。代表寸法として 100m を採用し、気孔率を衛星画像や実測や建蔽率などにより決定し、多孔質体に対して直接的微視的数値シミュレーションよりその透過率を決定できる。中層ビル群は、都市部の主要道路に面しその高さは政令などにより決定されていることが多い。気孔率は比較的小さく、透過率は高層ビル群に比べて小さい。このように都市構造、地域的条件などの調査により、実際の都市構造を数値解析上に再現する。

#### (新しい数値シミュレーション手法)

純流体の支配方程式に対して、空間平均化の手法を適用する。この際、気象を取り扱うため、通常は、温度によって表現されるエネルギー式に対して、気圧の変化の効果と水蒸気の影響を含む相当温位を導入する。空間平均化処理に伴い、出現する新たな付加項に対し、これまでの多孔質体概念に基づき、微視的粘性項（ダルシー項）としてモデル化し、無次元圧力（エクスマー関数）などを含む新しい支配方程式群を導出する。

#### (局地的集中豪雨の数値予測)

都市部に発熱があり、海より暖かく湿った風が流入を開始する。海岸地区に立つ超高層ビル群を通過した風が、内陸部に流入する際、如何に上昇気流を形成するか、非定常計算を

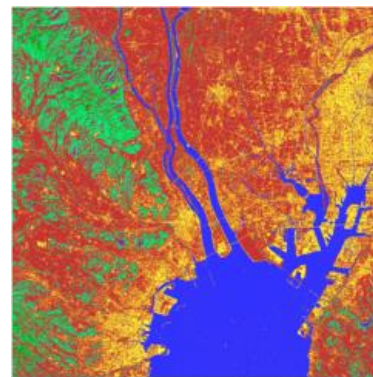
行うことで解明する。また、都市構造が変化した際、上昇気流の発生に及ぼす影響について検討する。

### 4. 研究成果

都市部として名古屋地区に注目し地球衛星画像の分類を行った。結果を図 1 に示す。都市部は、青色で示される（海・河川）、緑色で表示した（森林）、赤色（市街域）黄色（住宅地）に正しく分類できている。構造物をより細かく分類することは可能であるが、計算格子の精度を考えれば、このような分類により得られた画像を空間平均し多孔質体都市モデルとした。



(1) 都市衛星画像



(2) 画像処理により分類後

図 1 地球衛星画像による都市構造の分類

気象における取扱いを可能とするため、温度に代わり温位を用いる微視的支配方程式群を空間平均し、以下の支配方程式群を手負いした。

$$\frac{\partial \pi'}{\partial t} = -\frac{(\kappa-1)\pi_0}{\rho_0\theta_0} \left( \frac{\partial \rho_0\theta_0 u_j}{\partial x_j} \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -C_p \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x_i} + \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_m \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} \quad (2)$$

$$-v_m K^{-1} u_i + F_i$$

$$\frac{\partial \varepsilon \langle \theta_{il} \rangle}{\partial t} + \frac{\partial u_j \langle \theta_{il} \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_h \frac{\partial \varepsilon \langle \theta_{il} \rangle}{\partial x_j} \right) + Q \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon r}{\partial t} + \frac{\partial u_j r}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_h \frac{\partial \varepsilon r}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

