

II-51

複合場からの熱フラックスの算定—スケール効果の導入—

京都大学 大学院 学生員 田中 賢治
建設省 正員 田中 敬也
京都大学防災研究所 正員 池淵 周一

1 はじめに 陸面水文過程を大スケールでモデル化することが水文・気象の両サイドから求められている。地表面条件がモデルのグリッドサイズよりも小さなスケールで変化する場合、グリッド領域平均熱フラックスを、グリッド内の土地利用の面積率による重み付け平均により求めるというパラメタリゼーション(図-1)がよく行われるが、この手法では個々の土地利用の大きさの影響(すなわち、個々の土地利用が散在しているか、まとまって存在するかというスケールの効果)を表現できない。

我々はこれまで、SiBUC-LCM 結合モデルを用いて、2種類の土地利用が繰り返されている場を対象とした数値シミュレーションを行い、土地利用スケールと領域平均熱フラックスの関係を調べてきた。その結果、都市-水体のように熱的特性が大きく異なる組み合わせの場合にはスケール効果が大きく現れることが示された¹⁾。

そこで本研究では、シミュレーション結果をさらに詳細に解析し、熱フラックス算定手法にスケール効果を導入することを試みる。

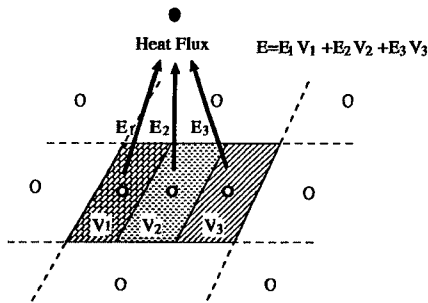


図-1 面積率パラメタリゼーション

2 モデルの概要 本研究では、SiBUC-LCM 結合モデル¹⁾を用いて計算を行った。SiBUC²⁾は、SiB(生物圏モデル)を都市、水体にまで拡張した陸面水文モデルである。LCMは、葛葉ら³⁾が開発した局地循環モデルであり、基礎式は、Boussinesq近似、静力学平衡を仮定したものである。

3 計算結果および考察 本研究では、スケール効果が最も大きく現れる都市-水体の組み合わせについて、詳細な解析を行う。図-2は、参照レベルにおける水蒸気圧(e_r)、気温(T_r)と潜熱フラックス(IE)の水平分布を各スケールについて示したものである。スケールが大きな場合には都市上空で高温乾燥、水面上空で低温湿潤となり、それぞれの土地条件に固有の大気場が形成されている。スケールが小さくなるにつれ、大気の変数の土地利用間の差が小さくなり、領域平均的な大気場となる。

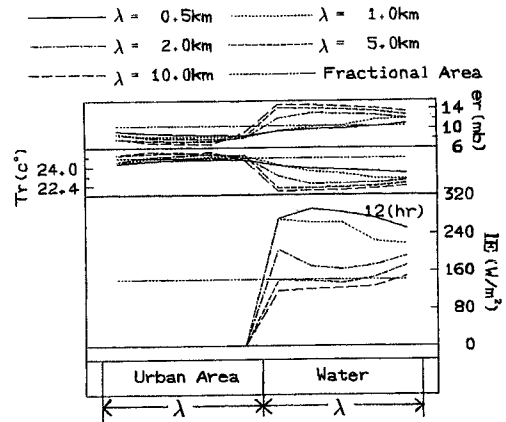


図-2 水平分布

面積率パラメタリゼーション(図-1)では、大気の変数のグリッド領域平均値を用いてフラックスが算定される。スケールが大きな場合にこの手法が有効でなくなるのは、領域内の大気の変数を1つの値で代表することができないためである。

4 スケール効果の導入 土地利用間の水蒸気圧の差(Δe_r)と領域平均潜熱フラックス($\overline{IE}$)の関係を図-3に示す(時刻毎に記号を変えて表示)。この図より、 Δe_r と $\overline{IE}$ の関係は一次関数で表される。

$$\overline{IE}(t) = A_E(t) + B_E(t)\Delta e_r \quad (1)$$

ここで、 $A_E(t)$ はスケールが無限小の場合の潜熱フラックスであり、これは面積率パラメタリゼーションによるフラックスに近似的に等しい($\Delta e_r = 0$)。

