

## 論文の内容の要旨

論文題目 The Development of Urban Heat Island Simulation Tool and its Application to Planning of  
Chongqing, China  
(都市ヒートアイランド解析ツールの開発と中国重慶市の計画への応用)

氏名 張 洪賓

本論文では、3次元非静水圧気象モデル RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) を都市のヒートアイランド現象を解析するためのツールに改良した。そして、この改良したモデルを用いて中国南西山間部の急成長を続けている重慶市のヒートアイランド現況を解析し、またその将来予測を行った。更に、重慶市の将来土地利用計画を参考に、複数のヒートアイランド緩和策を導入する際の効果を評価した。

ヒートアイランドは都市域の気温がその周辺地域より高くなる現象をいい、都市の温暖化とも呼ぶ。地球温暖化現象に比べ、都市ヒートアイランドは強度が大きく、進行性が早い、比較的対策取りやすい等の特徴を持つため、専門家、行政等に強い関心を持たれている。ヒートアイランドは都市の温熱快適性を損なうだけでなく、大気汚染やエネルギー消費、特に夏季のピークエネルギー消費、都市型夏季集中降雨等様々な都市環境問題に影響を及ぼすため、非常に重要な都市環境問題の一つである。

様々なヒートアイランドに関する研究の中で、3次元メソスケール数値モデルによるヒートアイランド現象の空間・時間的な解析は都市とその周辺部全域を取り扱っているため、都市ヒートアイランドの現況説明、将来予測とヒートアイランド緩和策の提案などにおいて重要な役割を担っている。しかし、今までの都市ヒートアイランド研究に取り入れられているメソスケール気象モデルの多くは静水圧近似を用いたため、格子サイズの限界や地表面付近での鉛直方向の解像度等の問題点を抱えている。これからのヒートアイランド研究には都市全体と局所の放射・熱輸送現象の双方の影響を考慮できるメソスケールに街区スケールやミクロスケールの情報を加味したモデルの開発が必要となっている。

本論文の対象都市となる重慶市は四川盆地の南東部、長江上流の三峡ダム貯水域の集水域に位置する。中国「西部大開発」国家戦略の中心都市として1997年に北京、上海及び天津と並ぶ中国4番目の中央直轄市に昇格した。西部地域の発展をリードするために、重慶市は2020年までに都市域面積も都市人口も2003年時点の凡そ2倍に拡大する計画を作成している。このような大規模な都市開発は都市気候に大きな影響をもたらす可能性が大きく、それをなるべく正確に予測し防止策を提案することが重要である。

本論文ではまず、気象モデル RAMS に都市の構造と熱特性を解析するための都市キャノピーモデルを内挿することによりヒートアイランド解析ツールの開発を行った。

RAMS は地表面付近の熱・流体力学的な特性を解析するために、LEAF-2 (Land Ecosystem-Atmospheric Feedback) というサブモデルを含んでいる。LEAF-2 サブモデルは植生の存在による地表面付近の各種フラックスの変化と、地表面と土壌層や大気層とのフラックス交

換を扱うもので、植生キャノピーモデルともいう。都市域については、LEAF-2 はアルベド、放射、粗度等特性値の違いによってその存在を表している。本論文では、RAMS の初期化過程に土地利用診断プロセスを組み込み、人工被覆地表面に対する計算を LEAF-2 の代わりに UC (Urban Canopy) サブモデルを用いる手法を取った。本論文で開発した UC サブモデルは Kusaka らが開発 Single-layer Urban Canopy スキームをベースにデザインされている。Single-layer Urban Canopy スキームでは都市キャノピーが奥行き無限長の建造物を一定間隔に配置した街区と定義され、人工被覆面は建造物の壁、屋根及び道路から構成されている。人工被覆の熱特性以外に、都市キャノピーの構造が都市気候に及ぼす影響、例えば、建造物の存在による日陰や、鉛直方向での短波・長波の吸収放射、風の遮断効果等も解析できるようになっている。更に、実在都市の建造物のランダム配置に対応するために都市キャノピーが回転できるように設計され、 $\pi/8$  回転されるたびに直射日光の計算を行ない、平均値を取るようになっている。これら Single-layer Urban Canopy スキームの特性を生かしたうえに、UC サブモデルは各人工被覆面に人工排熱（顕熱・潜熱）フラックス項を加えており、様々なヒートアイランド緩和策を評価するために人工被覆面の蒸発散項も設けている。また、都市キャノピー構造が都市の内部でも異なっていることに対応するため、Urban 土地利用クラスが最大 10 個まで設定できるようにデザインされている。新しいツール (RAMS-UC) の精度は東京と重慶市両都市を対象としてに検証された。

