



都市基盤安全工学国際研究センター

東京大学生産技術研究所

# リモートセンシングデータを用いた 阪神地区の都市気候数値シミュレーション

サステナブル構造システム研究委員会

平成15年度報告書

**RC-39 サステナブル構造システム研究委員会**  
**都市環境 WG 活動報告書**

**リモートセンシングデータを用いた阪神地区の  
都市気候数値シミュレーション**

**平成 16 年 3 月**



## まえがき

20世紀の我が国は欧米諸国に追いつくことを最大目標に、産業の育成、設備の拡充、新製品の製造等に全力を尽くしてきた。その結果、経済は高度に成長し我が国は世界的に見ても裕福な国に変貌した。しかし、この代償として膨大な社会資本ストックの存在、地球温暖化に代表される環境破壊が問題視されており、循環型社会形成が急務であるとされている。一方、経済に目を向けると21世紀を迎えた現在、我が国経済はバブル崩壊後10年間以上もの長きにわたる低迷を続けているという現実がある。このように経済が低迷している状況の中で環境問題という制約が生じるのは、「泣き面に蜂」な状況にあると考えられるが、これは、過去に我々が経験してきた社会活動を継続する場合に想定される状況である。このような既成概念のもとでは、今後も負の遺産を子孫に残すことになる。つまり、これまでとは全く異なる視点からの検討が必要となり、膨大な社会資本ストックの管理に携わる我々の使命は極めて高いといえる。

このような現状を鑑み、都市基盤安全工学国際研究センターでは（財）生産技術研究奨励会の特別研究会として、サステナブル構造システム研究委員会を発足し民間企業18社とともに、平成14年度から2年間の活動を実施した。本研究委員会では、前述した膨大な社会資本ストックへの対応および環境破壊問題への対応など、今後、持続的な生存が可能となるために必要となる事項を、以下の5つの観点から検討を行った。①老朽化構造物のサステナビリティに関する研究、②多様化する都市型災害の低減に関する研究、③リモートセンシングデータを用いた阪神地区の都市気候数値シミュレーション、④環境低負荷型都市のあり方に関する研究、⑤サステナブル構造のためのモニタリング手法。都市基盤に携わる技術者・研究者の視点から検討し、これまでに無い視点から検討を行ったものであり、これらの研究成果が今後、この分野における発展の一助となれば幸いである。

最後に本研究委員会の活動にあたり、終始熱心なご協力をいただいた委員諸氏ならびに関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

平成16年3月

サステナブル構造システム研究委員会  
委員長 魚本健人



サステナブル構造システム研究委員会(平成 15 年度)

委員会名簿

委員長	魚本 健人	東京大学生産技術研究所	教授
委員	安岡 義文	東京大学生産技術研究所	教授
	Misra Sudhir	東京大学生産技術研究所	客員教授
	高橋 健文	東京大学生産技術研究所	客員教授
	瀬戸島 正博	東京大学生産技術研究所	客員教授
	目黒 公郎	東京大学生産技術研究所	助教授
	大岡 龍三	東京大学生産技術研究所	助教授
	Dutta Dushumanta	東京大学生産技術研究所	助教授
	加藤 佳孝	東京大学生産技術研究所	講師
	遠藤 貴宏	東京大学生産技術研究所	助手
	吉村 美保	東京大学生産技術研究所	助手
	藤田 久和	(株)建設企画コンサルタント	東京事業本部 技術センターセンター長
	菊池 禎二	営業本部	専務取締役
*	柴 慶治	清水建設(株)	技術研究所企画部開発企画グループ長
	栗田 守朗	清水建設(株)	技術研究所社会基盤技術センター主任研究員
	高橋 郁夫	清水建設(株)	技術研究所先端技術開発センター主任研究員
	岡田 敬一	清水建設(株)	技術研究所先端技術開発センター主任研究員
	平間 敏彦	清水建設(株)	エンジニアリング事業本部 主査
	岡本 卓慈	(株)計測リサーチコンサルタント	代表取締役
	羅 黄順	(株)計測リサーチコンサルタント	企画開発室
	菅野 安男	基礎地盤コンサルタンツ(株)	保全部 部長
	野田 典広	基礎地盤コンサルタンツ(株)	環境部
	丸茂 文夫	(株)東横エルメス	ソリューション事業部
	山本 郁夫	(株)東横エルメス	特機・事業部
*	福島誠一郎	東電設計(株)	技術開発本部防災プロジェクト部
	佐藤 登	三協(株)	代表取締役
*	天野 玲子	鹿島建設(株)	土木管理本部土木技術部 次長
	椿 治彦	鹿島建設(株)	土木管理本部土木技術部 課長
	高木 賢二	鹿島建設(株)	技術研究所 LCEM プロジェクトチーム 主任研究員
	北田 健介	鹿島建設(株)	技術研究所 地球環境・バイオ Gr. 研究員
	上田 純広	鹿島建設(株)	IT ソリューション部 エンジニアリングシステム Gr.

*赤松 幸生	国際航業(株) 技術センター 赤松研究室 室長
虫明 成生	国際航業(株) 技術センター
船橋 学	国際航業(株) ミレニアム事業本部
山内 大祐	国際航業(株) 地盤環境エンジニアリング事業部
古市 眞	中日本航空(株) 事業開発部 部長
渡辺 仁	中日本航空(株) 事業開発部
宮坂 聡	中日本航空(株) 事業開発部リモートセンシング担当 課長
吉田 夏樹	中日本航空(株) 事業開発部
赤池 勝明	中日本航空(株) 事業開発部
川村 哲也	東京電力(株) 国際部海外コンサルティンググループ課長
*中井 秀信	東京電力(株) 建設部土木・建築技術センター 都市土木技術グループ
高田 励	東京電力(株) 建設部海外事業グループ
清水 隆史	(株)建設技術研究所 構造部 課長
山根 立行	(株)建設技術研究所 構造部
石田 辰英	(株)建設技術研究所 情報部
関谷 成人	西武建設(株) 業務推進部 研究員
二木 重博	アジア航測(株) コアテクノロジー事業部 防災グループ技術部長
今村 遼平	アジア航測(株) 関東防災地質部 顧問
小林 公一	アジア航測(株) 関東防災地質部 防災地質課 係長
佐藤 幸孝	アジア航測(株) 関東防災地質部 防災地質課
滝川 正則	アジア航測(株) コアテクノロジー事業部 応用計測グループ
水谷 信之	アジア航測(株) 業務企画室 室長
肥田 研一	(株)千代田コンサルタント 事業本部 構造・保全部長
田中 芳行	(株)竹中土木 技術本部 企画グループリーダー
安藤慎一郎	(株)竹中土木 技術本部技術本部 技術グループ
和田 直也	(株)竹中土木 技術本部技術研究所 建設技術開発本部構造材料グループ
松本 由美子	(株)竹中土木,技術本部技術本部 技術グループ
山田 哲也	三井住友建設(株) 技術研究所 建築研究開発部 建築構造研究室
岡田 昌澄	首都高速道路公団 保全施設部保全技術課

(\*印：幹事)

## WGメンバー一覧表

氏名	会社名	所属
天野 玲子*	鹿島建設(株)	土木管理本部 土木技術部
椿 治彦	鹿島建設(株)	土木管理本部 土木技術部
高木 賢二	鹿島建設(株)	技術研究所 LCEMプロジェクトチーム
北田 健介	鹿島建設(株)	技術研究所 地球環境・ハイオ Gr.
上田 純広	鹿島建設(株)	ITソリューション部エンジニアリングシステム Gr.
古市 眞	中日本航空(株)	事業開発部
渡辺 仁	中日本航空(株)	事業開発部
宮坂 聡	中日本航空(株)	調査測量事業本部 事業開発部
魚本 健人	東京大学生産技術研究所	都市基盤安全工学国際研究センター
安岡 善文	東京大学生産技術研究所	都市基盤安全工学国際研究センター
瀬戸島 政博	東京大学生産技術研究所	都市基盤安全工学国際研究センター
大岡 龍三	東京大学生産技術研究所	都市基盤安全工学国際研究センター

(\*印 : 幹事)



# リモートセンシングデータを用いた阪神地区の 都市気候数値シミュレーション

## 目 次

はじめに

委員会構成

1. 活動概要	1
2. 背景及び目的	4
2.1 RC39内での本研究の位置付け	4
2.2 研究の目的	4
2.3 阪神地区（主として大阪）の都市温暖化現象に関する施策状況	5
3. リモートセンシングデータの整備	9
3.1 本研究で利用したリモートセンシングデータ	9
3.2 グランドツルースとアメダスデータの概要	17
3.3 リモートセンシングデータによる各種主題図の作成	19
3.4 地表面温度傾向と土地被覆	24
3.5 メッシュデータの作成	29
4. 異なるデータによる土地利用情報の相違	30
4.1 異なるデータによる土地利用分類の対応	31
4.2 異なるデータによる土地利用分布の特徴及び利点	37
5. メソスケールモデルを用いた気流解析手法	39
5.1 解析概要	39
5.2 使用パラメータ	43
6. 一界面モデルを用いた地表面温度計算手法	47
6.1 計算手法	47
6.2 入力データ	51
7. メソスケールモデルを用いた気流解析結果	56
7.1 広域領域解析結果	56
7.2 気温解析結果	57

7.3 検討 case 比較結果	58
8. 一界面モデルを用いた地表面温度計算手法	62
8.1 各土地利用情報を基にした計算	62
8.2 異なるメッシュサイズによる計算	74
9. まとめ	82
9.1 土地利用情報整備に関するとりまとめ	82
9.2 気流解析に関するまとめ	82
9.3 地表面温度解析に関するまとめ	82
9.4 総括	83

## 1. 活動概要

2003年度の都市環境WGの活動を以下に記す。

### 1.1 第5回WG

- ・日時：2003年5月2日（金）10：00～12：00
- ・場所：鹿島建設（株）本社Ⅱ棟9F4号会議室
- ・議事内容：
  - ・2002年度報告書の内容について
  - ・解析用データサンプルフォーマット及びデータのやりとりについて
  - ・蒸発散量測定に関する意見交換
  - ・ICUS 予算について

### 1.2 第6回WG

- ・日時：2003年6月2日（月）15：00～16：30
- ・場所：鹿島建設（株）本社Ⅱ棟9F6号会議室
- ・議事内容：
  - ・MSS データ作成と各担当進捗状況の確認
  - ・土地被覆分類とNDVI・LAIとの相関に関する意見交換
  - ・モニタリングWGとの連携について

### 1.3 第7回WG

- ・日時：2003年6月30日（月）15：00～16：30
- ・場所：鹿島建設（株）本社Ⅱ棟9F3号会議室
- ・議事内容：
  - ・LAIの推定方法に関して
  - ・各担当進捗状況の確認
  - ・国際シンポジウムについて

### 1.4 第8回WG

- ・日時：2003年7月28日（月）13：00～14：00
- ・場所：東京大学生産技術研究所 第6会議室
- ・議事内容：
  - ・各担当進捗状況報告と意見交換
  - ・国際シンポジウム参加について：参加

### 1.5 第9回 WG

- ・日時：2003年9月10日（水）15：30～17：30
- ・場所：東京大学生産技術研究所 ICUS センター長室
- ・議事内容：
  - ・第8回議事内容の確認
  - ・各担当進捗状況報告と意見交換
  - ・今後の課題：建物の細分化について
  - ・国際シンポジウム投稿・発表について

### 1.6 第10回 WG

- ・日時：2003年10月22日（水）13：00～14：30
- ・場所：鹿島建設（株）本社 I 棟 2F10 号応接室
- ・議事内容：
  - ・第9回議事内容の確認
  - ・各担当進捗状況報告と意見交換：メッシュの大きさについて
  - ・今後の作業工程について

### 1.7 第11回 WG

- ・日時：2003年12月11日（木）13：00～14：30
- ・場所：鹿島建設（株）本社 I 棟 2F10 号応接室
- ・議事内容：
  - ・第10回議事内容の確認
  - ・今年度報告書の作成に向けた具体的作業工程について
  - ・来年度の RC-39 について

### 1.8 第12回 WG

- ・日時：2004年1月27日（火）13：00～16：00
- ・場所：東京大学生産技術研究所 ICUS センター長室
- ・議事内容：
  - ・第11回議事内容の確認
  - ・各担当報告書の内容について

### 1.9 第13回 WG

- ・日時：2004年3月9日（火）10：00～11：30
- ・場所：東京大学生産技術研究所 大岡研究室

・議事内容：

- ・報告書のまとめ方について

2003年度はWGを9回開催し、WGの進捗状況の確認と意見交換を行いながら、作業を進めた。また、今年度研究成果としてICUS主催国際シンポジウムに論文を投稿・発表した。

## 2. 背景及び目的

### 2.1 RC39 内での本研究の位置付け

サステナブル構造システム研究委員会（以下 RC39）は、サステナブルな都市を形成するための条件として、都市を構成する都市基盤設備そのものの持続性とそれが環境に与える影響について検討を行うために、東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター（ICUS）を中心に産学官の有志により構成される研究委員会である。この中で都市環境 WG は、都市基盤設備が都市環境に及ぼす影響を検討するために組織された WG である。都市基盤設備が都市環境に及ぼす影響については、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音問題等様々なテーマがあるが、本研究では近年注目されているヒートアイランド問題を取り上げる。ヒートアイランドは地表面の改変や人工排熱等の影響により都市気温が上昇する現象であり、夏季における空調用エネルギー消費の増大や熱中症の増加等の社会的な問題に発展しつつある。ヒートアイランドはいわゆる熱汚染問題でもあり、エネルギーの最終形態が熱となることより最後の汚染問題とも呼ばれている。上述したように様々な都市環境問題が存在するが、いずれにしても人間活動による環境汚染問題と位置づけることが可能であり、そこには環境インパクト影響としての共通性が存在する。従って、ヒートアイランド現象を解明することにより、ヒートアイランド現象そのものの解決に資する情報が得られるとともに、他の都市環境問題に関してもその共通する部分において解決の指針が得られるものと期待される。

また都市環境 WG は、建築学、土木工学、地理情報学の様々な分野の専門家から構成され、ヒートアイランド現象解明に対して、従来個別に検討されてきた技術を統合するといった分野横断的な試みでもある。

本 WG の研究成果は、都市環境評価に関して学術的に貢献するのみでなく、実際のサステナブルな都市を形成するための指針を提示できるものと期待される。

### 2.2 研究の目的

近年、日本の大都市では都市温暖化、いわゆるヒートアイランド現象が問題となっており、様々な施策が打ち出され始めている。今回対象とした阪神地区（大阪府）においても、地球温暖化の影響に加え、都市化の進行やエネルギー使用の増大により、都市域に熱がたまり気温が郊外に比べ高くなる現象（ヒートアイランド）が生じており、気温上昇傾向は近年、特に顕著になっている。また、大阪府域の地表面温度データから都市の高温化は大阪市内にとどまらず広くその周辺地域まで及んでいるのが現状である。

そこで本研究では、リモートセンシングデータから都市環境・都市温暖化をモニタリングすることを目的として、航空機 MSS（Multi-Spectral Scanner）データを利用した都市環境予測ツールとしての数値シミュレーション手法の開発を行い、阪神地区の都市環境を評価するものとした。

これまでもいくつかの研究グループによってヒートアイランド現象を数値シミュレーションにより解析する研究が行われている。こうした数値シミュレーションの精度向上には、数値シミュレーションモデルや数値計算手法にもまして入力データである土地被覆データの精度も重要な課題である。

ここでは、MSS のデータ、国土数値情報及び細密数値情報のデータを用いて阪神地区を対象とした数値シミュレーションを行い、土地被覆データの違いがメソスケール大気シミュレーションの結果に及ぼす影響を検討する。

更に、メソスケール大気シミュレーションより更に細かい温熱環境を再現するために植生や街区形状を考慮した地表面熱収支解析を行い、水平分解能 100m の地表面温度を再現して MSS データ中の熱赤外画像から算出される地表面温度分布との比較を行い、土地利用データの種類の違いによる予測精度の検証を行う。

また、水平分解能（メッシュサイズ）の違いが予測精度に及ぼす影響を検討し、最適な水平分解能について検討する。

以上のように土地利用データの違い、水平分解能の違いによる解析結果を比較検討することが、より精度の高い数値シミュレーション手法を確立するための一つの指標になると考える。

## 2.3 阪神地区（主として大阪市）の都市温暖化現象に対する施策状況

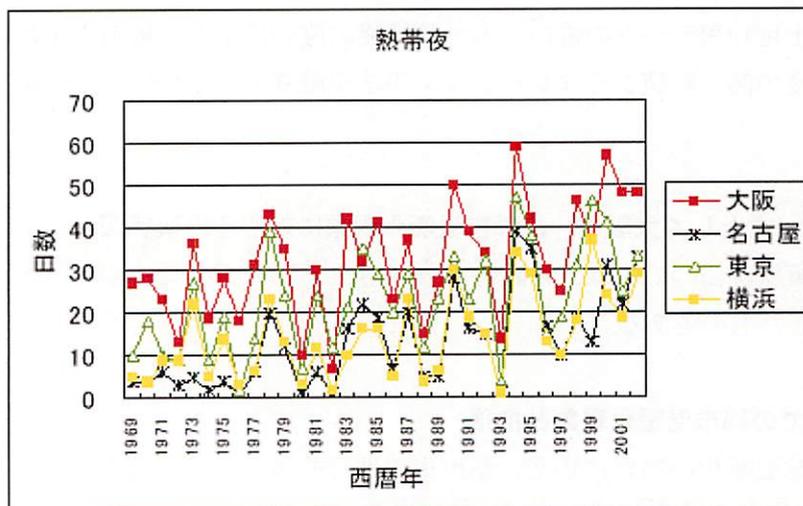
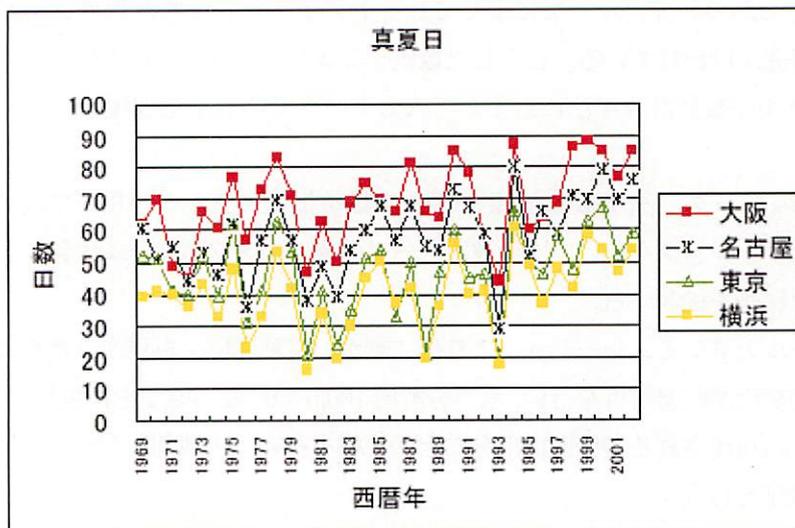
阪神地区の施策状況については、大阪府ホームページ\*1に詳しい。以下はそれを一部修正加筆して掲載したものである。

### 2.3.1 大阪府での都市温暖化現象と推移

大阪では、地球温暖化の影響に加え、都市化の進行やエネルギー使用の増大により、都市域に熱がたまり気温が郊外に比べ都市温暖化現象が急速に進んでいる。

過去 100 年間の気温は、世界全体で約 0.6℃、日本全体では約 1.0℃上昇しているのに対し、大阪市内では約 2.3℃上昇している。

特に四大都市の比較（図-2.1）で、大阪市内は 1970 年代から 1990 年代の間に、真夏日（日最高気温 30℃以上）の出現回数で約 1.1 倍増加、熱帯夜（日最低気温 25℃以上）の出現回数で約 1.4 倍増加を示している。



気象台の観測データより作成

図-2.1 四大都市における「真夏日・熱帯夜数」の推移（1869～2002年）

また大阪府が平成14年7～9月に大阪市（天王寺区）、吹田市（桃山台）及び箕面市（粟生新家）で行った実態調査の定点観測によれば、都心部にあたる大阪市内の定点は、吹田市の定点と比べ観測期間中の平均で1.0℃、日最大で1.5℃気温が高く、郊外の箕面市の定点では、観測期間中の平均で1.4℃、日最大で2.1℃高い結果が得られており、ヒートアイランド現象の傾向がみられる。

### 2.3.2 大阪府でのヒートアイランド現象に対する意識調査（780戸）

大阪府では、府域の都市温暖化現象について現状を把握し、今後の対策の基礎資料を得るために平成14年7～9月に気温等の実態調査及び調査地域に居住している住民を対象に

ヒートアイランド現象に対する意識調査を実施している。

その結果、高温化のために就寝時に冷房が不可欠になっていると回答した住民は、大阪府では68%、吹田市では52%、箕面市では44%となっている。また、寝不足・ストレスについては各地域とも40%以上の住民が影響を感じていると回答している。これらのことから、府民の生活環境と健康のためにヒートアイランド対策は重要な課題となってきている。

### 2.3.3 大阪府でのヒートアイランド現象の主な原因

ヒートアイランド現象が発生する主な原因としては、一般的には都市化の進展に伴って冷暖房や自動車などエネルギー消費による「人工排熱が増加する」とともに、「農地・緑地・草地の減少で透水面が減り」、「道路舗装・ビルの増加などによって放射熱の吸収・蓄熱が増加し」、「風速が減少する」ことによって、都市域に熱が溜まり高温化すると考えられている。<sup>\*2</sup>

大阪府内では、図-2.2 に示されるように過去10年間では、エネルギー消費量が9%伸びており、その中でも電気や都市ガスの消費が大幅に伸びていることから、それに伴って排熱量も増加してきた。

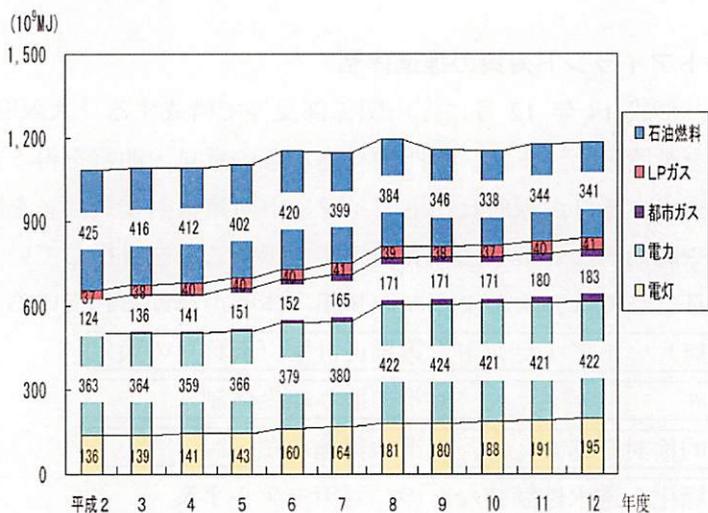


図-2.2 府内のエネルギー消費量の推移（1990～2000年）

また、府内の土地利用状況は図-2.3 に示すように、森林・原野は11%、農用地は42%も減少し、反対に宅地は34%、道路面積は50%増加しており、太陽光による輻射熱や蓄熱が増加していることも明らかである。