ここで、

$$\theta_{il} = \theta \exp \left( \frac{L r_s}{C_p T} \right)$$

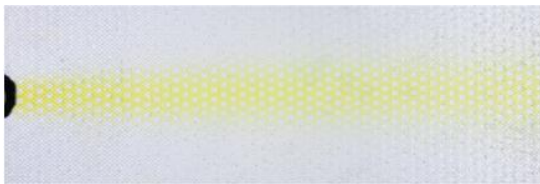
相当温位：

$$\pi = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{T}{\theta}$$

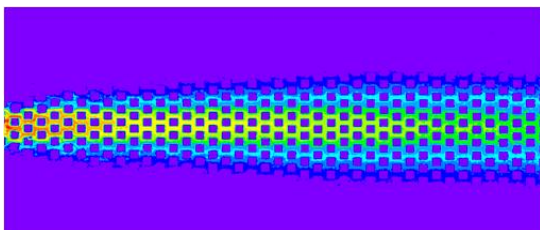
無次元圧力：

である。運動方程式内には、地表構造物の巨視的影響を表現する透過率を含む付加項が導入されている。

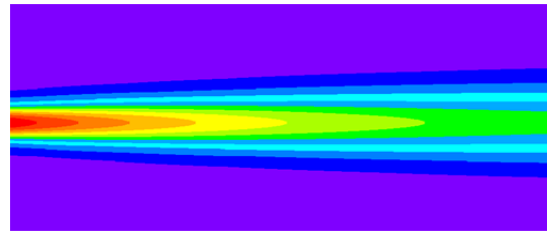
本巨視的数値シミュレーションを実行する上で、透過率や見かけの熱伝導率の決定は、不可欠である。そこで、濃度場の可視化実験を実施し画像処理手法と巨視的数値シミュレーションをフィッティングすることで、機械的分散による見かけの拡散係数の増加を実験的に計測した。実験結果の一例を図2に示す。実験結果と数値計算結果はよく一致し、非等方性のある巨視的モデル係数の決定に成功した。



(1) 濃度場の可視化 (実験画像)



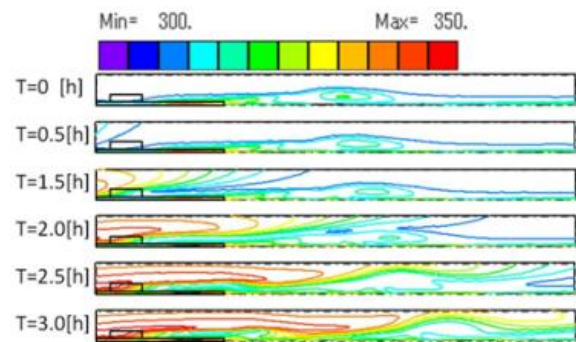
(2) 画像処理後 (実験)



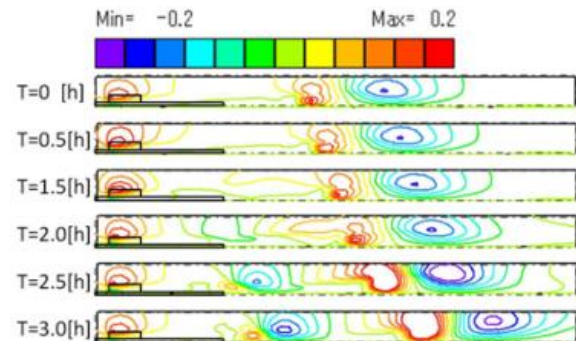
(3) 巨視的数値シミュレーション

図2 可視化による機械的分散係数の計測

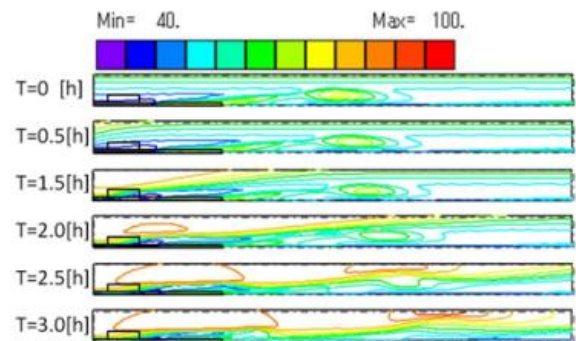
多孔質体概念に基づいた本支配方程式群を用い、さらに適切な巨視的モデル定数を決定したのち、海からの暖湿な気流の流入を予測した。シミュレーション結果の一例を図3に示す。