次に、RAMS-UC モデルを用いた重慶市ヒートアイランド現象の現況解析、将来予測、及び各種ヒートアイランド緩和策の有効性を評価した。衛星リモートセンシング技術を利用して、Landsat-7 の衛星画像から解像度凡そ 50m の重慶周辺の土地被覆データを抽出し、モデルの入力データの一部として使用した。なお、重慶市計画局で作成された都市開発計画を参考にして大規模都市開発の終了予定である 2020 年における重慶市ヒートアイランド状況を予測した。大規模都市開発は重慶市の夏季気温を更に上昇させ、新規都市域では 5°C 近く気温が上昇すること、また周辺の高温化の影響を受け既成都市域でも 1°C 弱気温が上昇することが予測された。各種緩和策の評価部分では、従来から有効な対策としてよく挙げられている、(1) 地表面の高アルベド化、(2) エネルギー消費の抑制、(3) 緑被率の増加、などと、新しい提案として、(4) クーリングタワーの積極的な導入、(5) 保水性舗装の導入、(6) 壁面散水の導入、など計 6 種類の緩和策の効果を定性及び定量的に評価した。

最後に、2020 年の計画で想定されている重慶市の土地利用に基づいて、大胆な都市の成長管理 (Growth Control) を行った場合と比較して、前項で述べた都市のヒートアイランド対策を組み合わせて導入した場合にどの程度ヒートアイランド現象を緩和できるかを検討した。成長管理シナリオでは都市規模が半減し、都市の緑被率が 60% まで上げたケースを想定している。一方で、ヒートアイランド対策については前項で個々の対策による効果を評価した結果から用途区域毎に適切な組み合わせで導入するよう試みている。緩和策の組み合わせによるヒートアイランドの改善は夜間において成長管理シナリオによる効果と概ね同程度であるのに対して、昼間においては成長管理シナリオよりもはるかに大きい効果が得られることが分かった。

以下に、本論文で得られた知見をまとめる。

- (1) 気象モデル RAMS に都市キャノピーサブモデル UC を内挿したことにより、異なる

スケールの事象をダイナミックにリンクした都市ヒートアイランド解析ツールを開発した。

- (2) 現在想定されている大規模都市開発・再開発により重慶市のヒートアイランドの状況は悪化し、新規開発地域ばかりでなく既成市街地においても周辺の気温上昇の影響を受け最大2°C近くの気温上昇が予想された。
- (3) ヒートアイランド緩和策の評価において以下の事項が明らかになった。(a)人工排熱量の削減は地域特性に関係なく削減した分だけの効果が期待可能。(b)アルbedo改善方策としては屋根面に高反射塗料を導入することが一番効果的。(c)保水性舗装と緑地面積増大方策は夜間のヒートアイランド現象の改善にもっとも効果的。(d)クーリングタワーは昼間のヒートアイランド緩和に効果的ではあるが、大規模に導入されると空気中の水蒸気量の上昇により近隣の蒸発効果が抑制され、逆に地域の気温上昇に繋がる可能性もある。(e)壁面散水による都市ヒートアイランド緩和は顕著ではなかったが、散水による省エネ効果も含めて評価を行うと高冷房使用率の建物での使用が望ましいという結果になることも考えられる。
- (4) 重慶市の将来土地利用を元に大胆な成長管理シナリオと各種ヒートアイランド緩和策の複合導入を評価した結果では、昼間においてはヒートアイランド緩和策の複合導入シナリオの方が成長管理シナリオよりも快適な都市温熱境が期待できる結果となった。