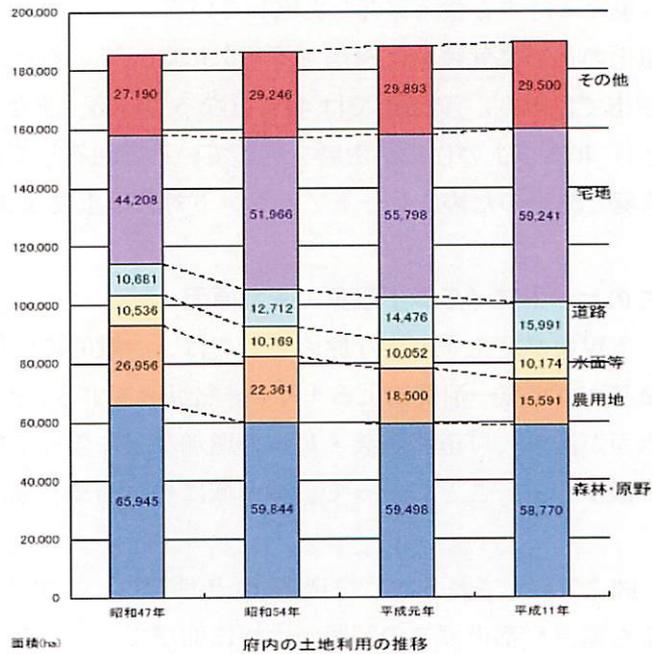


図-2.3 府内の土地利用の推移（1972～1999年）

### 2.3.4 ヒートアイランド対策の推進体制

大阪府では、平成14年12月に庁内関係部長等で構成する「大阪府ヒートアイランド対策推進会議」を設置した。また、専門的見地からの意見・助言を得るため、平成15年度に学識経験者で構成する「大阪府ヒートアイランド対策検討委員会」を設置し、平成16年度を目途に目標や有効的な対策手法や実施手順を示すことを目指している。

主な検討項目としては、次のような取り組み体制が挙げられている。

- ・大阪府ヒートアイランド対策推進計画（仮称）の策定
- ・ 〃 〃 対策の取り組み体制
- ・技術的検討を踏まえた、対策の実施手順
- ・屋上緑化、透水性舗装などの、対策モデル事業

など。

### 参考文献

1. 大阪府ホームページ [http://www.epcc.pref.osaka.jp/ondanka/heat\\_i/iinkai\\_1/3.pdf](http://www.epcc.pref.osaka.jp/ondanka/heat_i/iinkai_1/3.pdf)
2. 環境省「平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について」P.25

### 3. リモートセンシングデータの整備

#### 3.1 本研究で利用したリモートセンシングデータ

リモートセンシングデータの利用については、人工衛星や航空機等のプラットフォームの違い（主に分解能の違い）から、土地利用情報データ取得にも特徴が出てきている。特に、前者では、LANDSAT データから、マクロ～メソスケールでの土地利用や土地被覆情報と地表温度情報の関連性を分析している事例が多く、後者では高分解能の利点を活かして、都市または建築物の都市開発形態（緑被率、画素内緑被率、容積率、屋上アルベド分析）による都市熱環境の分析やHIP\*<sup>1</sup>（ヒートアイランドポテンシャル）解析に応用されている。

本研究では、メソ～ミクروسケールでの都市における土地利用・被覆情報と熱環境によるヒートアイランド解析、都市気候シミュレーションの基礎情報を獲得するために、平成14年8月26日に観測した航空機MSSを用いることとした。図-3.1に航空機MSS観測範囲図を示す。また、航空機MSSデータから作成した合成カラー画像を図-3.2に示す。



図-3.1 航空機 MSS 観測範囲図

表-3.1 航空機 MSS 観測諸元

観測・撮影領域	阪神地区
調査日	平成 14 年 8 月 26 日
観測・撮影時間	11:43~12:32
観測高度	海拔約 3,200m
観測装置	J-SCAN-AT-AZM
地上分解能	4m
観測時の気象 (大阪市)	快晴:気温 34.2℃ 大阪地方气象台



図-3.2 航空機 MSS によるフォルスカラー画像

(R: 近赤外/G:可視赤/B: 可視緑) により合成。植生域は赤色、建物や道路は灰色で現れている。なお、画像右下の白い領域は雲、また、その上の黒い部分は雲影である。)

### 3.1.1 航空機 MSS とは

観測に使用する航空機 MSS とは、波長帯の異なる反射波を検知するセンサを航空機に搭載して飛行し地表面の様々な情報を収集する装置であり、今回の観測に用いた MSS 装置の概要を表-3.2 に示す。

この装置は、可視光から近赤外、中間赤外、熱赤外に至る広い波長域に割り当てられた 43ch の検出器から 12 または 24 チャンネルを選択して観測・記録することが可能であり、今回の観測で採用された収録波長帯の一覧を表-3.3 に示す。

また、瞬時視野角も 2.5mrad と 1.25mrad を切り替えて選択することが可能であり、1.25mrad を選択した場合には、対地高度 800m で 1m の地上解像度で観測を行うことが可能である(図-3.3 参照)。

1 回の飛行コースで観測可能な範囲は、航空機の飛行高度に伴って変わる(図-3.4)。例えば、対地 5,000m 及び対地 500m で飛行した場合の観測幅は、それぞれ約 8,000m 及び約 800m となる。進行方向の範囲には基本的には制限はない。

このほか、この装置はピッチング及びヨーイング方向に対して稼働可能なマウントに装備されており、装置に備え付けられた光ファイバージャイロにより航空機の姿勢変動を検出し、航空機の動揺をうち消す様にマウントを制御して、姿勢変化による歪みを取り除くことができる。また、ローリングについては、走査方式であるため、光ファイバージャイロの信号を利用して、各走査データごとに補正を行う。

表-3.2 搭載観測装置の概要

観測装置	JSCAN-AT-AZM(中日本航空(株)所有)	
検出バンド数	43	波長帯:波長仕様参照
収録チャンネル数	12または24(切り替え:43バンドから選択)	
瞬時視野角	1.25 または 2.5mrad(切り替え)	
走査角度	80°	
走査速度	最高74回転毎秒	
姿勢制御	2軸(ピッチ+ヨー)可動マウント 及びローリング	
量子化レベル	14bit+2bit オフセット(2byte)	
測定温度範囲	低温レンジ	-20~+100℃
	高温レンジ	-20~+500℃
記録方式	PCM,VHS型VLDS	

表-3.3 使用した収録波長帯一覧

収録ch	波長帯 [nm]	収録ch	波長帯[nm]
1	473.5	7	848.3
2	552.5	8	1,037
3	599.5	9	1,494
4	666.9	10	1,590
5	698.3	11	9,245
6	753.2	12	11,815

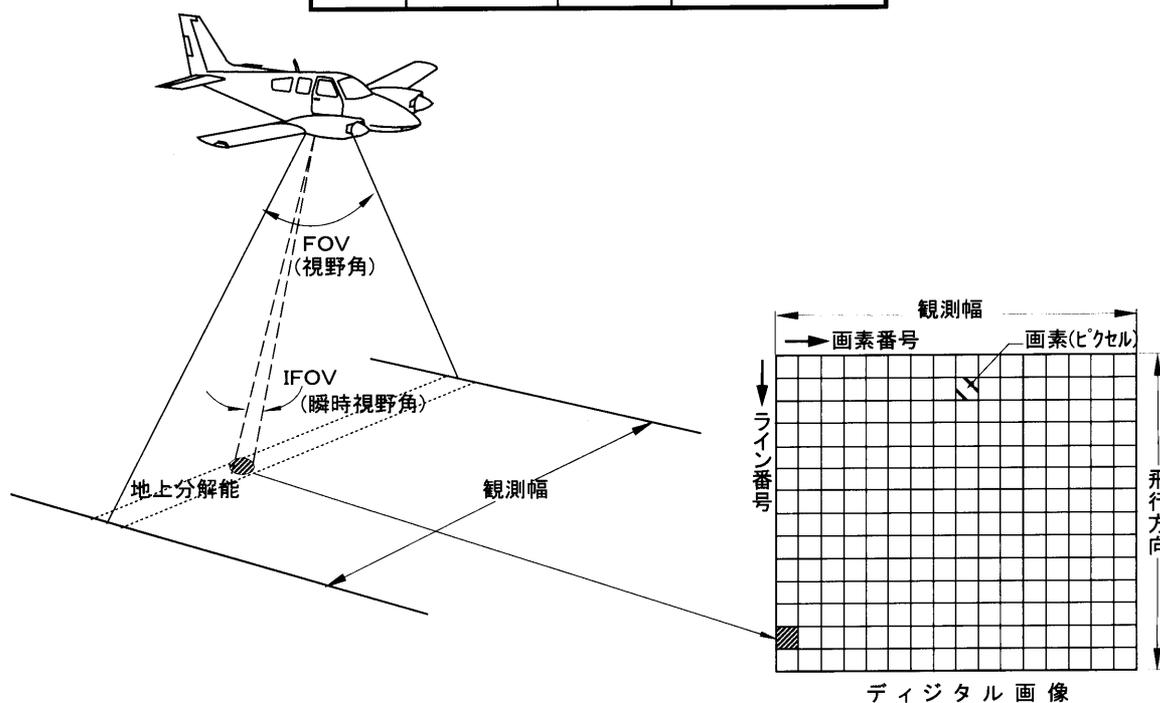


図-3.3 瞬時視野角 (IFOV)

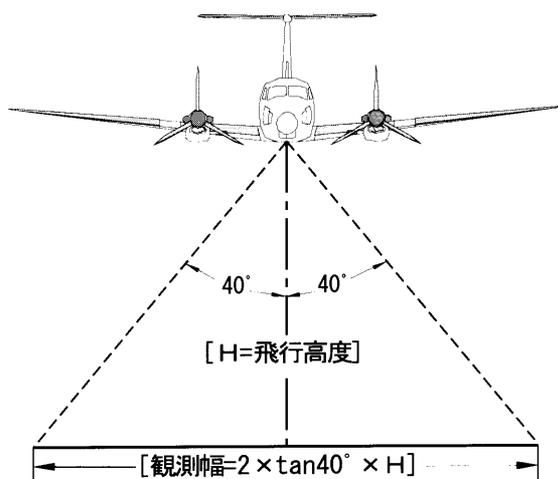


図-3.4 航空機の観測高度と観測幅

### 3.1.2 データの取得方法と変換

MSS データは機上で専用の収録装置 (VLDS) を用いてリアルタイムに収録される。このデータ読み取りは、地上に設置された専用のデータプロセッサを用いて行い、収録データを確認しながら観測地域が収録されている箇所を機上で記録した観測記録と照合しながら、解析装置へダウンロードを行った。

このとき収録した各チャンネルについてデータの欠落等が無いか確認するとともに、指定範囲の切り出しと必要に応じたオーバースキャン補正を行った。オーバースキャン補正は、航空機の対地速度と走査回転数の兼ね合いで、データが冗長にならないよう加算平均などを行う処理であり、図-2.5 のように飛行速度に比較して走査回転数が多い場合、データが重なり合って収録されているので、これを加算平均または間引きを行って調整した。

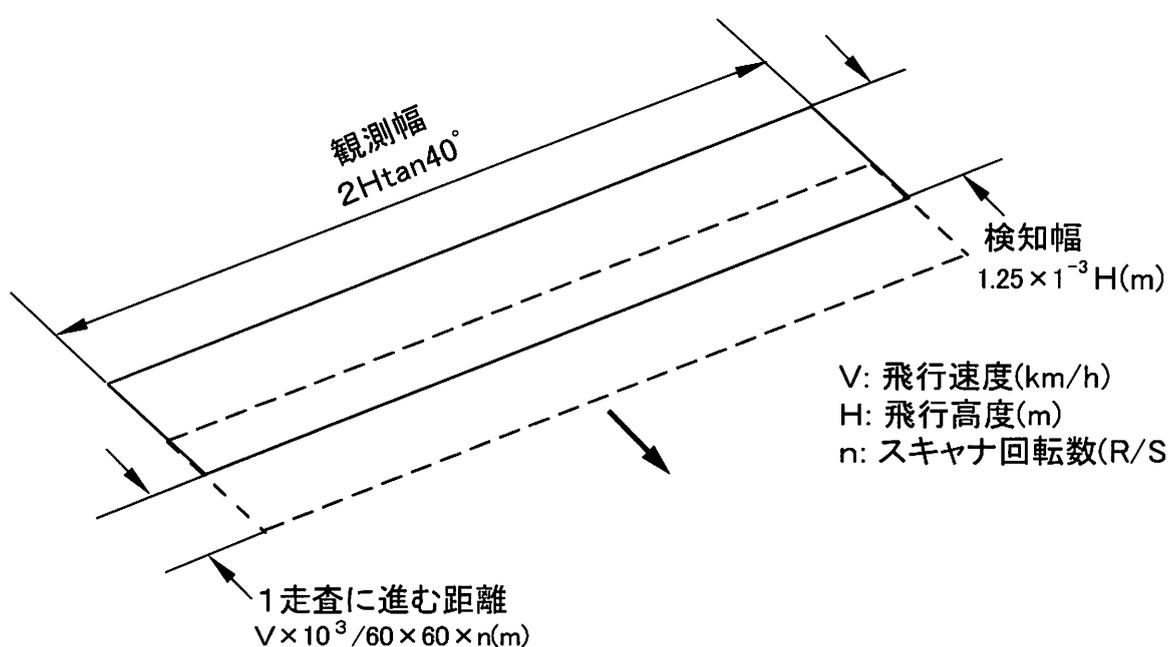


図-3.5 オーバースキャン補正

### 3.1.3 大気補正及び幾何補正

#### (1) 大気（吸収と散乱）補正

地表面に入射した太陽光は、地表面で反射してセンサに到達する過程で大気による散乱及び吸収の影響を受ける。特に、航空機 MSS は走査角が広いため、ミラーの角度によって大気の散乱強度が大きく異なる。

この違いは主に、地表面からセンサまでの光路長の違いと、太陽入射角の違いに起因するので、この影響を取り除く取得波長帯（バンド）ごとの補正を行った。

#### (2) 幾何補正

航空機で観測した MSS 原データには、主に航空機の姿勢変動や飛行経路のずれ等に伴う画像の歪みが含まれており、そのままでは地形図等の他の地理情報との重ね合わせが困難である。

そこで、上記で観測した航空機 MSS データについて幾何補正を行い、地理座標と一致したデータセットを作成した。

##### (a) タンジェント補正

航空機 MSS では、片側  $40^\circ$  の広い走査範囲で観測するため、瞬時視野角  $\theta$  に対する地表面の大きさ（フットプリント）が走査角によりことなり、機体鉛直下より、走査角の両端では大きくなる（図-3.6 参照）。このフットプリントの違いの補正をタンジェント補正と言い、各走査線についてこの違いを補正するためデータのリサンプリングを行った。

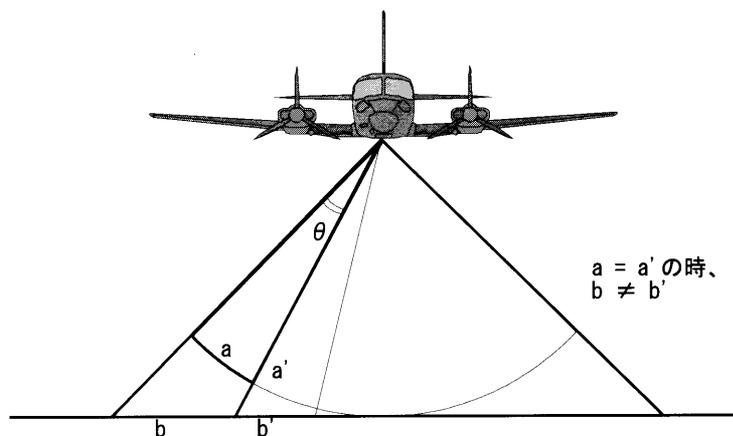


図-3.6 タンジェント補正

##### (b) ローリング補正

MSS プラットフォームである航空機は、気流等の影響を受け姿勢変動を生じる。この変動には左右の揺れ（ローリング）や上下変動（ピッチング）及び首振り（ヨーイ

ング) などがある。

これらの姿勢変動のうち、ローリングについては航空機に搭載した光ファイバージャイロにより姿勢変動を検出し自動補正が施されており、ヨーイング、ピッチングについては、今回の観測装置には光ファイバージャイロと連動した可動マウントを装着しているため、姿勢変動を打ち消したため影響はほとんど無い。

#### (c) DEMによる地形補正

航空機 MSS はミラーを回転させて観測する機構であるため、走査毎に中心投影された映像となり、地形の起伏があると画像に歪みが生ずる。航空機は比較的低い高度で飛行していることや走査角が左右 40 度と広いと、地形の起伏による歪みは無視できない。しかし、この歪みは飛行高度と地表の標高が既知であれば、論理的に補正することが可能であり、今回は国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ (標高) を用いて、航空機 MSS の解像度と同じメッシュに補間した DEM を作成して補正を施した。

#### (d) GCPによる地形補正

MSS のシステムに起因する補正 (オーバースキャン補正、タンジェント補正、放射量補正) を行った後、国土地理院の 1/25,000 の地形図に合わせて地形補正を行った。この補正は MSS 画像と地形図を対比して、同一地点と認識できる点をそれぞれ求め、これを GCP (Ground Control Point) とする。この GCP を画像上に多数とり、GCP 上での位置誤差が最も小さくなるような変換係数を最小自乗法により求める。このとき画像全体で補正を行うと位置誤差を小さくするのに限界があるため、1 コースの画像を数ブロックに分割することで、位置誤差を少なくするようにした<sup>2)</sup>。

### 3.2 グランドツルースとアメダスデータの概要

航空機 MSS 観測と同期して現地調査を行った。グランドツルース（現地調査）は、図-3.1 に示す撮影計画図に基づいて、次の2つの手法で観測した。得られた地表面温度データは、熱映像による地表面温度分布図を作成するための、補正值として採用した。

#### (1) 定点地表面温度観測

平成14年8月26日の撮影実施時間帯は11:43~12:32であり、この時間帯に撮影コース上で30%サイドラップに位置する、尼崎市記念公園(P.1)、大阪市淀川右岸河川敷・十三(P.2)、吹田市中ノ島公園(P.3)の3地点において、熱赤外放射温度計（地表面温度）及びアスマン温度計（気温）による15分ピッチの観測を実施した。放射温度計の放射率(e)は、一律1.0とした。

#### (2) 車輦による移動観測調査

同日に、撮影コースC-1~C-5を東西に横切る道路網に沿って11:20~14:00の間に、大阪市（鶴見緑地花博記念公園）から大阪市街を經由して、放射温度計（地表面温度）及びアスマン温度計（気温）による移動観測調査を実施した（図-3.1参照）。

放射温度計による観測対象地物は、航空機MSSの地上解像度(4m×4m)に準じた面積を一律に有する次の地表面を採用した。

アスファルト道路面、荒地、草地、コンク

リート構造物、スレート屋根(工場)、

運河・河川などを対象とした土地分類と地表物質と表面温度の観測値は、表-3.4に掲載した。

表 - 3.4 地表面温度の移動観測結果

地点番号	測定時刻	土地分類	地表物質	放射温度値℃	気温℃
1	11:21	駐車場	アスファルト	48.3	28.1
2	11:34	道路	アスファルト	54.1	33.6
3	11:45	道路	アスファルト	52.4	32.4
4	11:55	道路	アスファルト	53.4	32.8
5	12:10	道路	アスファルト	48.7	32.9
6	12:17	道路	アスファルト	49.1	33.1
7	12:25	道路	アスファルト	55.2	34.1
8	12:33	道路	アスファルト	53.9	34.1
9	12:38	道路	アスファルト	52.4	34
10	12:41	道路	アスファルト	54.8	34.2
11	13:01	道路	アスファルト	57.3	34.1
12	13:10	道路	アスファルト	58.6	34.8
13	13:21	道路	アスファルト	57.9	34.3
14	13:21	工場(屋根)	スレート屋根	59.2	34.1
15	13:26	道路	アスファルト	55.7	34.1
16	13:28	運河(北堀)	水	29.3	34.1
17	13:33	道路	アスファルト	57.8	34.9
18	13:33	工場(荒地)	土、砂礫	51.5	-
19	13:33	工場(荒地)	土、砂礫	52	-
20	13:45	河川(武庫川)	水	28.8	-
21	13:45	道路	アスファルト	58.4	33.3
22	13:45	草地	草地	39.2	-
23	13:50	運河(西堀)	水	29.2	-
24	13:58	河川(神崎川)	水	28	-

### (3) アメダスデータの概要

平成 14 年 8 月 26 日における阪神地区のアメダスデータは、神戸市、大阪市、豊中市、枚方市で観測・公開されており、これに尼崎市実測値を加えて 5 市の気温推移 (26 日 06 時～27 日 06 時) を取り纏めグラフ化した (図 - 3.7)。

当日の 26～27 日は、殆どの市で熱帯夜を記録しており、アメダスデータによれば最高気温を示す 14:00 の気温は、神戸海洋気象台 32.7℃、豊中市 35.1℃、大阪市 34.5℃、枚方市 35.0℃、尼崎市 34.5℃であった。

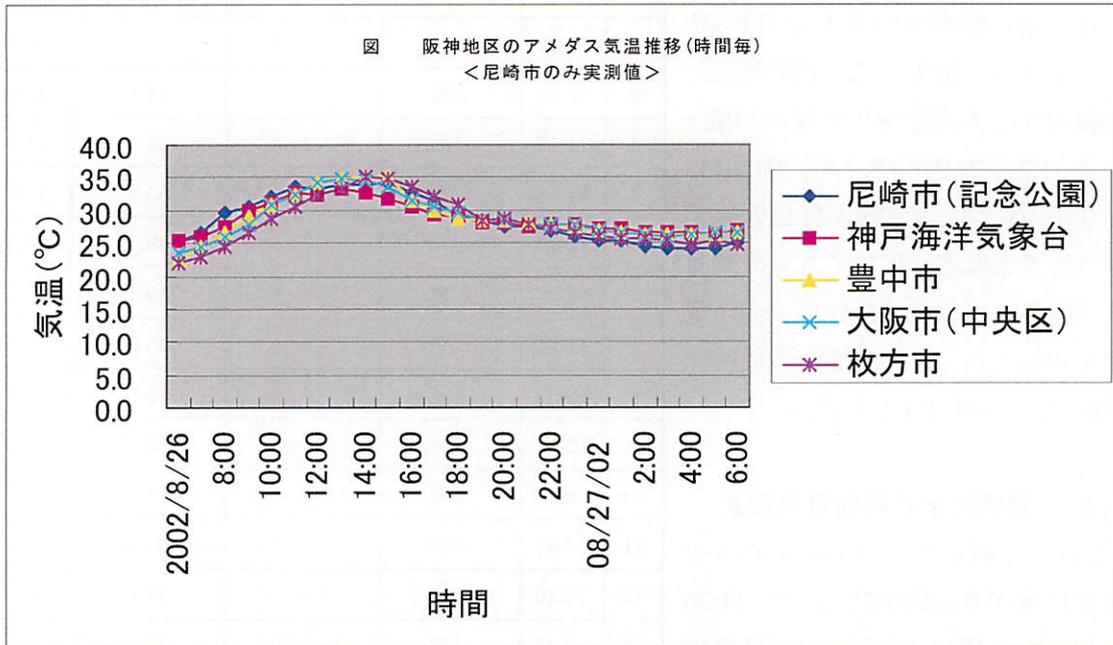


図-3.7 阪神地区のアメダス気温推移

### 3.3 リモートセンシングデータによる各種主題図の作成

航空機リモートセンシングは、個々の構造物や施設を判別できる分解能を有し、かつ広域の放射情報（可視、近赤外および熱赤外域）を得られることから、都市の熱収支シミュレーションや都市熱環境設計の基礎資料としてだけでなく、いろいろな土地利用の熱環境実態を把握する上で非常に有効な手段である。