(1) 相当温位分布



(2) 上昇気流分布



(3) 相対湿度分布

図3 局地集中豪雨の予測

#### (局地的前線の形成過程)

図3(1)より、暖湿で高い相当温位の気流が流入し、内陸の低相当温位の気体塊にぶつかり、その上に乗り上げる形で、局地的前線の形成される様子をはっきりと予測している。この局地的前線の発生とともに、強い上昇気流域が形成されている(2)。この上昇気流は、大きな積乱雲の形成へとつながるが、本解析では高い相対湿度域の形成(3)という形で、その局地的集中豪雨へとつながる前兆現象を捉えている。

さらに、この局地的前線の形成過程に対し都市構造の影響を検討すべく、気孔率及び透過率を変化させて、同様のシミュレーションを実施した。結果を図4に示す。

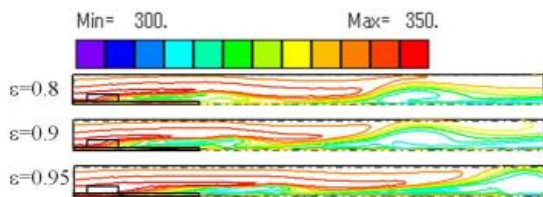


図4 気孔率の変化と局地的前線の移動

図4より、都市の気孔率が増加し、透過性が増すと暖湿な気流がより内陸部へと侵入し、局地的前線の発生位置に変化が現れることが判明した。

以上、本研究では、局所気象現象予測のために、多孔質体理論に基づく数値計算手法を提案した。モデル式内の巨視的モデル係数の決定に関して、可視化実験結果の画像処理に基づく手法を提案した。

実際の気象現象を再現すべく、雲形成や降雨現象を模擬するため、相対湿度に注目した簡易モデルを導入した。本モデルは、フェーン現象、接地逆転層などの実際の気象現象を正確に予測しうることを確認した。

さらに、多孔質体都市モデルを暖湿な海風の流入現象に適用することにより、都市部に発生する局所的な上昇気流を的確に予測しうるということが判明した。特に、都市部を通過した高い相当温位の空気塊が、下流の寒冷な空気塊の上に乗り上げ形成される局地的前線の発達過程および雲状の湿域の形成を予測した。都市部での透過流を適切に予測する本モデルにより、都市内陸部に発生する局所的集中豪雨の発生の前兆現象を捉えることに成功した。都市構造の流体工学的性質である通気性を透過率という多孔質体概念に基づく巨視的モデル定数で捉えることにより、より迅速かつ都市構造の影響を含む有効な数値計算手法が提案された。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Fujio Kuwahara, Norimasa Sogawa, Takafumi Kuroiwa, "A Visualization Study of Mechanical Dispersion in Porous Media", 査読有り, The Open Transport Phenomena Journal, 2010, 2, 103-108.

[学会発表] (計5件)

- ① 桑原不二朗, 武石直樹, "多孔質体都市モデルによる局地気象現象の新しい数値予測", 査読無し, 第48回日本伝熱シンポジウム 2011.6.1, (岡山コンベンションセンター)
- ② 桑原不二朗, 寒川哲幹, 西村 侑記, 中山 顕, "多孔質体内機械的分散の可視化計測", 査読無し, 機械学会東海支部総会講演会, 2011.3.12 (豊橋技科大学)
- ③ F. Kuwahara, N. Sogawa and T. Kuroiwa "A concentration visualization for the study of mechanical dispersion in porous media", 査読無し, 3rd Int. Conf. Porous Media, 2010.6.22 (Italy. Tuscany)
- ④ 寒川 哲幹, 桑原 不二朗, 中山 顕, "多孔質体の機械的分散の画像処理", 査読無し, 第47回日本伝熱シンポジウム, 2010.5.26, (札幌岡山コンベンションセンター)
- ⑤ 佐野吉彦, 桑原不二朗, 野口康太, 中山 顕, "二重構造多孔質体の透過率", 第46回日本伝熱シンポジウム, 2009.6.3, (京都国際会議場)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等: なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

桑原不二朗 (KUWAHARA FUJIO)  
静岡大学・工学部 准教授  
研究者番号: 70215119

##### (2) 研究分担者

なし