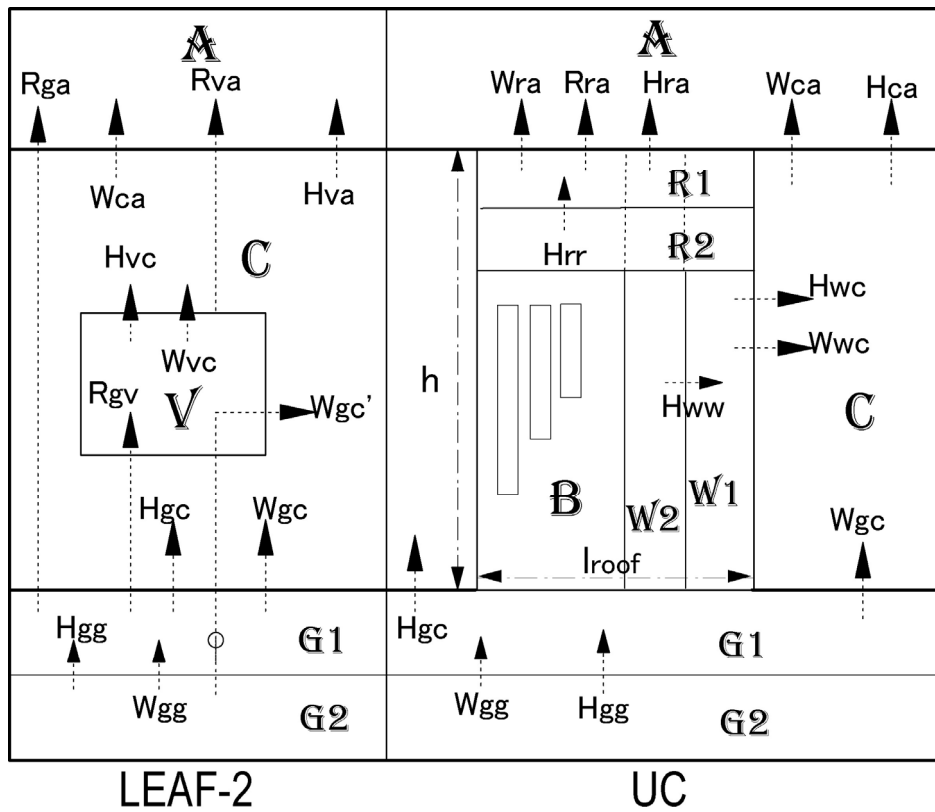


Figure 1: Canopy components and heat fluxes. The free atmosphere, canopy air, vegetation, building and ground (soil) are represented by the letters A, C, V, B (where, R denotes building roof and W denotes building walls), and G, respectively.

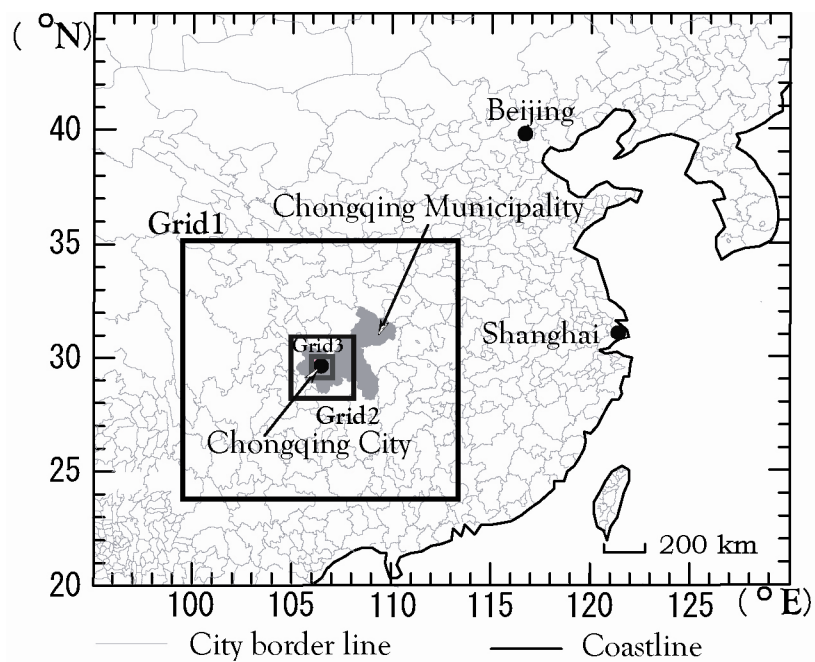


Figure 2: Horizontal domains in Chongqing simulation