後述の章で述べる、メソスケールによる都市気候シミュレーション（地表面熱収支計算の3モデル）に適合するように、MSS データの画像処理によって土地被覆分類図、地表面温度分布図、NDVI 分布図等の主題図を作成した。

#### 3.3.1 最尤法（教師付き）による土地利用分類

##### （1）土地利用分類画像

可視・近赤外域の画像データから、地表を構成する物質の異なる反射特性を利用して、解析装置で統計処理を行い、地表面の土地被覆物の分類することが可能になる。

こうした分類手法は様々な手法が提案されており、あらかじめ分類項目を設定し、その基準（教師）地域を与えて、その統計量に基づき分類を実施する方法（教師付き分類 Supervised Classification）と、カテゴリー区分も自動で行う分類方法（教師無し分類 Clustering）に大別されるが、今回は前者を採用した。分類の概念を図-3.8 に示し、初期作成された阪神地区土地利用分類画像を、図-3.9 に示した。

分類項目は①水面、②樹木、③草地、④裸地、⑤道路、⑥コンクリート、⑦建物（構造物）、⑧雲、⑨影、⑩焼け跡として、それぞれの分類クラスについて定義したトレーニングエリアの統計特性に基づいた分類基準で土地利用分類を行った。

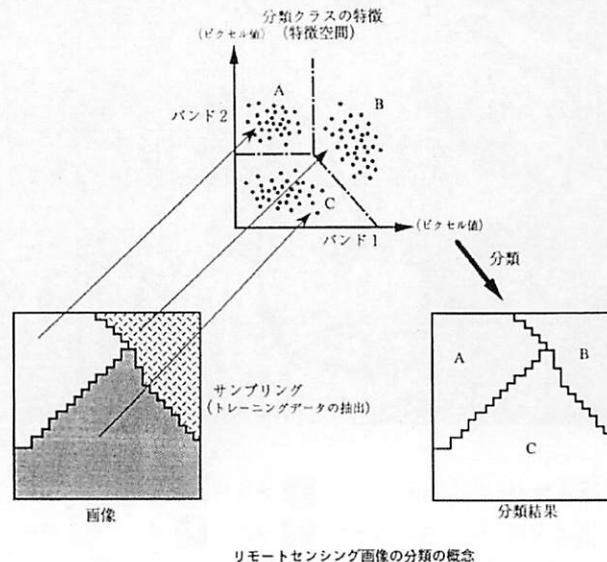
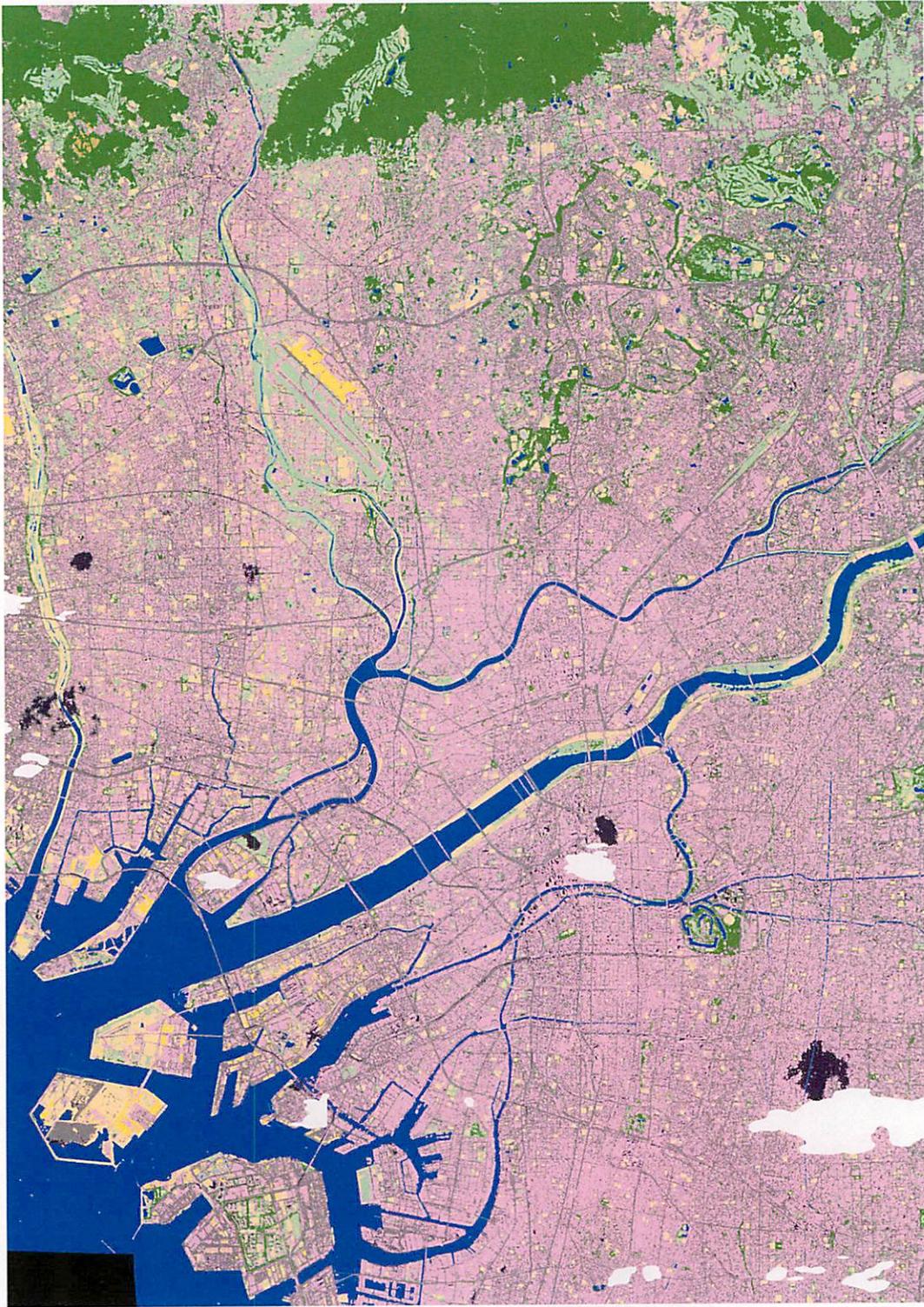


図 - 3.8 最尤法（教師付き）による土地分類概念図\*4



<凡例>

建造物	裸地	水面	草地	雲
道路	コンクリート	樹木	陰	焼跡

図-3.9 阪神地区土地利用分類画像

### 3.3.2 熱赤外データによる地表面温度図の作成

あらゆる物体はその物体の絶対温度の4乗に比例したエネルギーを放射している（シュテファン・ボルツマンの法則）。航空機 MSS では、地表面からの放射エネルギーを測定する。

$$E = \sigma T^4 \quad \sigma : \text{シュテファン・ボルツマン定数} \quad (3.1)$$

また、黒体の単位表面積から単位時間に放射される単位波長幅のエネルギー（放射輝度） $B_\lambda$  はプランク放射法則により、温度と波長の関数での式（3.2）で表される。（図解リモートセンシング）

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(hc/\kappa\lambda T)^{-1}} \quad (3.2)$$

$B_\lambda$ : 黒体の分光放射輝度 ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}^1$ )

T: 黒体の絶対温度 (K)

$\lambda$ : 波長 ( $\mu\text{m}$ )

C: 光速  $2.998 \times 10^8$  (m/s)

h: プランク定数  $6.626 \times 10^{-34}$  (J·S)

$\kappa$ : ボルツマン定数  $1.380 \times 10^{-23}$  (J/K)

MSS では、このエネルギーを計測するが、今回用いた観測装置 (AZM) は、7960–10530、10960–12670 の、2つ熱赤外バンドを有している。この波長帯は、常温付近での放射エネルギーが高く（図-3.10）、大気の透過率も高い（図-3.11）ため、地表面温度の計測に適している。

AZM では、このバンドに対し基準黒体を用いた校正を行っており、放射エネルギーを地表面温度に換算することが可能である。しかし、大気中に含まれている、水蒸気などによる吸収の影響を受けるため、測定値は実際の温度より低い値を示す。

この影響を補正するためには、大気中の正確な水蒸気量を測定する必要があるが、地表面から航空機の飛行高度までの正確な水蒸気量分布を測定することは困難である。

そこで、航空機観測と同期して地表で温度測定を行い、その結果を基に温度校正を行った。測定は、放射温度計により航空機観測の前後1時間で行った。この際、航空機 MSS の解像度を考慮し、観測時の空間分解能 4m より十分広い均一な地表面を選んだ。なお、放射温度計による温度測定においては、対象物の放射率を設定する必要がある。代表的な物質の放射率は水が 0.96、乾いた土が 0.92、湿った土が 0.95 など（\* 1 熱赤外リモートセンシングの技術と実際）で実際には 1.0 ではないが、航空機からの観測では地表の多様な物質を

同時に測定していることから、一義的に 1.0 と仮定した。

図-3.12 は、地上測定結果と MSS データの相関分析結果である。今回は相関係数が 0.99 と高い結果が得られた。こうして得られた地表面温度が図-3.13 である。放射率がグランドツルースとしたアスファルトや水などと比較的近い値を示す物質については、大気の影響を補正したほぼ正しい表面温度が得られたと考えられる。ただし、反射率の高いアルミやステンレスなどの金属表面については、実際より低い値として現れている。たとえば、大阪ドームなどは 20℃以下として現れているが、実際の表面温度はもっと高温であると推定される。

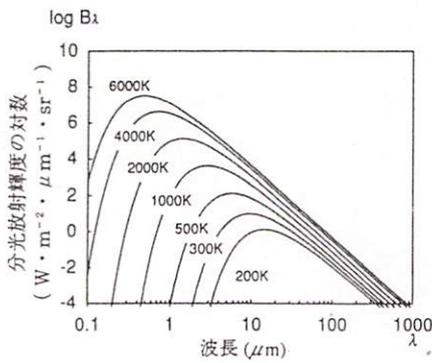


図-3.10 黒体の分光放射輝度  
(出典：図解リモートセンシング)

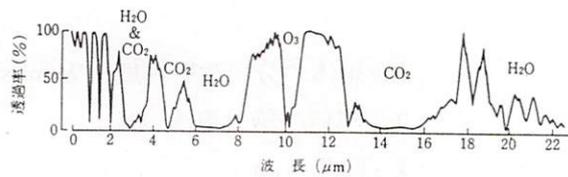


図-3.11 大気分光透過特性  
(出典：図解リモートセンシング)

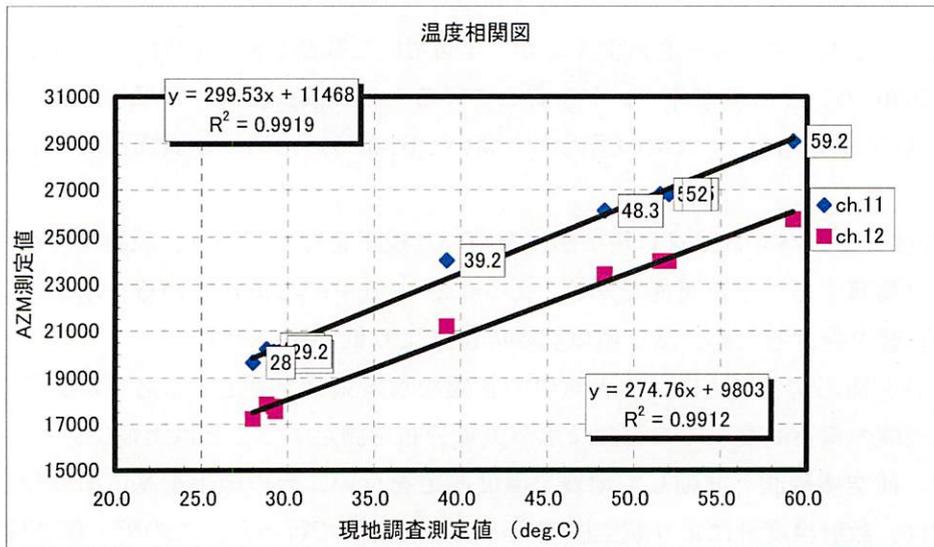


図-3.12 現地調査測定値と MSS データの相関図

阪神地区 航空機MSSデータ 地表面温度分布画像

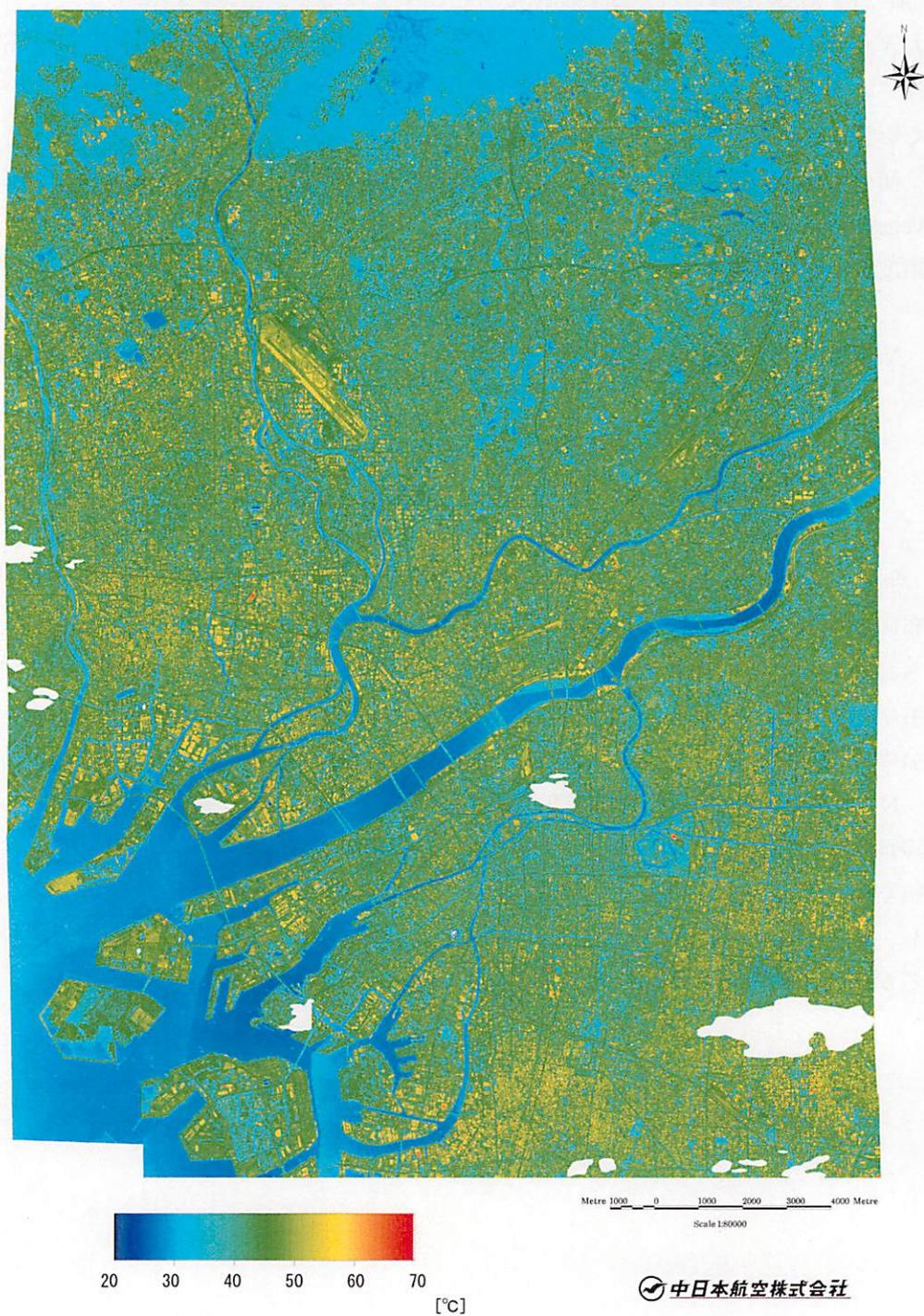


図-3.13 航空機 MSS による阪神地区地表面分布画像

### 3.4 地表面温度傾向と土地被覆

#### 3.4.1 NDVI との関連

航空機 MSS で得られた地表面温度分布結果をみると、土地被覆により地表面温度に大きな違いがあることがわかる。これは、主に地物の物性や形状などによる違いが現れていると考えられる。水域をのぞけば温度の差は緑に覆われているかどうかが大きく影響する。

植生の分布状況を表す指標として、正規化植生指数（NDVI : Normalized Difference Vegetation Index）が知られている。これは、可視光域の赤色バンドと近赤外域バンドの輝度値から次式で定義される。

$$NDVI = (R_{IR} - R_{VR}) / (R_{IR} + R_{VR}) \quad (3.3)$$

$R_{IR}$  : 近赤外域の分光放射輝度

$R_{VR}$  : 可視赤域の分光放射輝度

今回の観測地域について航空機 MSS で観測された  $R_{IR}$  と  $R_{VR}$  のデータから NDVI の分布図を作成し（図-3.14）、地表面温度と比較した（図-3.15）。NDVI は、北部の山林で最も高く、次いで北部の吹田市周辺に比較的高い地域が分布する。吹田市周辺では、緑被率が高くなっている。一方、南部の大阪市や尼崎市周辺では、NDVI は低く、大阪城公園や河川敷を除けば緑地は非常に少ないことがわかる。

NDVI が大きいほど地表面温度が低い傾向がみられ、その相関係数は 0.58 であった。緑地は主に葉の表面や土壌からの蒸発散の際に気化熱を奪われるため温度が低くなり、航空機で観測する表面温度が低くなる。この傾向は、高い NDVI で顕著である。しかし、低い NDVI ではばらつきが大きい。この理由として、植生以外の何で覆われているかや日陰の割合の違いなどが影響しているものと考えられる。

阪神地区 航空機MSSデータ 正規化植生指数 (NDVI) 画像

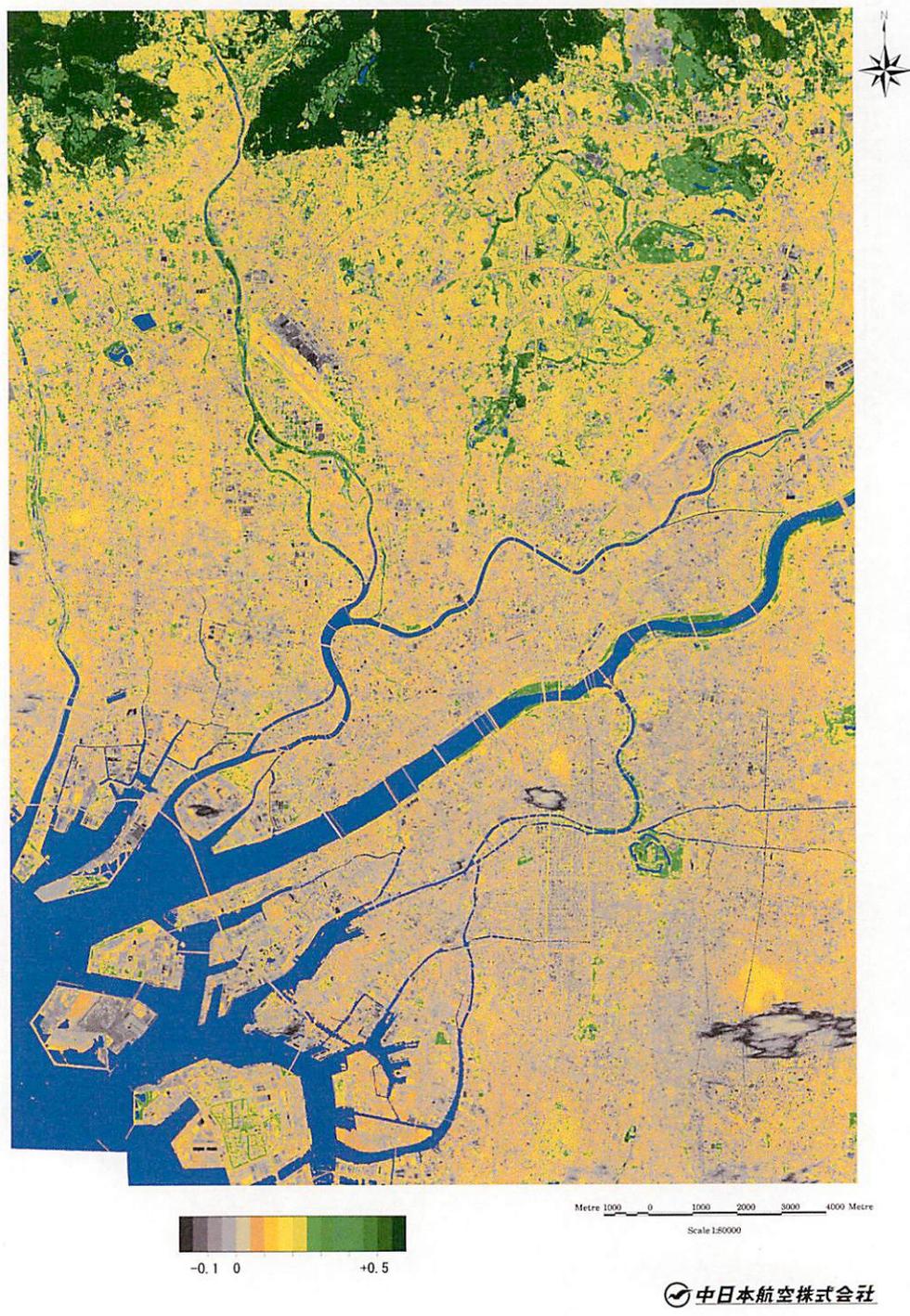


図-3.14 NDVI 分布図

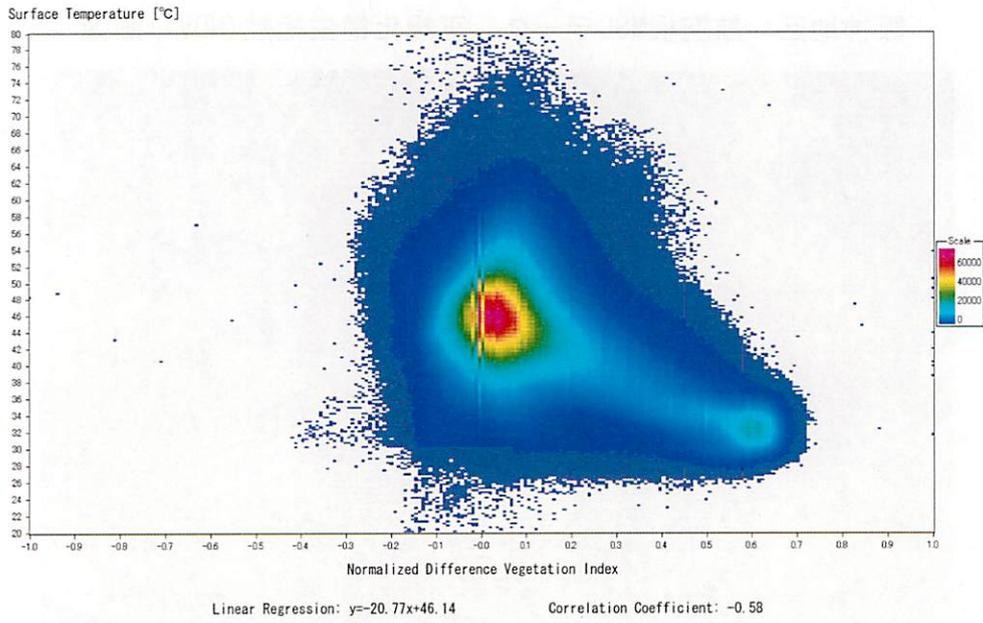


図-3.15 NDVI と地表面温度の関係

### 3.4.2 アルベドとの関係

同じ土地被覆として分類した建造物でも、トゥルーカラー画像を詳細に見ると明るく見えるものと暗く見えるものがある。日中、太陽が入射した状態での地表面温度は、太陽の全入射光に対する反射光の比（アルベド）と関係があるといわれている。