土地利用スケール（ λ ）と水蒸気圧差（ Δe_r ）の関係を図-4に示す（時刻毎に記号を変えて表示）。 λ が大きくなるにつれ、 Δe_r はある値（ Δe_{rc} ）に漸近しながら大きくなる。ここで、 Δe_{rc} はスケールが無限大の場合の水蒸気圧差であり、都市だけの場合と水体だけの場合の結果を比べることにより得られる。さらに、 Δe_{rc} はフラックス（ $A_E(t)$ ）が大きい場合に大きくなることから、 Δe_r は λ と $A_E(t)$ の関数で表される。

$$\Delta e_r = f(\lambda, \Delta e_{rc}) = f_e(\lambda, A_E(t)) \quad (2)$$

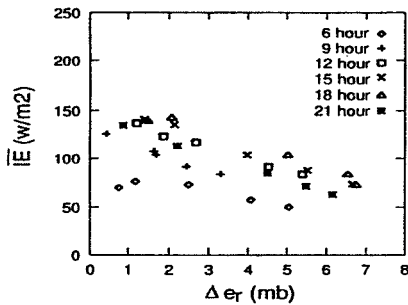


図-3 Δe_r と $\overline{IE}$ の関係

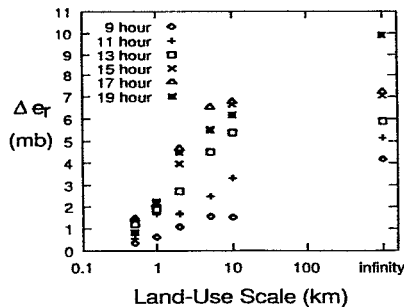


図-4 λ と Δe_r の関係

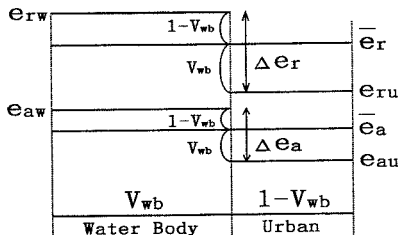


図-5 グリッド領域平均値の分解

図-5はグリッド領域平均値の分解の概念図である。水体上空の水蒸気圧（ e_{rw} 、 e_{aw} ）は領域平均値（ $\bar{e}_r$ 、 $\bar{e}_a$ ）と水蒸気圧差を用いて次のように表せる。

$$e_{rw} = \bar{e}_r + (1 - V_{wb})\Delta e_r \quad (3)$$

$$e_{aw} = \bar{e}_a + (1 - V_{wb})\Delta e_a \quad (4)$$

ただし、 V_{wb} は水体の面積率であり、サフィックス（ r 、 a ）はそれぞれ参照レベル、キャノピー空間の値であることを表している。上式を微分すると、

$$\frac{\partial e_{rw}}{\partial \Delta e_r} = \frac{\partial e_{aw}}{\partial \Delta e_a} = 1 - V_{wb} \therefore \frac{\partial e_{aw}}{\partial e_{rw}} = \frac{\partial \Delta e_a}{\partial \Delta e_r} \quad (5)$$

水体－都市の場合、蒸発は水体からのみ起こる。

$$\overline{IE}(t) = IE_{wb}V_{wb} \doteq \frac{\rho C_p e_a(T_{wb}) - e_{aw}V_{wb}}{\gamma r_{dw}} \quad (6)$$

ただし、 ρ ：空気密度、 C_p ：空気の比熱、 γ ：乾湿球定数、 r_{dw} ：水面とキャノピー空間の間の空気力学的抵抗である。

したがって、 $\Delta e_r - \overline{IE}$ 関係の勾配（ $B_E(t)$ ）は次のように導かれる。

$$\begin{aligned} B_E(t) &= \frac{\partial \overline{IE}(t)}{\partial \Delta e_r} = \frac{\partial \overline{IE}(t)}{\partial e_{aw}} \frac{\partial e_{aw}}{\partial e_{rw}} \frac{\partial e_{rw}}{\partial \Delta e_r} \\ &= -\frac{\rho C_p V_{wb}}{\gamma r_{dw}} \times \frac{\partial \Delta e_a}{\partial \Delta e_r} \times (1 - V_{wb}) \end{aligned} \quad (7)$$

顕熱に関しても同様の議論が成立する。

$$\overline{H}(t) = A_H(t) + B_H(t)\Delta T_r \quad (8)$$

$$\Delta T_r = f_T(\lambda, A_H(t)) \quad (9)$$

以上より、土地利用スケール効果を取り込んだ熱フラックス算定法を次のようにまとめることができる。

1. フラックスの第一近似（ $A_E(t)$ 、 $A_H(t)$ ）が面積率パラメタリゼーションから計算される。
2. 大気の変数の差（ Δe_r 、 ΔT_r ）が土地利用スケール（ λ ）を用いて計算される。
3. グリッド領域平均フラックス（ $\overline{IE}(t)$ 、 $\overline{H}(t)$ ）が式（1）、（8）より計算される。

5 おわりに 本研究では、第一段階として、2つの土地利用からなる場に対して土地利用スケールを考慮した熱フラックス算定法を提案した。今後はより一般的な形で定式化を行っていく。

参考文献

- 1) 田中賢治，田中敬也，池淵周一，葛葉泰久：土地利用スケールと領域平均熱フラックスの関係，水工学論文集，第39巻，pp.159-164，1995。
- 2) 田中賢治，池淵周一：都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用，京大防災研究所年報，第37号，B-1，pp.299-313，1994。
- 3) 葛葉泰久，池淵周一，田中賢治：数値解析による広域場からの蒸発散量推定のための基礎的研究，京大防災研究所年報，第36号，B-2，pp.159-171，1993。