そこで、今回航空機航空機 MSS データを用いて観測地域のアルベドの算出を試みた。そのため、今回は MSS データの可視から近赤外域までのデータの放射輝度値を求め、パングロマティック画像（図-3.17）を作成した。この放射輝度値と入射照度の比がアルベドとなる。

しかし、入射照度の実測値が無いことや、航空機で観測した反射輝度もセンサに到達するまでに大気の減衰を受ける。これらの推定のためには、大気モデルを用いて補正を行う方法があるが、どのモデルを適用するのが良いのか、また、大阪地区という大都市圏で大気汚染の影響も問題などがあり、今回はアルベドの算出までは行わず放射輝度値の算出に留め、この輝度値と温度の比較を行うことにした。

そこで、建物と分類された場所において、放射輝度と地表面温度の関係を調べた。結果を図-3.16 に示す。その結果、ばらつきは大きいものの、建物の輝度が高いほど表面温度が低くなるという関係が見られた。このことは、日射の影響を受ける日中は、反射率の高い建物ほど太陽熱の吸収を受けにくく温度の上昇が少ないということと整合している。

しかし、この図からもわかるように、反射輝度が低く温度も低い場合には、逆の傾向も見られる。これについては、建物として分類された項目に、日陰の部分が含まれているためと考えられる。日陰で反射輝度が低い場所では当然温度も低くなる。もし、日陰の部分を除去して同じ検討を行えば、反射輝度が高いと温度が低いという関係はさらにはっきりすると思われる。

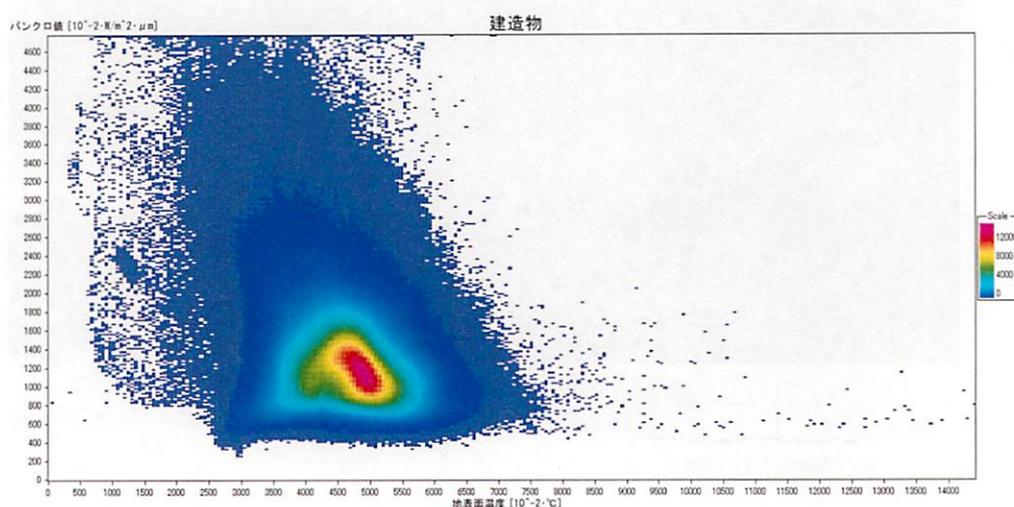


図-3.16 放射輝度と地表面温度の関係

阪神地区 MSS調査 パンクロマチック画像



Metre 1 0 1 2 3 4 Metre  
Scale 1:110,000

0 47 [W/m<sup>2</sup>·μm]

図-3.17 航空機 MSS 阪神地区パンクロマチック画像

### 3.5 メッシュデータの作成

航空機 MSS データから求めた土地被覆分類と地表面温度分布について、国土数値情報と細密数値情報との関連をはかるため、これらをメッシュデータに変換した。この2つの数値データは、国土地理院発行の1/25,000地形図の区画を基に細分化されている。航空機 MSS データも座標系は1/25,000地形図に併せて幾何補正したため、もともと同一座標系であるが、航空機 MSS データ、解像度4mのメートル単位で作成されているのに対し、前者は緯度経度単位で区切られたデータとなっている。

そこで、航空機 MSS データをいったん緯度経度単位のデータに再配列し、これをそれぞれの大きさのメッシュに再構築した。作成したメッシュサイズは、1km,500m,250m,100m,40mの5種類である。

メッシュデータはメッシュの位置を示すメッシュ番号と、その内部に含まれる土地利用の割合または平均地表面温度で、国土数値情報のフォーマットに準拠した形式で作成した。

#### 参考文献

1. 尹 敦奎・梅干野 晁：都市域における画素内緑被率推定のための指標、日本リモートセンシング学会誌 Vol.18 No.3 (1998) pp.4-16
2. 宮坂聡、大野敏郎、梅干野晁、尹 敦奎：航空機 MSS データのレジストレーション精度向上のための一手法：日本リモートセンシング学会（平成9年度秋季学術講演会）
3. 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング，（社）日本測量技術協会，1992
4. 渡辺 宏：最新森林航測テキストブック，（社）日本林業技術協会，1993
5. 土屋清編著：リモートセンシング概論，朝倉書店、1990

#### 4. 異なる基データによる土地利用情報の相違

本研究に用いた、国土数値情報、細密数値情報、航空機 MSS の 3 種類の土地利用データについて、それぞれの土地利用状況の特徴を表-4.1 にまとめてみた。これら 3 種類のデータは、整備目的および整備方法、メッシュサイズが異なるため、必ずしも同じ分類カテゴリーにはなっていない。しかしながら、解析プログラムの都合上、その中で類似性の高いものを同一カテゴリーとして対応させて解析が行われた。このため、データの解析に当たっては、これらのデータの共通点および相違点を正しく認識しておく必要がある。以下に、それぞれの対応関係、特徴・利点などについて比較検討を行った。

表-4.1 3種類の土地利用データの特徴

基データ	整備の目的	作成方法	メッシュサイズ	その他
国土数値情報	国土に関する諸計画策定あるいは事業実施に資するため。	1/25,000 地形図と空中写真判読	1km (3次メッシュ)	
細密数値情報	宅地等の利用の現況及び変化の状況を詳しく把握するため。	1/2,500 都市計画基図と空中写真判読	100m (1/10 細分メッシュ)	
航空機 MSS	現状の土地利用状況を把握するために実施。	地表の反射スペクトルを基に分類。	4m <sup>*1</sup>	土地被覆

\* 1 : 飛行高度による。今回用いたデータは 4 m

#### 4.1 異なるデータによる土地利用分類の対応

表-4.2～表-4.4 は、それぞれの土地利用分類データにおける分類項目の定義を示したものである。今回は、これらの異なる土地利用分類結果を用いて、メソスケールモデルを用いた気流解析や1 界面モデルを用いた地表面温度計算を行ったが、この際に用いた各土地利用分類の対応関係を表-4.5 にまとめた。基本的には、国土数値情報のカテゴリーにどう対応するかを示したものである。なお、各カテゴリーの番号は、カテゴリー数を示すためのもので、必ずしも基データのカテゴリー番号を意味しない。

表からわかるように、それぞれの分類区分はまちまちで、ほぼ一致する区分もあるが、全く対応しない区分もある。特に、航空機 MSS による区分は、地表からの反射スペクトルに基づく土地被覆の区分であるため、他の 2 つのデータとはかなり意味合いが違うものがある。特に利用目的による公園緑地や工場用地などの分類には対応していない。

しかし、細密数値情報の公園緑地には樹木だけでなく、グラウンドの他、駐車場や管理用の建物など物性適には全く異なる項目が含まれるのに対し、リモートセンシングでは、樹木、草地、裸地、アスファルト及び建物という物性に対応した分類項目となっている。

また、同じように主題図や写真判読を利用して作成した情報であっても、整備目的が異なるため、細密数値情報では建物用地が細分されているが、それ以外の項目では、森林と荒れ地を同じ項目にしたりするなど、建物用地以外では統合させている項目が多く、整備目的の分類項目に重点が置かれた内容になっている。

表-4.2 国土数値情報における土地利用区分の定義

(出典:数値地図ユーザーズガイド)

《土地利用区分の定義》

No	区分	細区分	定義
1	田	田	湿田、乾田、沼田、蓮田および田をいい、季節により畑作物を栽培するものを含む
2	畑	畑	麦、陸稲、野菜等を栽培する土地をいい、牧草を栽培する草地、芝地等を含む
		空地（一部）	家屋周辺の樹木その他の植物の存しない土地をいう（明確に空地と判断できるものは畑としない）
3	果樹園	果樹園	りんご、梨、桃、ブドウ等の果樹を栽培する土地をいう
4	その他の樹木畑	桑畑、茶畑	桑、または茶を栽培している土地をいう
		その他	桐、はぜ、こうぞ、しゃろ等を栽培する土地および苗木畑
5	森林	広葉樹林・竹林・針葉樹林・しゅろ科樹林	高さ2m以上の多年生植物の密生している地域をいう。ただし、植林地帯等においては、樹の高さが2m以下であっても森林とする
		はい松地	はい松、またはわい松の成育している土地
6	荒地	しの地	高さ2m以下の竹、笹の密生している土地
		荒地	雑草地、裸地等をいい、湿地、沼地等で水草が点々と生えている地域を含む
		崖（土・岩）	土砂の崩壊等によってできた急斜面をいい、人工的に作られた急斜面を含む
		岩	その上部を地表に露出する岩石および地上に散在する岩石等をいう
		万年雪	平均並みの気候状態にあって積雪が残雪もしくは水塊として越冬するもの
		湿地	常に水を含んだじめじめした土地で、雨期には水をたたえるところをいい、沼地等を含む
7	建物用地	総描建物	住宅地、市街地等で建物が密集していて個々の区別がつきにくい場合、これを総描して表示した建物
		独立建物／大	工場、学校等個々の区別がつけられつもの、または区別する必要のある建物（長辺50m以上）
		高層建物	3階以上の独立建物
		住宅団地	住宅団地（長辺50m以上）は街区全域を計上
		建物類似の構築物	飛行場の格納庫、倉庫、市場、競技場の観覧席、畜舎、温室、側壁のない建物、鉄道、道路の雪おい場等の建物
		独立建物／小	長辺50m以下の独立建物
		2戸以上の家屋	2戸以上の独立建物（小）が近隣（相互間隔13m未満）しているときは総括して計上する
9	幹線交通用地	鉄道	鉄道、駅舎、操作場、側線等の鉄道上関連する敷地
道路		幅員11m以上の記号道路、幅員25m以上の真幅道路、幹線道路に付随するインターチェンジ、駐車場等の用地	
10	その他の用地	空地	家屋の周辺の樹林、その他の植物等の存しない土地をいい、学校や工場の敷地、港湾地区、人工造成地等の空地を含む

表-4.3 細密数値情報における土地利用区分の定義(1)

(出典:数値地図ユーザズガイド)

《土地利用コード・近畿圏》

コード	分類区分		定義
01	農地・山林等	山林・荒地等	樹林地、竹林、藪地、笹地、野草地(耕作放棄地を含む)、裸地 ゴルフ場等
02		田	水稻、蓮、くわいなどを栽培している水田(短期的な休耕田を含む)をいい季節により畑作物を栽培するものを含む
03		畑・その他の農地	普通畑、果樹園、桑園、茶園、苗木畑、牧場、牧草地、採草放牧地、畜舎、温室等の畑及びその他の農地。
04	造成地	造成中地	宅地造成、埋立等の目的で人工的に土地の改革が進行中の土地
05		空地	人工的に土地の整理が行われ、現在まだ利用されていない土地及び簡単な施設からなる屋外駐車場、ゴルフ練習場、テニスコート、資材置場等を含む
06	宅地	工業用地	製造工場、加工工場、修理工場、採掘場、採石場、発電所、ガス製造工場などの用地をいい、工場に付属する倉庫、原料置場、生産物置場、厚生施設等も含む
07		一般低層住宅	3階以下の住宅用建物からなり、1区画あたり100㎡以上の敷地で、建物の密集していない住宅地をいい、農家の場合は屋敷林を含め1区画とする
08		密集低層住宅	3階建以下の住宅用建物からなり、1区画 100㎡未満の敷地で、建物の密集している住宅地
09		中・高層住宅地	4階建以上の中高層住宅の敷地からなる住宅地
10	商業・業務用地	小売店舗、スーパー、デパート、卸売、飲食店、映画館、劇場、旅館・ホテル等の商店、娯楽、宿泊等のサービス業を含む用地及び企業の事務所、銀行、新聞社、放送局、流通施設、その他これに類する用地	
11	公共施設用地	道路用地	有効幅員4m以上の道路、駅前広場等で工事中、用地買収済の道路用地も含む
12		公園・緑地等	公園、緑地、動・植物園、墓地、寺社の境内地、遊園地等の公共的性格を有する施設及び、総合動場、競技場、野球場等運動競技を行うための施設用地
13		その他の公共施設用地	公共業務施設、教育文化施設、供給処理施設、社会福祉施設、鉄道用地、バス発着センター、車庫、港湾施設用地、空港等の用地
14	河川・湖沼等	河川(河川敷、堤防を含む)、湖沼・溜池、養魚場、海浜地	
15	その他	防衛施設、米軍基地、基地跡地、演習場、皇室に関する施設及び居住地等	
16	海		
17	対象地域分		
19	第1時期土地利用データなし		第1時期データがなく、第2,3,4時期データがあるとき、TDK-111-2.TDK-112-1.TDK-113.TDS-102.TDS-401の第1時期土地利用データ欄に記入されるコード

(注) 「18」は欠番。「16」「17」については行政区域ファイルについても使用

表-4.3 細密数値情報における土地利用区分の定義 (2)

(出典：数値地図ユーザーズガイド)

第3編 数値地図ユーザーズリファレンス

No.	区分	細区分	定義
10	その他の用地	その他	ゴルフ場、運動競技場、空港、競馬場、野球場等の特定地区で、建物および水部を除く部分
11	内水地	湖沼・池	自然湖、人造湖、池、養魚場等で平水時において常に水をたたえているところ（河川区域内の人工湖は含まない）
		河川敷（人工利用地は除く）	河川区域の河川敷（低水・高水敷、堤防、河川管理施設等）および地形図による河川敷人工利用地は含まない
		河川敷内の人工利用地	河川敷内にある区分1、2、3、4、7、である区域および10のうち荒地および用途が判断できない空地を除く区域
14	海浜	海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域
15	海水域	海水域	隠岩、干潟は海水域、海水域の水面利用も海水域、シーバースも含む

(注) コード08 12及び13は欠番

(注) この定義表は、土地利用のファイルで用いられている分類区分に対応している。その他のファイルで用いられている土地利用の分類とは以下の点に違いがあるが、定義は同じである。

No.	区分	細区分	上表での区分
07	建物用地(A)	総括建物 独立建物(大) 高層建物	07 建物用地
		住宅団地 建物類似の構築物	
08	建物用地(B)	独立建物(小) 2戸以上の家屋	
11	湖沼	湖沼・池	11 内水地
12	河川地 (A)	河川敷(人工利用地は除く)	
13	河川地 (B)	河川敷内の人工利用地	

表-4.4 航空機 MSS データによる土地被覆分類区分の定義

No.	区分	区分の定義
1	草地	草地、ゴルフ場、耕作地等
2	樹木	森林、街路樹等
3	焼け跡	山火事による焼け跡
4	裸地	裸地、グラウンド（土）等
5	建造物	住宅、工場、その他建造物
6	アスファルト	道路、駐車場など
7	コンクリート	空港駐機場、埋め立て地（反射率高）
8	水面	海水、河川、池等
9	雲	雲
10	雲影	雲による地表の影

表-4.5 土地利用区分の対応

国土数値情報		細密数値情報		リモートセンシング (航空機 MSS)	
1	田	1	田	1	草地
2	畑	2	畑・その他農地		—
3	果樹園		—		—
4	その他樹木畑		—		—
5	森林	3	森林・荒地等	2	樹木
6	荒地地		—	3	焼け跡
				4	裸地
7	建物用地	4	工業用地	5	建造物
		5	一般低層住宅地		
		6	密集低層住宅地		
		7	中高層住宅地		
		8	商業・業務用地		
		9	その他の公共施設用地		
8	幹線交通用地	10	道路用地	6	アスファルト
9	その他の用地	11	公園・緑地等	7	コンクリート
		12	その他		
10	内水地	13	河川・湖沼等	8	水面
11	海浜		—		—
12	海水域	14	海	8	水面
	不明		—	9	雲
				10	雲影

\*この区分は基本的な組み合わせを示しており、実際には若干パラメータを変えて対応したところもある

## 4.2 異なるデータによる土地利用分布の特徴及び利点

3種類のデータのもっとも大きな相違点はメッシュサイズの違いによるものである。4mの解像度のMSSデータから作成した土地被覆分類データでは、小規模な緑地等がよく現れている。細密数値情報でも公園緑地の項目はあるが、公園内の緑地の分布などは現れていないのに対し、公園や河川敷の緑の分布が良く現れている。また、住宅地周辺の街路樹等も一部現れている。

また、道路についてもMSSによる分類結果では、幹線道路以外の道路も分類できているが、分光特性を利用した統計的な分類であることから、分類精度は90%あれば高い方であるといえる。特に瞬時視野の中にいろいろな地物が混じり合った状態では、分光特性も混ざり合うため誤分類の原因になる。今回の分類結果でも、一部で橋が建物にされている等の誤分類が見られる(図-3.1)。この他、学校などの公共施設も細密数値情報では1つの分類であるが、MSSでは裸地(校庭)と建物(校舎)に分類されており、分類手法の違いも現れている。

国土数値情報や細密数値情報は約10年に一度程度の更新頻度しかない。これに対し、リモートセンシングによる土地被覆分類はデータが入手できる範囲で最新の情報を得ることができるが、データ整備には費用がかかることになる。今回は航空機を用いたが、人工衛星データを用いれば、解像度はもう少し劣るが費用はかなり少なく済む。

これらの特徴や利点をまとめたのが表-4.6であるが、各土地利用の利点欠点を良く認識した上で、データを利用する必要がある。

表-4.6 異なるデータによる土地利用分布の特徴及び利点

項目	国土数値情報	細密数値情報	航空機MSS等の リモートセンシング
解像度	低い(1km)	中程度(100m)	高い(数m~数10m)
整備地域	日本全国	大都市近郊	指定区域
更新の時間	約10年	約10年	随時
データの精度	高い	高い	やや劣る
分類項目の有意性	有意性は高いが、建物が1区分しかない、また、その他用地にゴルフ場と空港が混在するなどやや項目数が不足している。	有意性はかなり高い。しかし、森林に荒地が含まれるなど都市計画に偏った分類となっている。	地表の物性や形状などは良く反映しているが、利用目的などの情報がない。用途に即した分類が可能。
費用	安価	安価	やや高い

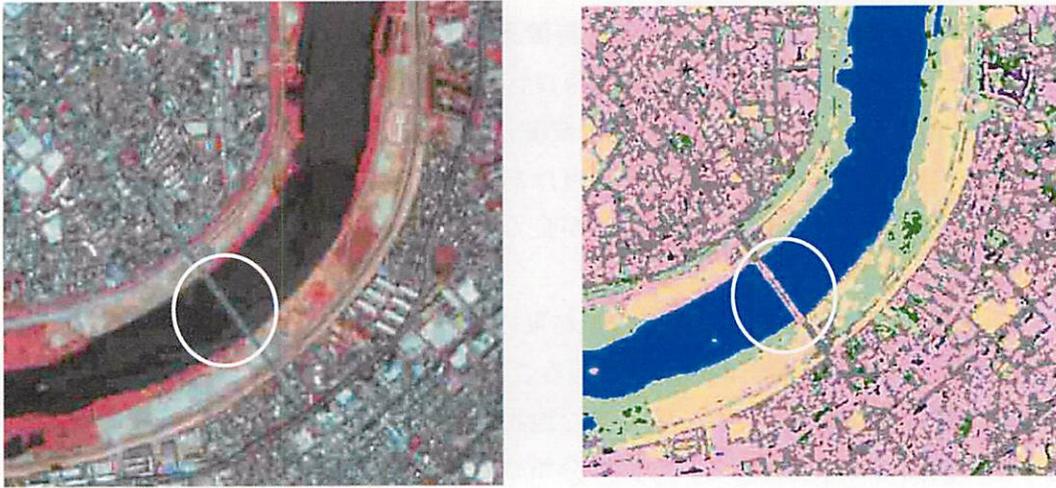


図-4.1 航空機 MSS による土地被覆分類での分類状況

\*概ね正しく分類されているが、例えば橋が建物になる等の誤分類もある。

参考文献

1. 国土交通省国土地理院監修,数値地図ユーザズガイド,財) 日本地図センター,1998

## 5. メソスケールモデルを用いた気流解析手法

### 5.1 解析概要

ヒートアイランド現象を数値シミュレーションにより解析する研究はこれまでもいくつかの研究グループによって行われている<sup>1)~6)</sup>が、こうした数値シミュレーションの精度向上には、数値シミュレーションモデルや数値計算手法にもまして入力データである土地被覆データの精度も重要な課題である。本章では、土地被覆データの違いがメソスケール大気シミュレーションの結果に及ぼす影響を検討するために行った、航空機MSSデータ、国土数値情報及び細密数値情報のデータを用いた阪神地区の気流解析の概要を示す。

#### 5.1.1 解析領域およびメッシュ分割

図-5.1に示す関西地域を中心とした450km(x)×450km(y)×9.6km(z)を対象としてこの領域内に表-5.1に示す3段階のgridを設定し、ネスティングを行った。ネスティングとは、大きな領域を粗いメッシュで解析し、その結果を境界条件として内側の領域はより細かなメッシュを用いて解析する手法である。grid3はMSS観測領域(図-5.2)を中心に全方位に拡張した領域で、入力データ毎に表-5.2に示すcase1からcase3の計算を行った。なお、grid1、grid2は国土数値情報を利用し、grid3においても図-5.2に示す観測領域以外は国土数値情報を利用した。

各gridは計算領域および水平方向メッシュ幅は異なるが、鉛直方向は同一のメッシュ分割とし、全grid共に地表面から高度9.6kmまでの大気を不等間隔な49メッシュ(地表に接する大気側メッシュ幅20m)に分割している。また、地表より地下は深さ1mまでを不等間隔な5メッシュ(地中第1セルの幅5mm)に分割している。

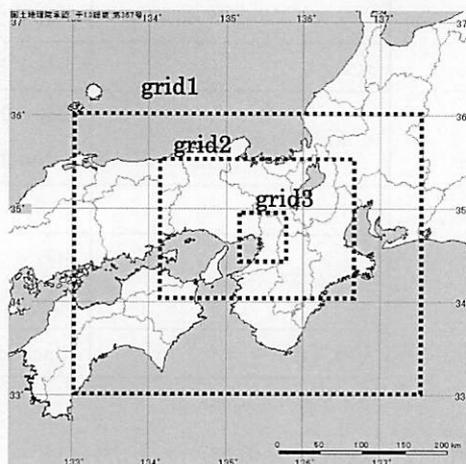


図-5.1 解析対象地域

表-5.1 解析範囲

		計算領域 (x×y×z)	メッシュ 分割数	水平方向 メッシュ幅
grid1	中部、近畿、 中国、四国地方	450×450×9.6[km]	45×45×49	8[km]
grid2	近畿地方	200×180×9.6[km]	50×45×49	4[km]
grid3	大阪府	40×43×9.6[km]	40×43×49	1[km]

表-5.2 土地利用データ

case	データ
case1	国土数値情報
case2	細密数値情報
case3	MSS データ



図-5.2 MSS 観測領域

### 5.1.2 解析条件

解析は8月25日06:00から28日12:00までの時間積分を行い、26日00:00から27日00:00までの結果を評価対象とした。また、上空の風向風速は南風1m/sec（地上9.6kmにおいて）とした。海水面温度は実測値から28℃とし、時間変化は無いものとした。他の条件については表-5.3に示す。

数値気候モデルは次項に記すMellor-Yamadaモデルのレベル2.5を利用した。また、実際の解析に際してはSoftware Platform<sup>7)</sup>のメソスケール解析機能を使用した。

表-5.3 各種設定条件

項目	内容
時間積分ステップ幅 $\Delta t$	grid1 : 30 秒 grid2 : 15 秒 grid3 : 2.5 秒
天気	雲量 1 と設定
初期温位分布	標高 0.0m で温度 26℃、全層で $\gamma_1=0.0050\text{K/m}$ 、 $z_1>5000\text{m}$ : $\gamma_2=0.0040\text{K/m}$ の温位勾配で初期温位を与えた。
人工排熱	道路部分 : 100W/m <sup>2</sup> 建物 : 50W/m <sup>2</sup>
初期水蒸気分布	水蒸気は地表面での相対湿度を 70%とした McClatchey のモデル、 3000m 以上で相対湿度を 0 と設定
乱れ長さスケール	Blackadar 式で設定 : $l=kz/(1+kz/l_0)$

### 5.1.3 都市気候解析のための乱流モデルと基礎方程式

以下に、本解析で用いた乱流モデルと基礎方程式を示す。モデルは Mellor-Yamada モデル（レベル 2.5）を利用し、静水圧近似に基づく<sup>8)-12)</sup>。

#### 1. 水平方向の運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{DU}{Dt} = & f(V - V_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left( 1 - \frac{\langle \Theta_v \rangle}{\Theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{uw}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{DV}{Dt} = & -f(U - U_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left( 1 - \frac{\langle \Theta_v \rangle}{\Theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{vw}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\frac{D}{Dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} + W^* \frac{\partial}{\partial z^*} \quad (5.3)$$

#### 2. 地衡風成分の $U_g(z^*)$ と $V_g(z^*)$

$$fU_g(z^*) \equiv fU_g(\bar{H}) \frac{\langle \Theta_v \rangle}{\langle \Theta_v(\bar{H}) \rangle} + g \frac{H-z_g}{H} \int_{z^*}^{\bar{H}} \frac{1}{\langle \Theta_v \rangle} \frac{\partial}{\partial y} \Delta \Theta_v dz' - \frac{g}{H} \frac{\hat{z}_g}{\partial y} \int_{z^*}^{\bar{H}} \frac{\Delta \Theta_v}{\langle \Theta_v \rangle} dz' \quad (5.4)$$

$$fV_g(z^*) \equiv fV_g(\bar{H}) \frac{\langle \Theta_v \rangle}{\langle \Theta_v(\bar{H}) \rangle} - g \frac{H-z_g}{H} \int_{z^*}^{\bar{H}} \frac{1}{\langle \Theta_v \rangle} \frac{\partial}{\partial x} \Delta \Theta_v dz' + \frac{g}{H} \frac{\hat{z}_g}{\partial x} \int_{z^*}^{\bar{H}} \frac{\Delta \Theta_v}{\langle \Theta_v \rangle} dz' \quad (5.5)$$

ここで、 $\Delta \Theta_v \equiv \Theta_v - \langle \Theta_v \rangle$ であり、 $\langle \rangle$ は水平面内の平均。

### 3. 連続の式

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} - \frac{1}{H-z_g} \left( U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0 \quad (5.6)$$

$$\text{ここで、 } W^* \equiv \frac{\bar{H}}{H-z_g} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H-z_g} \left( U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) \quad (5.7)$$

### 4. 乱流エネルギー $-q^2/2$

$$\begin{aligned} \frac{D}{Dt} \left( \frac{q^2}{2} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xx}}{\sigma_q} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{yy}}{\sigma_q} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] + \left( \frac{\bar{H}}{H-z_g} \right)^2 \\ &\times \frac{\partial}{\partial z^*} \left[ qlS_q \frac{\partial}{\partial z^*} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] - \frac{\bar{H}}{H-z_g} \left( \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) + \beta_v g \overline{w\theta_v} - \frac{q^3}{B_1 l} \end{aligned} \quad (5.8)$$

ここで、 $q^2 = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$ 。  $S_q = 0.2$ 、 $B_1 = 16.6$ 、 $\sigma_q = 1.0$ 。

### 5. 乱れ長さスケール

$$\begin{aligned} \frac{D(q^2 l)}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xx}}{\sigma_l} \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{yy}}{\sigma_l} \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) \right] + \left( \frac{\bar{H}}{H-z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[ qlS_l \frac{\partial}{\partial z^*} (q^2 l) \right] \\ &- lF_1 \left[ \frac{\bar{H}}{H-z_g} \left( \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) - \beta_v g \overline{w\theta_v} \right] - \frac{q^3}{B_1} \left[ 1 + F_2 \left( \frac{l}{kz} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (5.9)$$

ここで、 $S_l = 0.2$ 、 $F_1 = 1.8$ 、 $F_2 = 1.33$ 、 $\sigma_{ql} = 1.0$ 。

6. 内部エネルギー(相当温位 $\Theta_v$ )

$$\begin{aligned} \frac{D\Delta\Theta_v}{Dt} = & \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xx}}{\sigma_{\Theta_v}} \frac{\partial \Delta\Theta_v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{yy}}{\sigma_{\Theta_v}} \frac{\partial \Delta\Theta_v}{\partial y} \right] \\ & + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \left[ \frac{\partial}{\partial z^*} \left( -\overline{w\theta_v} \right) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_N}{\partial z^*} - W^* \frac{\partial \langle \Theta_v \rangle}{\partial z^*} \right] \end{aligned} \quad (5.10)$$

ここで、 $\sigma_{\Theta_v} = 1.0$ 。  $R_N$  は正味の長波放射量。

7. 総水分混合比  $Q_w$

$$\frac{DQ_w}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xx}}{\sigma_{Q_w}} \frac{\partial Q_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{yy}}{\sigma_{Q_w}} \frac{\partial Q_w}{\partial y} \right] + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} \left( -\overline{wq_w} \right) \quad (5.11)$$

ここで、 $\sigma_{Q_w} = 1.0$ 。

8. 鉛直方向の乱流フラックス

$$\overline{uw} = -lq\tilde{S}_M (\partial U / \partial z) \quad (5.12a) \quad \overline{vw} = -lq\tilde{S}_M (\partial V / \partial z) \quad (5.12b)$$

$$\overline{w\theta_v} = -lq\tilde{S}_H (\partial \Theta_v / \partial z) \quad (5.12c) \quad \overline{wq_w} = -lq\tilde{S}_H (\partial Q_w / \partial z) \quad (5.12d)$$

$x, y, z$  : 空間座標の3成分 ( $x$  : 東西方向、 $y$  : 南北方向、 $z$  : 鉛直方向) [m]

$U, V, W$  : 風速の  $x, y, z$  成分のアンサンブル平均 [m/s]

$f$  : コリオリパラメータ [1/s]、  $u, v, w$  : 風速変動の各成分 [m/s]

$z_g$  : 地面の標高 [m]、  $z^*$  : 座標変換後の鉛直座標 [m]

$U_g, V_g$  : 地衡風成分 [m/s]、  $g$  : 重力加速度 (= -9.8 m/s<sup>2</sup>) [m/s<sup>2</sup>]

$H, \bar{H}$  : それぞれ物理空間、計算空間での領域上限値 [m]

$l$  : 乱れ長さスケール [m]

$q^2/2$  : 乱流エネルギー ( $q^2 = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$ ) [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]、  $\Theta$  : 温位 ( $\Theta = (P_o/P)^{R/C_p} T$ ) [°C]

$P$  : 大気圧、  $P_o = 10000$  mb [mb]、  $R$  : 気体定数 [-]、  $C_p$  : 空気の定圧比熱 [kJ/kg·K]

$\Theta_v$  : 相当温位 [°C]、  $\theta_v$  :  $\Theta_v$  の変動成分 [°C]

$Q_w$  : 総水分混合比 (水蒸気 + 液水) [kg/kg]、  $q_w$  :  $Q_w$  の変動成分 [kg/kg]

$\beta_V$  : 体積膨張率 [1/K]、  $K_{xx}, K_{xy}, K_{yy}$  : 水平方向の拡散に関する渦動拡散係数 [m<sup>2</sup>/s]

$\tilde{S}_M, \tilde{S}_H$  : 浮力による補正項 (フラックスリチャードソン数の関数) [-]

## 5.2 使用パラメータ

入力する土地利用データとして、国土地理院発行の国土数値情報・細密数値情報と、航空機MSSデータを使用した。

grid1、grid2 に関しては、国土数値情報から地表面パラメータを算出し、計算を行った。grid3 については case1：全域で国土数値情報を利用、case2：MSS 観測領域のみ細密数値情報を利用、case3：MSS 観測領域のみ MSS データを利用、の三通りについて計算を行った。

各データによって土地利用分類が異なるため、国土数値情報の分類を基準とし、細密数値情報、MSS データのそれぞれの土地利用分類を国土数値情報の分類に対応させてパラメータを決定した。表-5.4 に国土数値情報の分類に対応する各種パラメータを示す。同様に表-5.5 に細密数値情報、表-5.6 に MSS データの分類に対応するパラメータを示すが、表中の括弧内は国土数値情報との分類の対応を示す。ただし、細密数値情報の造成中地、空地、MSS データの分類中の焼け跡、裸地は国土数値情報の荒地、MSS データのコンクリートは国土数値情報のその他の用地に対応させたが、蒸発効率は 0 に変更した。

なお、MSS データに含まれる雲、および影の合計の面積比がメッシュの 50%を超える場合は MSS データを用いず、国土数値情報により算出されたパラメータを使用するようにしている。

入力データの違いによる地表面パラメータ分布の違いの例として、アルベドと蒸発効率の分布を図-5.3～5.8 に示す。

表-5.4 土地利用のパラメータ値（国土数値情報）

	アルベド [-]	粗度長 [m]	熱拡散係数 [ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]	定積熱容量 [ $10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ ]	蒸発効率 [-]
1) 田	0.20	0.050	0.20	3.0	0.5
2) 畑	0.10	0.010	0.45	2.0	0.3
3) 果樹園	0.20	1.000	0.50	2.0	0.3
4) その他の樹木畑	0.20	0.500	0.50	2.0	0.3
5) 森林	0.15	2.000	0.50	2.0	0.3
6) 荒地地	0.20	0.010	0.50	2.0	0.3
7) 建物用地	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
8) 幹線交通用地	0.10	0.010	0.50	1.4	0.0
9) その他の用地	0.20	0.010	0.50	2.0	0.3
10) 内水地	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0
11) 海浜	0.30	0.005	0.77	1.3	0.6
12) 海水域	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0

表-5.5 土地利用のパラメータ値（細密数値情報）

	アルベド [-]	粗度長 [m]	熱拡散係数 [ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]	定積熱容量 [ $10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ ]	蒸発効率 [-]
1) 森林・荒地等（森林）	0.15	2.000	0.50	2.0	0.3
2) 田（田）	0.20	0.050	0.20	3.0	0.5
3) 畑・その他の農地（畑）	0.10	0.010	0.45	2.0	0.3
4) 造成中地（荒地*）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.0
5) 空地（荒地*）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.0
6) 工業用地（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
7) 一般低層住宅地（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
8) 密集低層住宅地（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
9) 中高層住宅地（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
10) 商業・業務用地（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
11) 道路用地（幹線交通用地）	0.10	0.010	0.50	1.4	0.0
12) 公園・緑地等（その他の用地）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.3
13) その他の公共公益施設用地 （建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
14) 河川・湖沼等（内水地）	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0
15) その他（その他の用地）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.3
16) 海（海水域）	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0

表-5.6 土地利用のパラメータ値（MSS データ）

	アルベド [-]	粗度長 [m]	熱拡散係数 [ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]	定積熱容量 [ $10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ ]	蒸発効率 [-]
1) 建造物（建物用地）	0.10	1.000	0.81	2.1	0.0
2) 雲（不明）	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0
3) 影（不明）	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0
4) 樹木（森林）	0.15	2.000	0.50	2.0	0.3
5) 草地（畑）	0.10	0.010	0.45	2.0	0.3
6) 焼け跡（荒地*）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.0
7) アスファルト （幹線交通用地）	0.10	0.010	0.50	1.4	0.0
8) 裸地（荒地*）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.0
9) コンクリート （その他の用地*）	0.20	0.010	0.50	2.0	0.0
10) 水面（内水地・海水域）	0.03	0.001	0.14	4.2	1.0

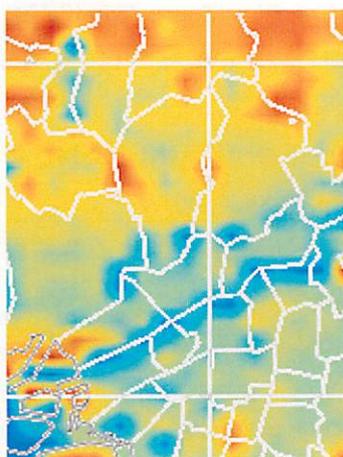


図-5.3 アルベド [-]  
(case1 : 国土数値情報)

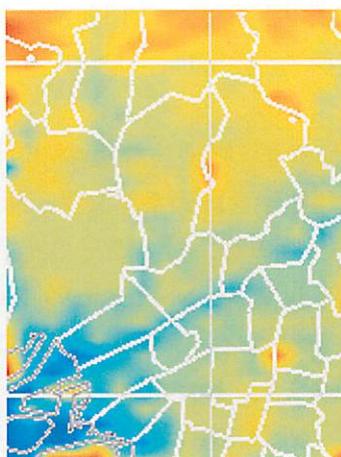


図-5.4 アルベド [-]  
(case2 : 細密数値情報)

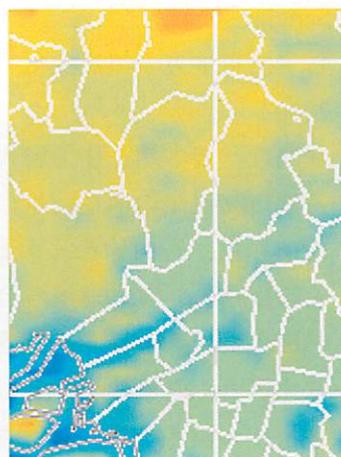


図-5.5 アルベド [-]  
(case3 : MSS データ)

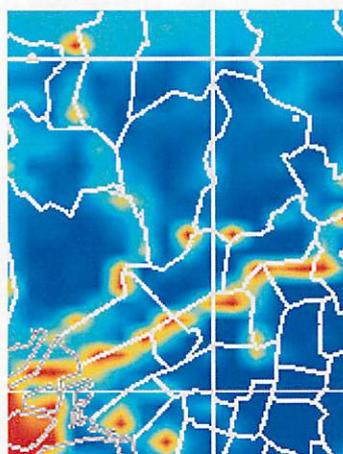


図-5.6 蒸発効率 [-]  
(case1 : 国土数値情報)

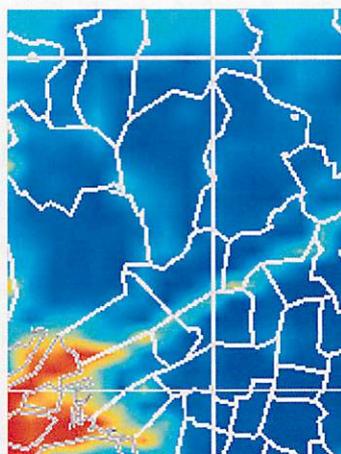


図-5.7 蒸発効率 [-]  
(case2 : 細密数値情報)

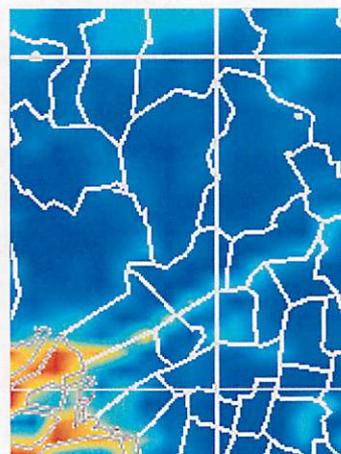


図-5.8 蒸発効率 [-]  
(case3 : MSS データ)

MSS データを使用した結果は、国土数値情報・細密数値情報を利用した結果よりも海の形状をより正確に表現できている。また河川の領域については、国土数値情報は河川の面積比を大きく取りすぎている。これについては、国土数値情報では河川敷も河川の領域に含まれているためである。海以外の領域についても、4 章に記されているように整備の目的が異なる点、作成時期が異なる点(国土数値情報の発行が 1989 年、細密数値情報の発行が 1996 年、MSS データ作成が 2002 年)などから、国土数値情報の土地利用の割合は現状とは異なる可能性がある。

また、全体として国土数値情報は領域内のパラメータの差が比較的大きく、局地的に値が変わることがあるが、細密数値情報や MSS データは緩やかな変化を示す結果となった。

## 参考文献

- 1) Sangjin Kim、村上周三、持田灯、大岡龍三、吉田伸治：数値気候モデルによる都市化がもたらす関東地方の気候変化のメカニズムの解析、日本建築学会計画系論文集、No.534 pp.83-88、2000.8
- 2) 萩島理、谷本潤、片山忠久、大原健志：改良・建築-都市-土壌連成系モデル (AUSSSM) による都市高温化の構造解析、日本建築学会計画系論文集、No.550 pp.79-86、2001.12
- 3) 原山和也、吉田伸治、大岡龍三、持田灯、村上周三：非定常放射・伝導解析による数値解析と精度検証、日本建築学会計画系論文集、No.556 pp.99-106、2002.6
- 4) 鳴海大典、大谷文人、近藤明、下田吉之、水野稔：都市における人工排熱が都市熱環境に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、No.562 pp.97-104、2002.12
- 5) 亀掛川幸浩、玄地裕、大橋唯太、近藤裕昭：電源・空調システムの構成が夏季の都市熱環境に及ぼす影響、第 19 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2003.1
- 6) ヴタンカ、足永靖信、浅枝隆：都市大気境界層の乱流モデリング 都市建築計画における都市気候予測システムの開発 その 1、日本建築学会計画系論文集、No.536 pp.95-99、2000.10
- 7) 持田灯、村上周三、Sangjin Kim、近藤裕昭、島田昭男、大岡龍三：ヒートアイランド現象の解析とその対策技術の総合評価のための Software Platform の開発 (その 1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D1 pp.1099-1100、2000.9
- 8) G. L. Mellor and T. Yamada : A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary layer、*Journal of Applied Meteorology*、Vol.13 No.7 pp.1791-1806、1974
- 9) G. L. Mellor and T. Yamada : Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problem、*Rev. Geophys. Space Phys.*、Vol.20 No.4 pp.851-875、1982
- 10) T. Yamada and S. Bunker : Development of a Nested Grid, Second Moment Turbulence Closure Model and Application to the 1982 ASCOT Brush Creek Data Simulation、*Journal of Applied Meteorology*、Vol.27 No.5 pp.562-578、1988
- 11) T. Yamada and S. Bunker : A Numerical Model Study of Nocturnal Drainage Flows with Strong Wind and Temperature Gradients、*Journal of Applied Meteorology*、No.28 pp.545-554、1989
- 12) 村上周三、持田灯、Sangjin Kim、大岡龍三：関東地方における土地利用状況の変化と流れ場・温度場の関係、Mellor-Yamada 型の都市気候モデルによる局地気象解析、日本建築学会計画系論文集、No.491 pp.31-39、1997

## 6. 一界面モデルを用いた地表面温度計算手法

### 6.1 計算手法

地表面温度計算は、地表面状態を幾つかに分類した地表面での熱収支と、カテゴリーによらず計算メッシュ内では水平方向に一様であると考えた地中熱移動計算を連立させて計算する。解析の概念図を図-6.1 に示す。

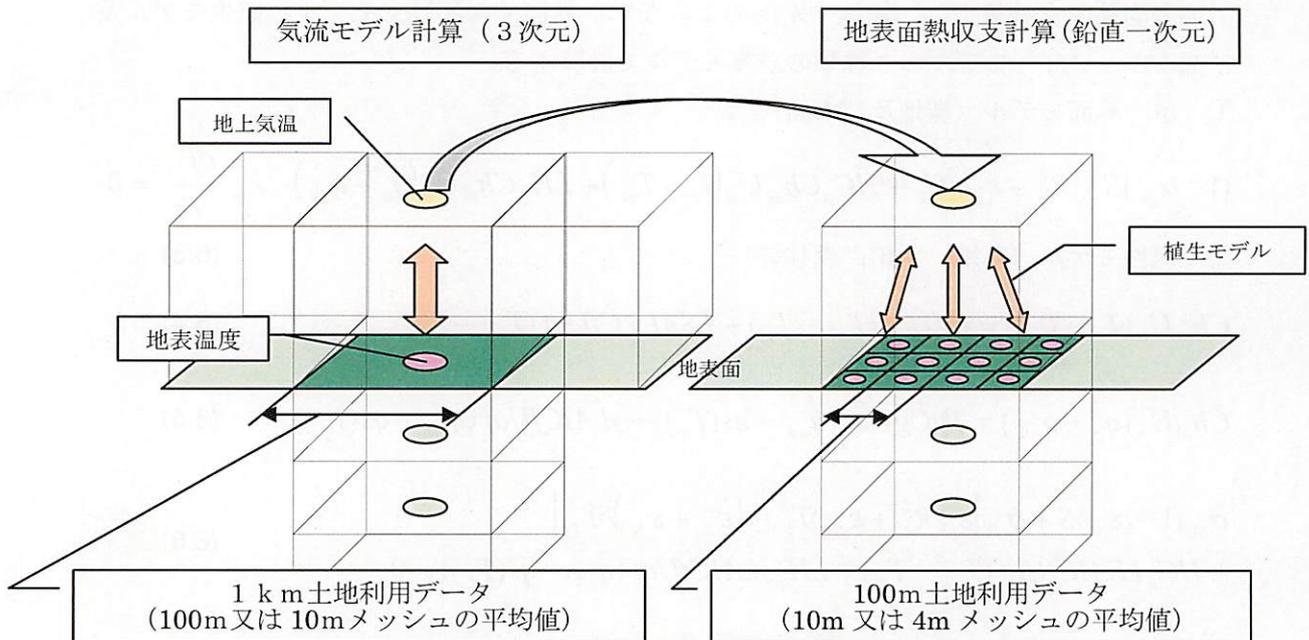


図-6.1 地表面熱収支解析概念図

#### 6.1.1 基礎式

地中熱移動計算は、鉛直方向 1 次元熱伝導方程式の基づいて計算する。

$$HC_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T_g}{\partial z} \right] \quad (6.1)$$

ここで、 $HC_g$ は土壤の熱容量 ( $J/m^3$ )、 $T_g$ は地中温度 (K)、 $\lambda$ は地中の熱伝導率 ( $W/mK$ ) である。

地表面状態のカテゴリーは大きく 3 種類に分類して地表面の熱収支を計算する。更に、熱収支計算で必要なパラメータを変えて細かい分類をする。

したがって、地中熱移動計算の地表面での境界条件は、地面と交換する熱エネルギーフラックス ( $W/m^2$ ) を  $Flhg$  として、以下ようになる。

$$Flhg = \left[ \lambda \frac{\partial T_g}{\partial z} \right]_{z=0} = \sum_k^{kn} a_k Flhg_k \quad (6.2)$$

となる。ここで、 $Flhg_k$ は各カテゴリー毎の熱エネルギーフラックスであり、 $a_k$ はカテゴリー $k$ の占める面積率（-）である。

各カテゴリーの熱エネルギーフラックスは、以下に示す地表面熱収支計算モデルにより各カテゴリーごとに地表面温度や熱量を計算し、地中の温度を熱伝導方程式から計算する。熱伝導方程式は空間的には中心差分で、時間的には陰解法で近似して計算する。

地表面熱収支計算では、裸地や水面のような単一界面での熱収支モデル、植生モデル及び都市キャノピーモデルの3種類の計算モデルで計算する。

① 単一界面モデル（裸地及び水面）

$$(1 - \alpha_{gk})S + R_h^\downarrow - \varepsilon_g \sigma T_{gk}^4 + HC_a Ch_{ak} U_a (T_a - T_{gk}) + LH_a Ch_{ak} U_a (q_a - q_{gk}) - \lambda_{gk} \frac{\partial T_{gk}}{\partial z} = 0$$

② 植性モデル（草地、水田、森林等） (6.3)

$$Ch_{ak} U_a (T_a - T_{afk}) = Cg Uaf (T_{afk} - T_g) + LSAI \cdot Cf Uaf (T_{afk} - T_f) \quad (6.4)$$

$$Ch_{ak} U_a (q_a - q_{afk}) = \beta g Cg Uaf (q_{afk} - qs(T_g)) + \gamma LAICf Uaf (q_{afk} - qs(T_f)) \quad (6.5)$$

$$\sigma_{fk} (1 - \alpha_{fk})S + \sigma_{fk} \left[ \varepsilon_{fk} R_h^\downarrow + \varepsilon_{fg} \delta T_g^4 - (\varepsilon_{fk} + \varepsilon_{fg}) \delta T_f^4 \right] + HC_a LSAICf Uaf (T_{afk} - T_f) + LH_a \gamma LAICf Uaf (q_{afk} - qs(T_f)) = 0 \quad (6.6)$$

$$(1 - \sigma_{fk})(1 - \alpha_{gk})S + (1 - \sigma_{fk})\varepsilon_{gk} R_h^\downarrow - \left[ \sigma_{fk} \varepsilon_{fg} + (1 - \sigma_{fk})\varepsilon_{gk} \right] \delta T_g^4 + \sigma_{fk} \varepsilon_{fg} \delta T_f^4 + HC_a Cg Uaf (T_{afk} - T_g) + LH_a \beta g_k Cg Uaf (q_{afk} - qs(T_{gk})) - \lambda \frac{\partial T_{gk}}{\partial z} = 0 \quad (6.7)$$

$$Uaf = 0.83u^* \quad (6.8)$$

$$u^{*2} = Cd U_a^2 \quad (6.9)$$

$$Cf = 0.01(1 + 0.3/Uaf) \quad (6.10)$$

$$Cg = (k/\ln(Dh/z0))^2 \quad (6.11)$$

$$LSAI = 1.1 \cdot LAI \quad (6.12)$$

$$\gamma = 1 - \frac{rs}{ra + rs} \quad (6.13)$$

$$ra = \frac{1}{Cf Uaf} \quad (6.14)$$

$$rs = rc \frac{S \max}{0.03S \max + S} \quad (6.15)$$

③ 都市キャノピーモデル (住宅, 工場等)

$$Ch_{ak} U_a (T_a - T_{abk}) = Cg Uab (T_{abk} - T_{gk}) + \sigma_{bk} s_{bk} Cb Uab (T_{abk} - T_{bk}) \quad (6.16)$$

$$Ch_{ak} U_a (q_a - q_{abk}) = (1 - \sigma_{bk}) \beta g_k Cg Uab (q_{abk} - qs(T_{gk})) \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned} & \sigma_{bk} s_{bk} d_{bk} Cp_{bk} \frac{\partial T_{bk}}{\partial t} \\ & = (1 - (1 - \sigma_{bk}) \Psi_{gk}) (1 - \alpha_{bk}) S \\ & + \left\{ 1 - (1 - \sigma_{bk}) \Psi_{gk} \right\} R_h^\downarrow - \left\{ \sigma_{bk} + 2(1 - \sigma_{bk})(1 - \Psi_{gk}) \right\} \sigma T_{bk}^4 \\ & + (1 - \sigma_{bk})(1 - \Psi_{gk}) \sigma T_{gk}^4 + HC_a \sigma_{bk} s_{bk} Cb Uab (T_{abk} - T_{bk}) + \sigma_{bk} Q_{ak} \end{aligned} \quad (6.18)$$

$$\begin{aligned} & (1 - \sigma_{bk}) \Psi_{gk} (1 - \alpha_{gk}) S \\ & + (1 - \sigma_{bk}) (\Psi_{gk} R_h^\downarrow + (1 - \Psi_{gk}) \sigma T_{bk}^4 - \sigma T_{gk}^4) + HC_a Cg Uab (T_{abk} - T_{gk}) \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$+ LH_a (1 - \sigma_{bk}) \beta g_k Cg Uab (q_{abk} - qs(T_{gk})) + Q_{ak} - \lambda \frac{\partial T_{gk}}{\partial z} = 0$$

$$Uab = 0.83u^* \quad (6.20)$$

$$Cb = 0.01(1 + 0.3/Uab) \quad (6.21)$$

$$Cg = (k/\ln(Dh/z0))^2 \quad (6.22)$$

#### 記号表

$ag$ : 地表面のアルベド	(-)	$R_h^\downarrow$ : 大気からの赤外放射量 (W/m <sup>2</sup> )	
$af$ : 葉面のアルベド	(-)	$Tg$ : 地表面温度	(K)
$ab$ : 建物表面のアルベド	(-)	$HCa$ : 大気熱容量	(J/m <sup>3</sup> K)
$\beta g$ : 地表面蒸発効率	(-)	$Cha$ : 接地層熱交換率	(-)
$\varepsilon g$ : 地表面赤外放射率	(-)	$Ua$ : 上空風速	(m/s)
$\varepsilon f$ : 葉面赤外放射率	(-)	$Ta$ : 上空気温	(K)
$\gamma$ : 葉面蒸発散効率	(W/mK)	$LHa$ : 水蒸気蒸発潜熱	(J/m <sup>3</sup> K)
$\sigma$ : ステファンボルツマン定数 (W/T <sup>4</sup> )		$qa$ : 大気絶対湿度	(kg/kg <sup>3</sup> )
$\sigma f$ : 植生被覆率	(-)	$qg$ : 地表面絶対湿度	(kg/kg <sup>3</sup> )
$\sigma b$ : 建蔽率	(-)	$z$ : 鉛直方向距離	(m)
$\Psi g$ : 天空率	(-)	$Uaf$ : 植生層内風速	(m/s)
$S$ : 日射量	(W/m <sup>2</sup> )	$LSAI$ : 植物面積率	(-)

$Cg$ : 植生層内熱交換率	(-)	$db$ : 建物壁厚さ	(m)
$qaf$ : 植生層絶対湿度	(kg/kg')	$Cpb$ : 建物熱容量	(J/m³K)
$qs(T)$ : 飽和絶対湿度	(kg/kg')	$Tb$ : 建物表面温度	(K)
$LAI$ : 葉面積率	(-)	$Qa$ : 人工排熱量	(W/m²)
$Cf$ : 葉面熱交換率	(-)	$Dh$ : キャノピー高さ	(m)
$u^*$ : 植生層内摩擦速度	(m/s)	$k$ : カルマン定数	(-)
$Uab$ : 都市キャノピー内風速	(m/s)	$z0$ : 地表面粗度	(m)
$Cb$ : 建物熱交換率	(-)	添え字 $k$ : カテゴリ番号	
$qab$ : 都市キャノピー絶対湿度 (kg/kg')			

### 6.1.2 計算メッシュ

図-6.2 に計算に用いるメッシュレイアウトを示す。

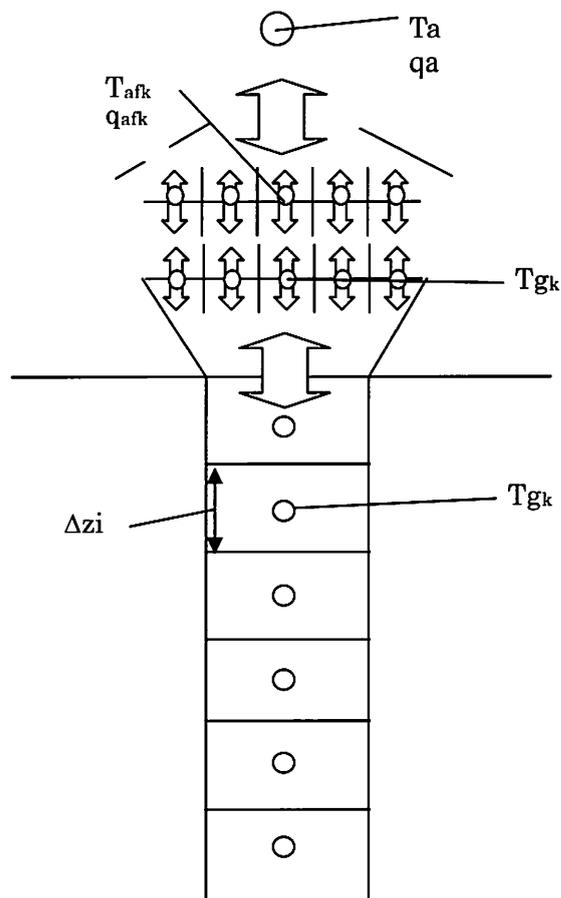


図-6.2 計算メッシュ

### 6.1.3 計算フロー

図-6.3 に計算のフローを示す。

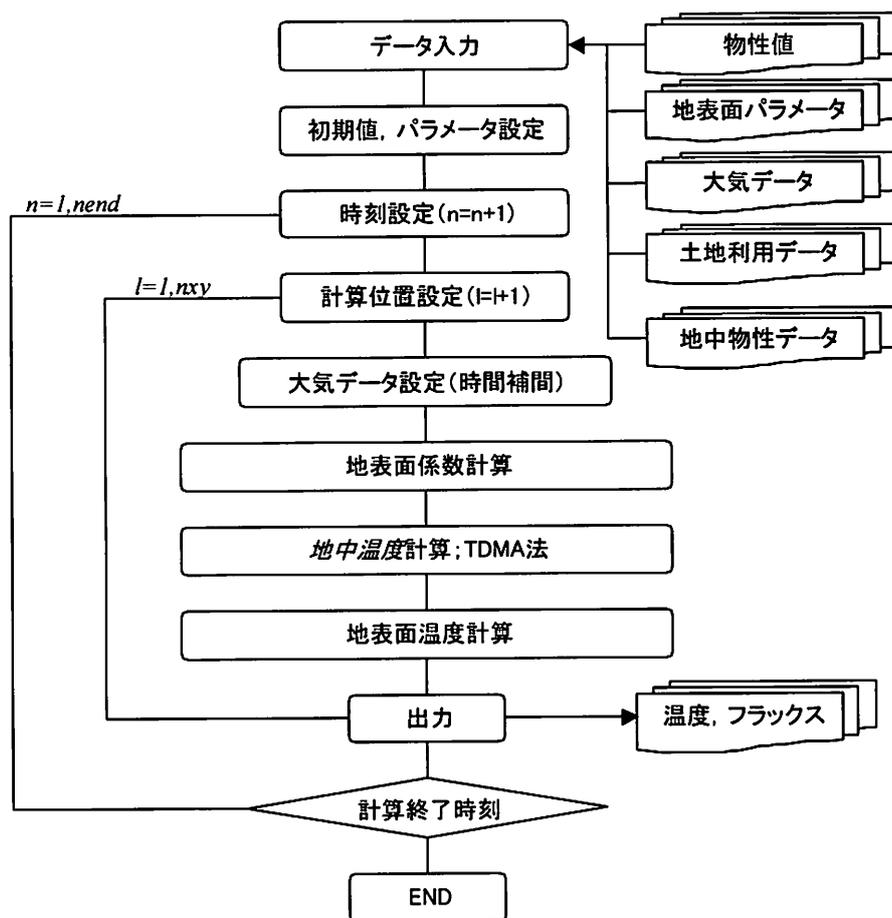


図-6.3 計算フロー

## 6.2 入力データ

計算に必要となる入力データは、

- ・ 土地利用データ；カテゴリ毎の水平方向の計算メッシュ内面積率
- ・ 気象データ；水平方向計算メッシュ毎の地表 10m の風速，気温，絶対湿度
- ・ 地表面パラメータ；カテゴリ毎の計算パラメータ
- ・ 地中物性データ；地盤及び水域の比熱，比重，熱伝導率及びメッシュ間隔
- ・ 計算条件パラメータ：計算開始日時，計算時間，計算刻み，出力間隔，入出力ファイル名，初期代表温度，雲量

である。

### 6.2.1 土地利用データ（計算領域）

計算の基になる土地利用データは前述の3章で整備したMSSデータを用いる。土地利用データは以下の10カテゴリー毎の100メッシュ内の面積率とする。

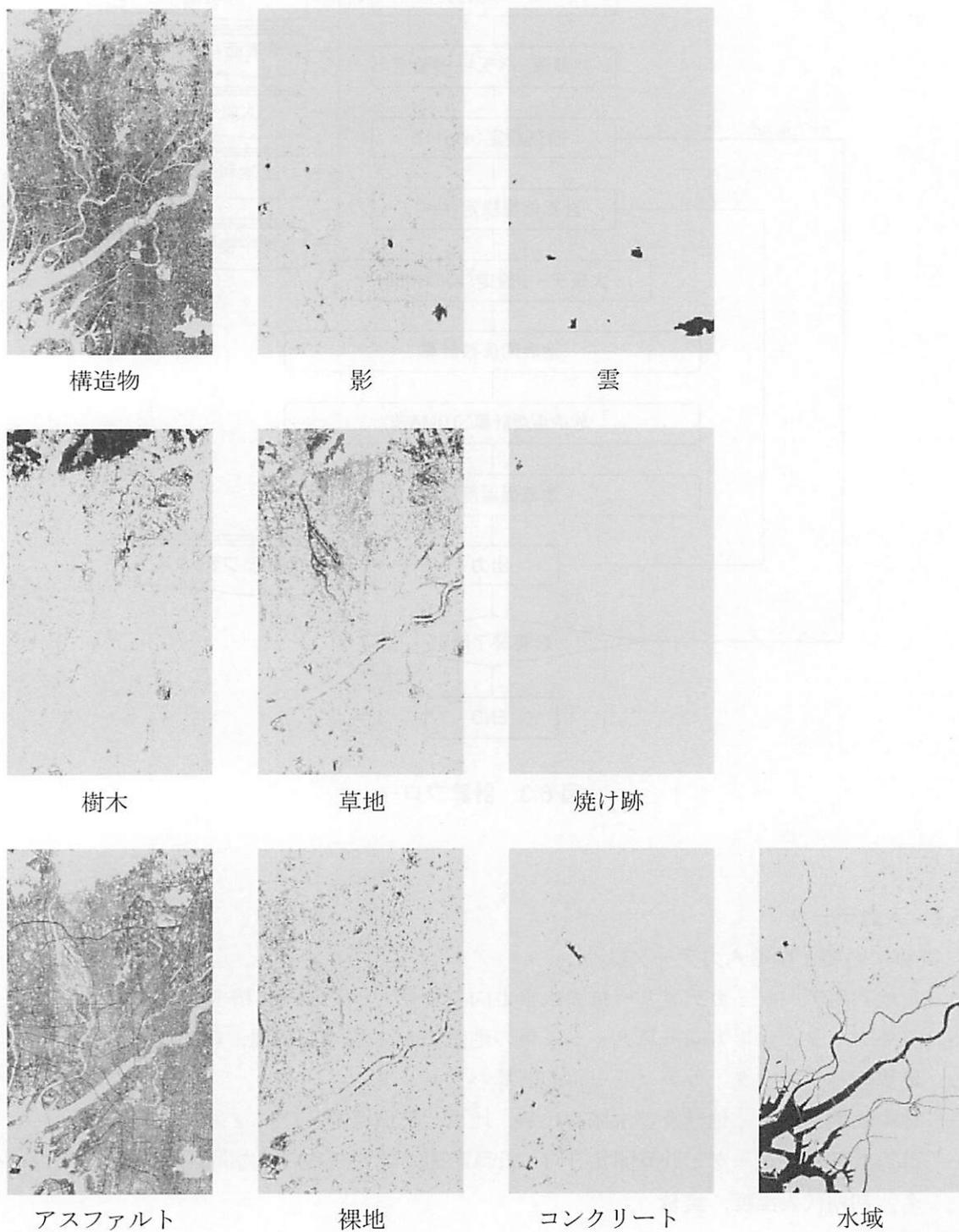


図-6.4 土地利用データ

(計算領域)

今回の計算では、図-6.5 に示すように対象として大阪市近郊の内から地理的に特徴のある地域を選んで計算結果を検討した。計算した地域は、山林が比較的多くある北部地域 (R1 領域)、建物住居が密集してある吹田市周辺 (R2 領域)、大阪湾に面したウォーターフロント地域 (R3 領域) とした。

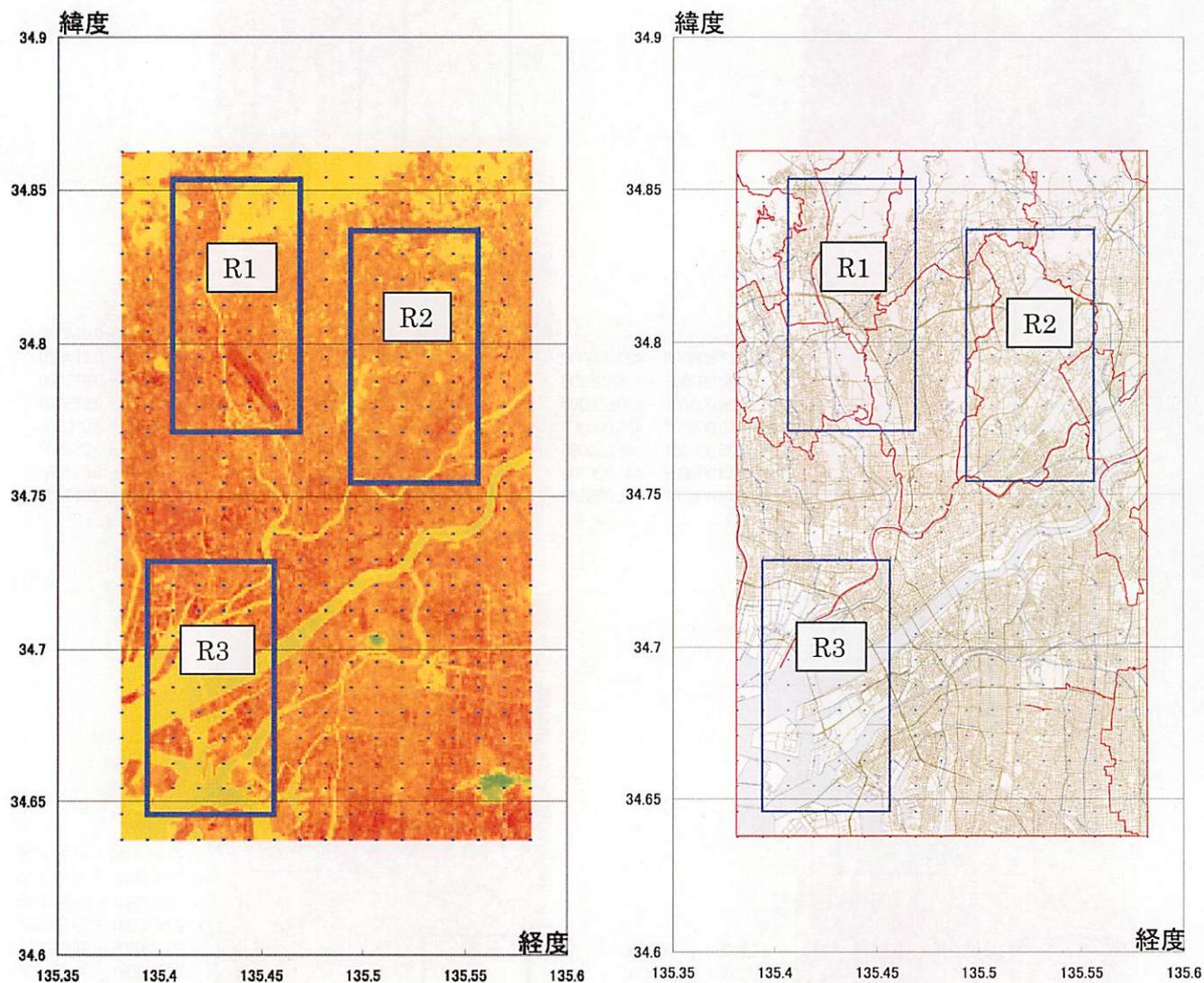


図-6.5 計算領域

## 6.2.2 気象データ

上空大気の状態は前述の5章で計算したメソスケールモデルの計算値を用いる。使用するデータは地上10mの気温、絶対湿度、風速と地上に到達する日射量、大気放射量とし、24時間毎のデータを時空間で線形補完して用いる。

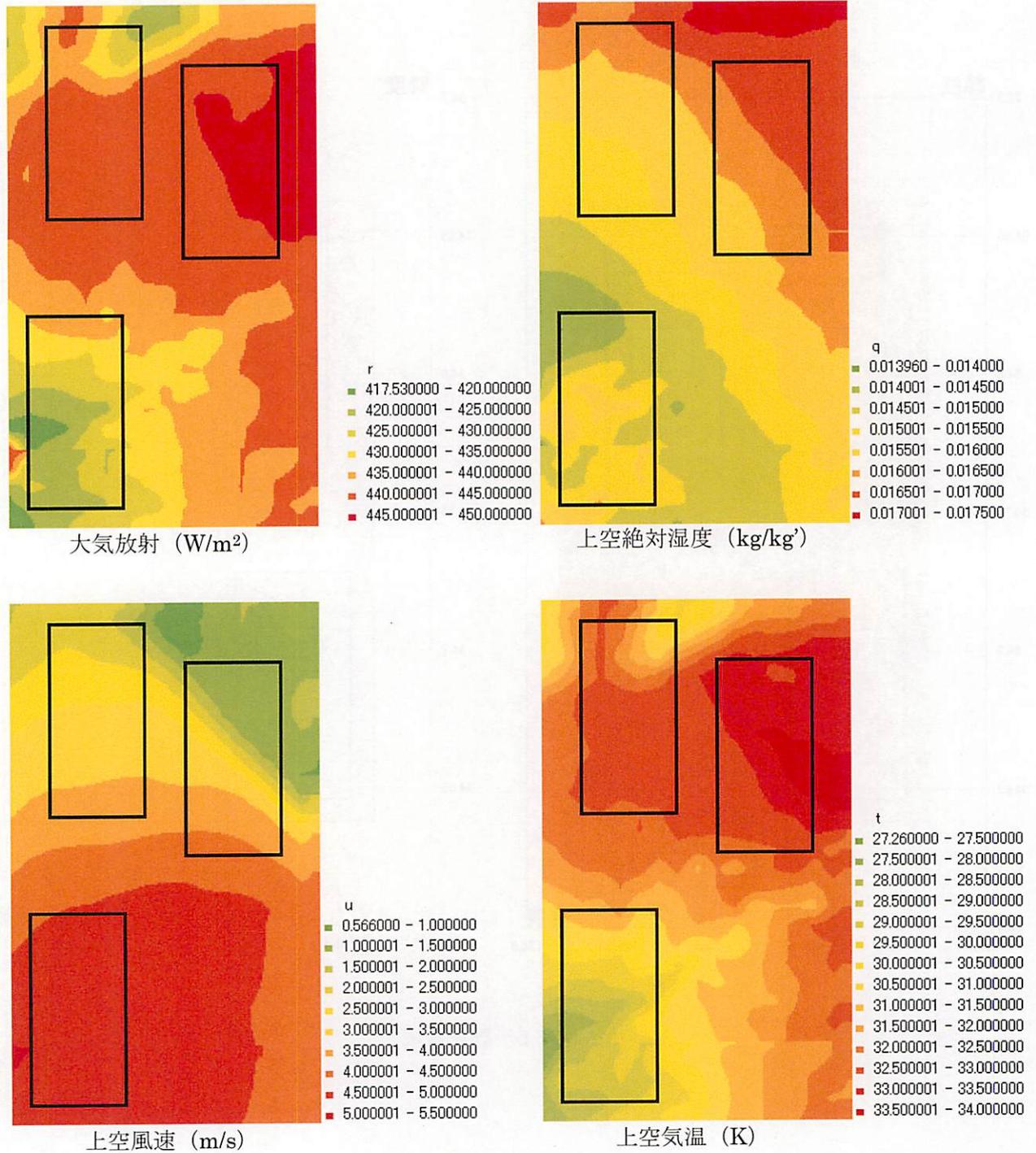


図-6.6 気象データ (12時)

### 6.2.3 地表面パラメータ

地表面熱収支モデルに用いるパラメータを以下に示す。ここで、計算モデルのフラグ（表-6.1）の数字は、1で裸地モデル、2で植生モデル、3で都市モデルを意味し、6列目以降のパラメータは植生モデルの場合は上段のパラメータ値、都市モデルは下段のパラメータ値を意味する。

表-6.1 地表面パラメータ一覧

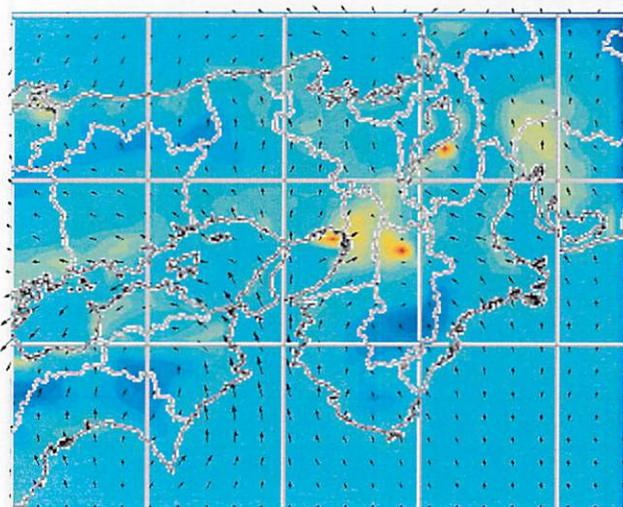
カテゴリー	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	flg	$\alpha_g$	$\beta_g$	$\epsilon_g$	$z_0$	$\lambda$	$\alpha_f$ , $\alpha_b$	$\sigma_f$ , $\sigma_b$	LAI, $\Psi_g$	$\epsilon_f$ , db	rc, CPb	Sm, Qa	Dh
	計算モデル	地表面アルベド	地表面蒸発散効率	地表面赤外放射率	地表面粗度	地面熱伝導率	葉面アルベド, 建物アルベド	葉面被覆率, 建蔽率	葉面密度, 天空率	葉面放射率, 建物表面積率	気孔抵抗, 建物熱容量	葉面最大日射量, 人工廃熱	Displacement Height
建造物	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	$10^6$	75	10
雲(裸地)	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0	0	0
影(建物)	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	$10^6$	75	10
樹木	2	0.2	0.3	0.8	0.5	1	0.2	0.8	10	0.9	300	860	3
草地	2	0.2	0.3	0.8	0.1	0.9	0.2	0.8	3	0.9	200	860	1
焼け跡	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0	0	0
アスファルト	1	0.1	0	0.9	0.005	0.7	0	0	0	0	0	0	0
裸地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0	0	0
コンクリート	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0	0	0
水面	1	0.03	1	0.97	0.001	6	0	0	0	0	0	0	0

## 7. メソスケールモデルを用いた気流解析結果

### 7.1 広域領域解析結果

以下に各 grid における 8 月 26 日 12 時（計算開始から 30 時間後）の計算結果を示す。各 grid については第 5 章の図-5.1 および表-5.1 に、各 case については表-5.2 に示す。図-7.1 に grid1 の、図-7.2 に grid2 の表面温度と地上 10m の風速ベクトル分布を示す。図-7.3、7.4 は文献<sup>1)</sup>より引用したアメダス観測地点での測定結果である。図-7.3 は 1995 年の 8 月 1 日の観測結果、図-7.4 は 1995 年の 7、8、9 月の晴天日の平均となっている。なお、アメダス地点高さは 6.5m~94.2m となっているが、高さ補正はしていない。

grid1、grid2 の結果から大阪湾、日本海ともに海風が良く見られる。特に grid2 の結果から、表面温度が高い市街地部分への吹き込みが強くなっている様子がわかる。これはアメダス観測データ（図-7.3、7.4）と比較しても、妥当な結果である。

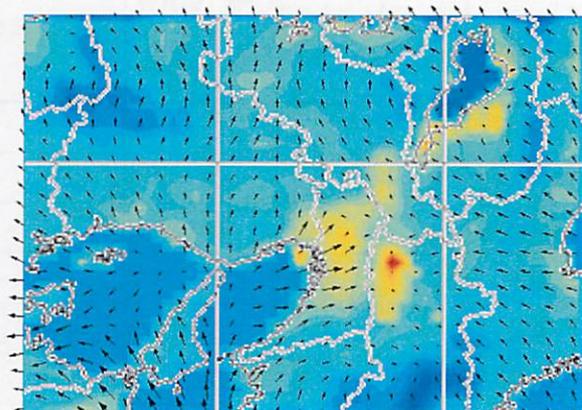


→ 5m/s

20 45°C

図-7.1 表面温度と

地上 10m の風速ベクトル分布  
(8 月 26 日 12 時 grid1)



→ 5m/s

20 45°C

図-7.2 表面温度と

地上 10m の風速ベクトル分布  
(8 月 26 日 12 時 grid2)



→ = 4.00 m/s

図-7.3 風速分布 観測結果<sup>1)</sup>  
(1995 年 8 月 1 日 12 時)



→ = 4.00 m/s

図-7.4 風速分布 観測結果<sup>1)</sup>  
(1995 年 7,8,9 月の晴天日平均 12 時)

## 7.2 気温解析結果

図-7.5～7.7に grid3 の各 case について、気温と日射量の推移を示す。図-7.5・7.6は大阪管区気象台の観測値と解析値、図-7.7は尼崎市記念公園の観測値と解析値を示す。解析値は該当するメッシュの平均値となっており、それぞれに対応するメッシュの位置は図-7.8のようにになっている。なお、入力データによる差が無い日射量については case3 の結果のみを示している。

日射量の推移については、ほぼ再現できている。しかし気温については、観測値と解析値の間には明らかな差が見られる。特に case1・2 では最大で4℃程度の差があり、全体として一日の中での気温の変動が小さい。解析結果の中では MSS データを用いた case3 の結果が、最も観測値に近い性状となった。

各 case は土地利用データ以外は同じ条件で解析を行っているので、入力データの違いが及ぼす影響を顕著に示した結果となったが、より精度の高い解析を行うためには土地利用データ以外の入力データ、例えば人工排熱などについても検討する必要がある。

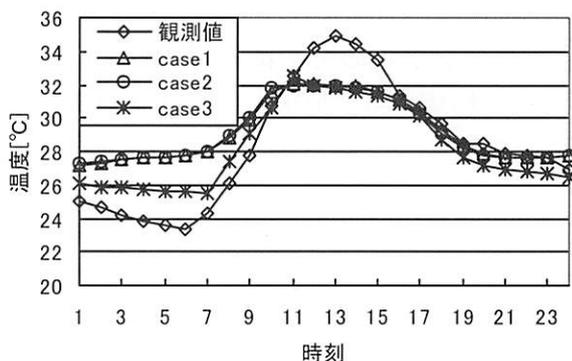


図-7.5 気温推移（大阪管区気象台）

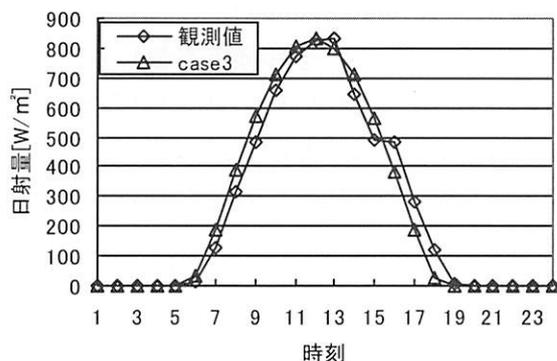


図-7.6 日射量推移（大阪管区気象台）

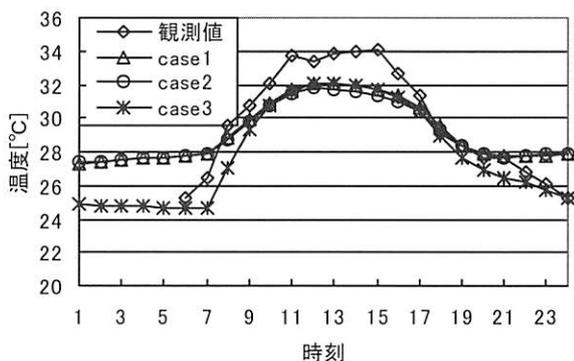


図-7.7 気温推移（尼崎市記念公園）



図-7.8 観測地点

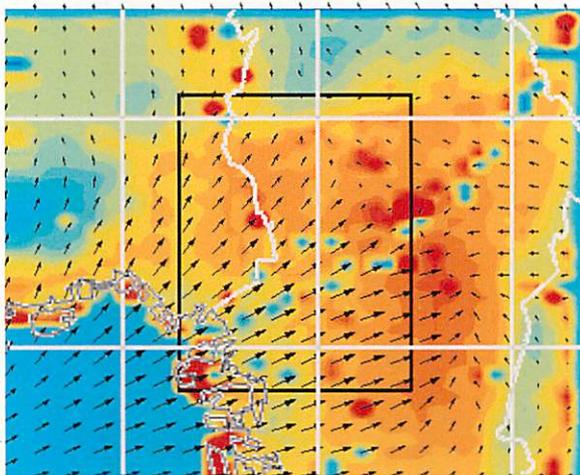
### 7.3 検討 case 比較結果

図-7.9～7.11 に grid3 の各 case の表面温度と地上 10m の風速ベクトル分布を示す。表面温度は特に枠内北部で、case3 は case1 や case2 より 1～2℃程度高温になった。これは利用した土地利用データの違いにより生じた地表面パラメータの違いが原因である。風速ベクトルについては大きな差は現れなかった。

また、grid3 の枠線内が MSS 観測領域となっている。この MSS 観測領域のみの表面温度分布を示したものが図-7.12～14 である。図-7.15 は MSS により観測された表面温度分布を、解析と同じ 1km メッシュに集計し可視化したものである。ただし、解析結果と観測結果では温度分布の幅が異なっており、それぞれの温度分布にしたがって表示をしているため、同色であっても温度は異なる値を示している。

表面温度の解析結果と観測結果との比較では、一次元熱収支モデル（本モデル）により算出された表面温度と、実際の表面温度（正確には屋上面も含めた、上空から見える部分の温度）との違いから、表面温度の表現が異なっている。そのため、定量的な比較は難しい。しかし、これら 3 つの解析結果の中では case3 が比較的観測結果と近い分布となった。

また、分布の性状については、観測結果では河川の北西部で表面温度が高いが、各 case とも解析結果ではそれほど高温になっていない。これは建物からの人工排熱を  $50\text{W}/\text{m}^2$  と一様に決定しているため、建物規模の違いや用途による排熱量の差が原因であると考えられる。また、海風による冷却の影響が過大評価されていることも、海岸沿いで表面温度が低下している原因として考えられる。



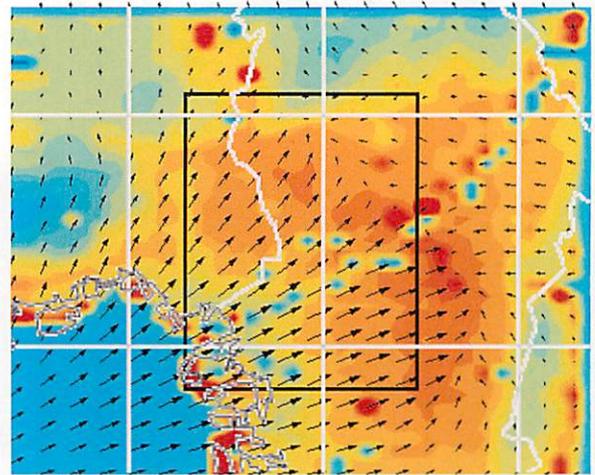
→ 5m/s



図-7.9 表面温度と

地上 10mの風速ベクトル分布

(8月26日12時 grid3 case1:国土数値情報)



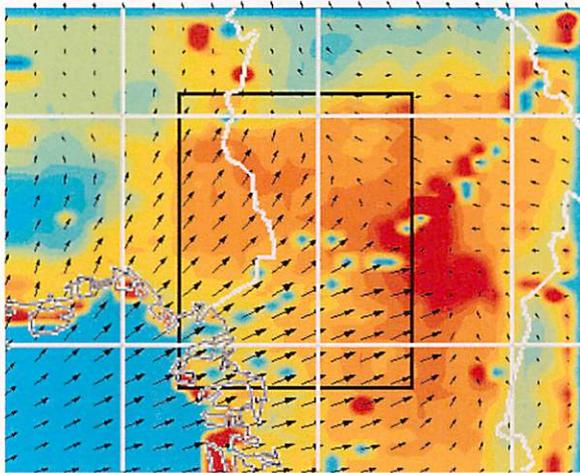
→ 5m/s



図-7.10 表面温度と

地上 10mの風速ベクトル分布

(8月26日12時 grid3 case2:細密数値情報)



→ 5m/s



図-7.11 表面温度と

地上 10mの風速ベクトル分布

(8月26日12時 grid3 case3:MSS データ)

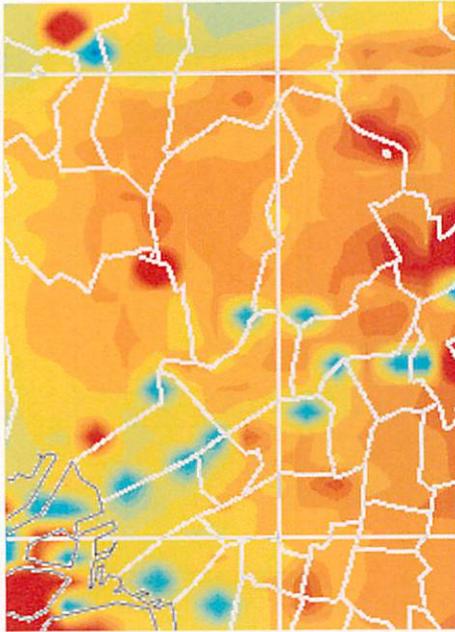


図-7.12 表面温度分布 解析結果  
(8月26日12時 grid3'  
case1: 国土数値情報)

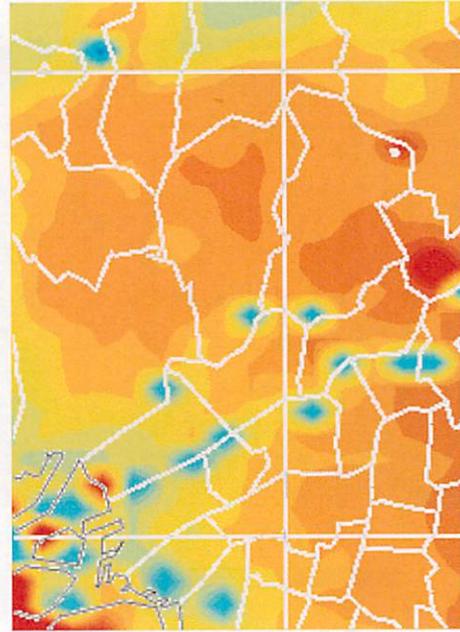


図-7.13 表面温度分布 解析結果  
(8月26日12時 grid3'  
case2: 細密数値情報)

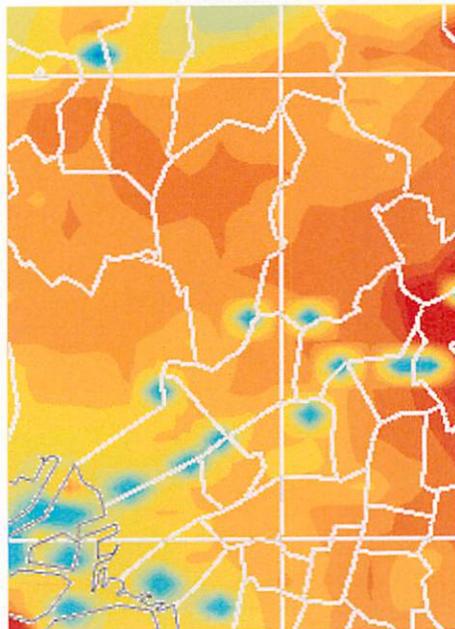


図-7.14 表面温度分布 解析結果  
(8月26日12時 grid3'  
case3: MSS データ)

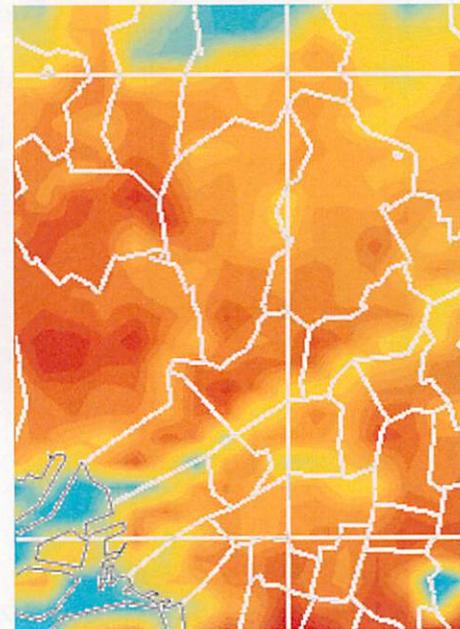


図-7.15 表面温度分布 観測結果\*  
(8月26日12時 grid3')

\*解析結果と観測結果では温度分布表示の幅が異なるため、同色であっても温度は異なる。

## 参考文献

- 1) 竹林英樹、森山正和、村上周三、大岡龍三、持田灯、芝池英樹、吉田伸治：数値モデルによる計算結果と観測データを併用した都市スケールの気候解析、日本建築学会計画系論文集、 No.556 pp.63-68、2002.6

## 8. 一界面モデルを用いた地表面温度計算手法

### 8.1 各土地利用情報を基にした計算

本節では、前述の地表面熱収支計算により大阪近郊を対象に計算を行い、熱赤外画像による表面温度測定値により計算の精度を検討すると共に、土地利用データが地表面熱収支計算の結果に及ぼす影響を検討した結果について報告する。

#### 8.1.1 計算領域

今回の計算では、対象として大阪市近郊の内から地理的に特徴のある地域を選んで計算結果を検討した。計算した地域は、図-8.1 に示すように山林が比較的多くある北部地域 (R1 領域)、建物住居が密集してある吹田市周辺 (R2 領域)、大阪湾に面したウォーターフロント地域 (R3 領域) とした。

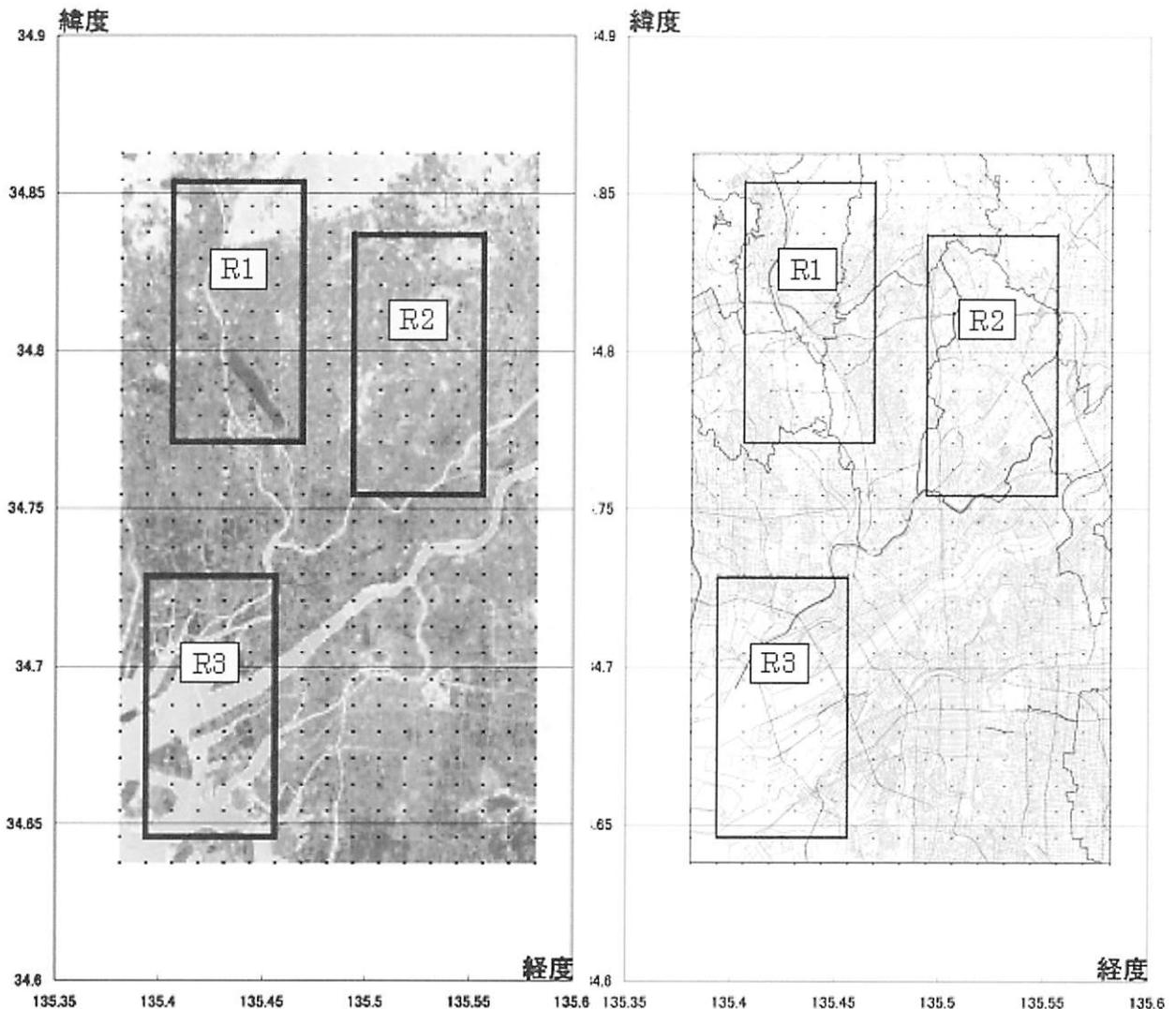


図-8.1 計算領域

土地利用データは、表-8.1 に示すように国土数値情報、細密数値情報、MSS データの種類に基づいて、地表面パラメータを算出してそれぞれについて計算を行った。

### 8.1.2 土地利用データ

計算の基になる土地利用データは土地利用状態をカテゴリーに分類して、カテゴリー毎の100mメッシュ内の面積率とした。

土地利用データは各データによって土地利用分類が異なるため、国土数値情報の分類を基準とし、細密数値情報、MSS データのそれぞれの土地利用分類を国土数値情報の分類に対応させてパラメータを決定した。表-8.1 に細密数値情報・MSS データと国土数値情報との対応を示す。ただし、細密数値情報の造成中地、空地、MSS データの分類中の焼け跡、裸地、コンクリートは国土数値情報の荒地に対応させたが、蒸発効率は0に変更した。

計算に用いるパラメータは表-8.2～表-8.4のような値を用いた。

表-8.1 土地分類対応表

国土数値情報	細密数値情報	MSS データ
1) 田	2) 田	
2) 畑	3) 畑、その他の農地、12) 公園・緑地等	5) 草地
3) 果樹園		
4) その他の樹木畑		
5) 森林	1) 森林・荒地等	4) 樹木
6) 荒地	4) 造成中地、5) 空地	6) 焼け跡、8) 裸地、2) 雲
7) 建物用地	6) 工業用地、7) 一般低層住宅地、8) 密集低層住宅地、9) 中高層住宅地、10) 商業・業務用地、13) その他の公共公益施設用地	1) 建造物、3) 影
8) 幹線交通用地	11) 道路用地	7) アスファルト
9) その他の用地	15) その他	9) コンクリート
10) 内水地	14) 河川・湖沼等	10) 水面
11) 海浜		
12) 海水域	16) 海	

表-8.2 国土数値情報による計算パラメータ

カテゴリー	fig	ag	bg	eg	z0	r'	af,ab	sf,sb	LAI,fg	ef,db	rc,CPb	Sm,Qa	Dh
	計算モデル	アルベド	蒸発散効率	赤外放射率	地表面粗度	地面熱伝導係数	葉面、建物アルベド	葉面、建物被覆率	葉密度、天空率	葉面放射率、建物表面積率	気孔抵抗、建物熱容量	葉面最大日射量、人工廃熱	0面高さ
田	2	0.2	0.3	0.8	0.5	1	0.2	0.8	10	0.9	3.0E+02	8.6E+02	3
畑	2	0.2	0.5	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	1.0E+02	8.6E+02	1
果樹園	2	0.2	0.3	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
その他の樹木畑	2	0.2	0.3	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
森林	2	0.2	0.3	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
荒地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
建物用地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
幹線交通用地	1	0.1	0	0.9	0.005	0.7	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
その他の用地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
内水地	1	0.03	1	0.97	0.001	6	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
海浜	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0

表-8.3 細密数値情報による計算パラメータ

カテゴリー	flg	ag	bg	eg	z0	r'	af,ab	sf,sb	LAI,fg	ef,db	rc,CPb	Sm,Qa	Dh
	計算モデル	アルベド	蒸発散効率	赤外放射率	地表面粗度	地面熱伝導係数	葉面、建物アルベド	葉面、建物被覆率	葉密度、天空率	葉面放射率、建物表面積率	気孔抵抗、建物熱容量	葉面最大日射量、人工廃熱	0面高さ
山林・荒地等	2	0.2	0.3	0.8	0.5	1	0.2	0.8	10	0.9	3.0E+02	8.6E+02	3
田	2	0.2	0.5	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	1.0E+02	8.6E+02	1
畑その他	2	0.2	0.3	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
造成中地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
空地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
工業用地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
一般低層住宅地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
密集低層住宅地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
中高層住宅地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
商業・業務用地	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
道路	1	0.1	0	0.9	0.005	0.7	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
公園・緑地	2	0.2	0.3	0.8	0.1	1	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
公益施設	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	0.5	1.0E+06	7.5E+01	10
河川湖沼	1	0.03	1	0.97	0.001	6	0	0	0	0	0	0	0
その他	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0	0	0
海	1	0.03	1	0.97	0.001	6	0	0	0	0	0	0	0

表-8.4 MSS データによる計算パラメータ

カテゴリー	flg	ag	bg	eg	z0	r'	af,ab	sf,sb	LAI,fg	ef,db	rc,CPb	Sm,Qa	Dh
	計算モデル	アルベド	蒸発散効率	赤外放射率	地表面粗度	地面熱伝導係数	葉面、建物アルベド	葉面、建物被覆率	葉密度、天空率	葉面放射率、建物表面積率	気孔抵抗、建物熱容量	葉面最大日射量、人工廃熱	0面高さ
建造物	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	2	1.0E+06	7.5E+01	10
雪	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
影	3	0.1	0	0.9	1	1.7	0.2	0.6	0.6	2	1.0E+06	7.5E+01	10
樹木	2	0.2	0.3	0.8	0.5	1	0.2	0.8	7	0.9	3.0E+02	8.6E+02	3
草地	2	0.2	0.3	0.8	0.1	0.9	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
焼け跡	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
アスファルト	1	0.1	0	0.9	0.01	0.7	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
裸地	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
コンクリート	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
水面	1	0.03	1	0.97	0.001	6	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
空港コンクリート	1	0.2	0	0.8	0.01	1	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0
空港草地	2	0.2	0.3	0.8	0.1	0.9	0.2	0.8	3	0.9	2.0E+02	8.6E+02	1
空港用地	1	0.1	0	0.9	0.01	0.7	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0

上空大気的气象条件はメソスケール大気シミュレーションの計算値を用いた。使用したデータは地上 10m の気温、絶対湿度、風速と地上に到達する日射量、大気放射（熱赤外放射）量とし、1 時間毎のデータを時空間で線形補完した。

#### （土地利用データの違い）

MSS データ、細密数値情報、国土数値情報には、以下のような基本的な違いがある。

- ・ 座標系：MSS データは写真測量のため様々な補正が必要、細密数値情報は平面直角座標系、国土数値情報は緯度経度基準のメッシュコード
- ・ 土地利用区分：表-8.1 参照
- ・ 作成時期：MSS データは 2002 年、細密数値情報は 1991 年、国土数値情報は 1990 年まで修正

これらの違いにより、土地利用データが一致することは考えられにくい。今回はこうした土地利用の違いが地表面熱収支解析に及ぼす影響の程度を検討することを目的としている。

ここで、熱収支解析への影響が大きいと考えられる土地分類に関して、主に国土数値情報と細密数値情報における相違について考察する。

#### （道路用地と建造物）

道路は交通排熱が大きく、熱収支計算では変化の大きな土地分類である。土地利用分類の中で道路用地の定義が細密数値情報と国土数値情報で大きく異なる。細密数値情報の道路用地は「有効幅員 4m 以上の道路、駅前広場等で工事中、用地買収済みの道路用地も含む」とあるのに対して、国土数値情報の道路（幹線交通用地）の定義は「幅員 11m 以上の記号道路、幅員 25m 以上の真幅道路、幹線道路に付随するインターチェンジ、駐車上等の用地」となっている。したがって、国土数値情報では幅員 11m 以下の道路は考慮されていないのに対して細密数値情報では幅員 4m の道路まで考慮されている。

図-8.2 に今回計算する全領域での 1000m メッシュにおける国土数値情報と細密数値情報に関して表-8.1 の土地分類対応表に基づく「道路」に関するデータの差及び「建造物」に関するデータの差を示す。ここで、白い部分は細密数値情報が大きく、灰色の部分は国土数値情報が大きいメッシュである。

細密数値情報の道路用地の面積は国土数値情報に比べて大きく、土地利用の定義により国土数値情報では細い道路が考慮されていないのが分かる。

これに対して、建造物については逆に国土数値情報の面積が大きくなっており、国土数値情報では幅員の狭い道路は建造物として分類されている。

地表面熱収支計算では土地利用データごとにこうした分類の定義に基づいたパラメータや人工排熱量の設定が必要である。

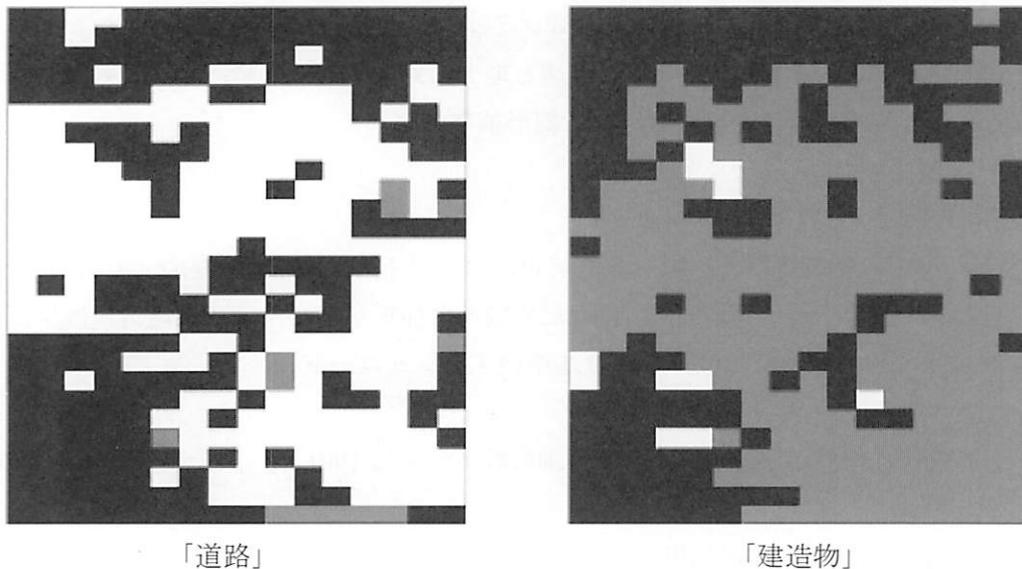


図-8.2 「道路」及び「建築物」に関する細密数値情報と国土数値情報の差

(水面の違い)

河川や海域など水面は都市の冷熱源として熱計算では重要である。特に河川の都市温暖化に対する効果は重要と考えられている。細密数値情報では

[河川・湖沼]として「河川(河川敷, 堤防を含む), 湖沼・溜池, 養魚場, 海浜地」と定義されているのに対して, 国土数値情報では

[河川敷(人工利用地は除く)]として「河川区域の河川敷(低水・高水敷)および地形図による河川敷人工利用地は含まない」と

[河川敷内人工構造物]として「河川敷内にある区分 1,2,3,4,7 である区域および 10 のうち荒地および用途が判断できない空地をのぞく区域」

と定義されている。(注: 定義は原文「数値地図ユーザズガイド, (財) 日本地図センター」のまま。国土数値情報の区分 1 は田, 2 は畑, 3 は果樹園, 4 はその他の果樹園, 7 は建物用地, 10 はその他の用地)

つまり、細密数値情報では、河川敷が含まれるのに対し、国土数値情報は、主に河道を抽出している。この様に、河川敷に関する定義に細密数値情報と国土数値情報では相違がある。

図-8.3 に細密数値情報と国土数値情報の土地分類対応表(表-8.1)における[水面]に関する相違を示す。ここで、細密数値情報と国土数値情報の図は白が 1000m メッシュ内ですべて水面であり黒がメッシュ内に水面がないことを表す。



### 8.1.3 計算結果

(計算値と測定値の比較)

図-8.4 に土地利用データにMSSデータを用いた計算結果を示す。ここでは 100m メッシュ単位での計算値と測定値の相関を示す。これらに示す表面温度は 100m メッシュ内の各土地分類での表面温度を土地分類面積率に基づいて 4 乗平均とした。

メッシュ毎の表面温度は最大で 10℃程度の差異があるものの、計算値は測定値を良く再現している。

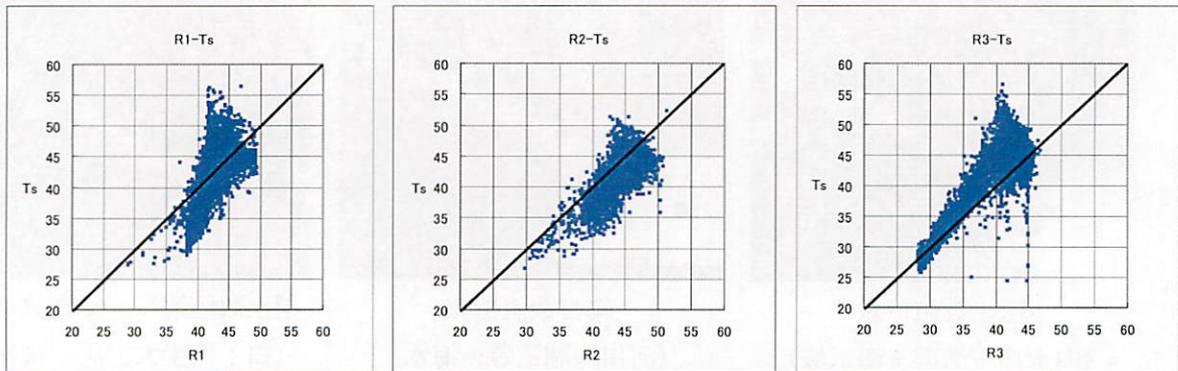


図-8.4 MSS データによる計算結果

表-8.4 に各土地分類別の表面温度の測定値と計算値の領域平均値の比較を示す。各土地分類別の表面温度  $Tk$  は 100m メッシュごとと表面温度  $Tg_i$  から以下のようにして求めた。

$$Tk = \frac{\sum_i^N a_{ki} Tg_i}{\sum_i^N a_{ki}} \quad (8.1)$$

ここで、 $N$  は計算領域内メッシュ総数である。

表-8.4 土地分類別測定値と計算値の比較(MSS データ)

		建造物	雲	影	樹木	草地	焼け跡	アスファルト	裸地	コンクリート	水面	コンクリート(コンクリート)	空港内(草地)	空港内(その他)	陸地	領域平均
R 1	土地利用面積率	31.1	0.0	0.6	15.2	18.3	0.0	21.2	7.1	0.6	1.0	1.0	2.1	1.9	99.0	
	計算	43.7	0.0	43.5	39.7	42.2	0.0	44.3	43.8	44.2	37.0	47.9	42.7	45.4	43.0	42.9
	測定	44.8	0.0	43.7	35.4	41.5	0.0	44.5	44.0	45.0	35.2	44.7	50.2	49.4	42.8	42.7
	計算-測定	-1.1	0.0	-0.2	4.4	0.7	0.0	-0.2	-0.2	-0.8	1.7	3.2	-7.6	-4.0	0.2	0.2
R 2	土地利用面積率	32.9	0.0	0.8	11.7	10.5	0.0	36.7	5.8	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	98.4	
	計算	44.8	0.0	43.8	41.9	43.1	0.0	45.3	45.4	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	44.5	44.3
	測定	43.7	0.0	42.2	39.2	40.3	0.0	43.3	42.8	0.0	34.4	0.0	0.0	0.0	42.6	42.5
	計算-測定	1.1	0.0	1.6	2.7	2.8	0.0	1.9	2.6	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9
R 3	土地利用面積率	25.1	1.0	1.8	1.0	3.4	0.0	21.3	7.9	2.5	36.0	0.0	0.0	0.0	64.0	
	計算	41.2	43.7	38.5	39.5	39.1	0.0	41.7	40.9	42.2	29.3	0.0	0.0	0.0	41.2	36.9
	測定	45.1	37.8	40.2	42.8	42.6	0.0	44.3	43.4	44.6	29.3	0.0	0.0	0.0	44.2	38.8
	計算-測定	-3.9	5.9	-1.7	-3.3	-3.5	0.0	-2.6	-2.5	-2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.0	-1.9

領域によって違いがあるものの、地表面熱収支解析により表面温度を±4°C程度で再現している。内陸の R1, R2 領域では計算値がおおむね高くなっているのに対して、海に近い R3 領域では逆に計算値の方が低くなっている。これは、海風や水面の影響をシミュレーションでは過大に評価していることが考えられる。

計算結果は各領域の平均値に対して、メッシュ毎のばらつきや土地分類毎のばらつきが大きい。そこで、メッシュ毎の計算値と測定値の残差について検討した。図-8.5 にメッシュ毎の計算値と測定値の差をヒストグラムで表した。

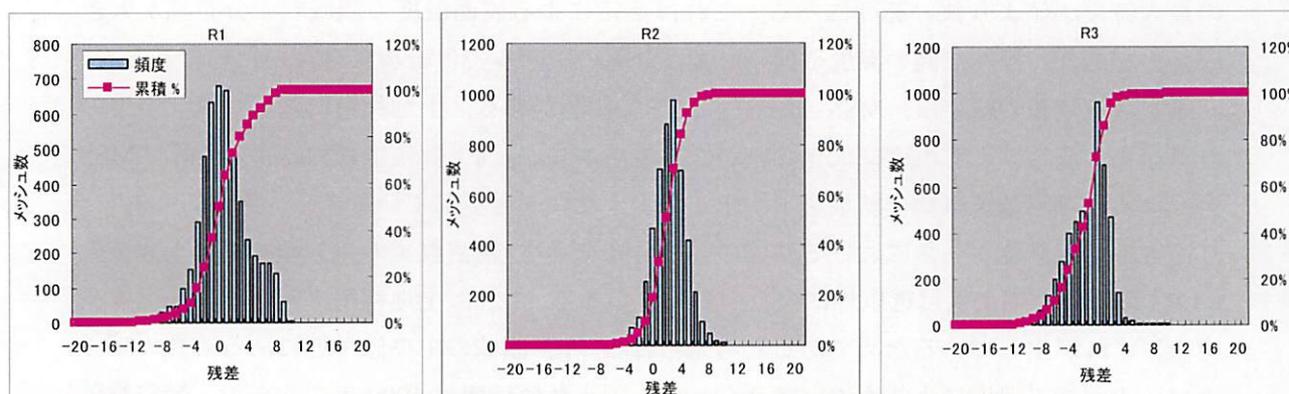


図-8.5 メッシュ毎の残差のヒストグラム

メッシュ毎の残差は、領域平均値 (R1:0.2, R2:1.9, R3:-1.9) を中心にほぼ正規的に分布していると考えられる。したがって、残差の分布状態は標準偏差 (=標準誤差) で比較することにより、これらの予測精度の比較が可能と考える。

この場合の各統計量を表-8.5 に示す。

各ケースとも重相関係数は0.7以上であり測定値と計算値は相関が高く、度数分布をみると標準誤差内では母数の80%以上が含まれていた。

これらから、各計算値の精度評価を残差平均値、標準誤差及び相関係数で行うと、計算精度は残差の平均値 (=0.1) および標準誤差 (=3.5) の最大値から±3.6°C程度となる。

表-8.5 メッシュ残差統計量

	R1	R2	R3
観測値領域平均	42.7	42.4	38.8
計算値領域平均	42.9	44.3	36.9
残差領域平均	0.2	1.9	-1.9
標準誤差	3.52	2.29	3.14
相関係数	0.719	0.722	0.936

(土地利用データによる計算精度の相違)

前述の3箇所の計算領域において土地利用データのみを代えた計算を行い、土地利用データが予測結果に及ぼす影響を検討した。

図-8.6, 図-8.7にMSSデータ, 細密数値情報, 国土数値情報による各計算領域での計算結果と測定値の比較を示す。測定値は赤外画像から得られた表面温度である。

MSSデータと細密数値情報の計算は100mメッシュであるのに対して、国土数値情報は1000mメッシュで計算を行った。

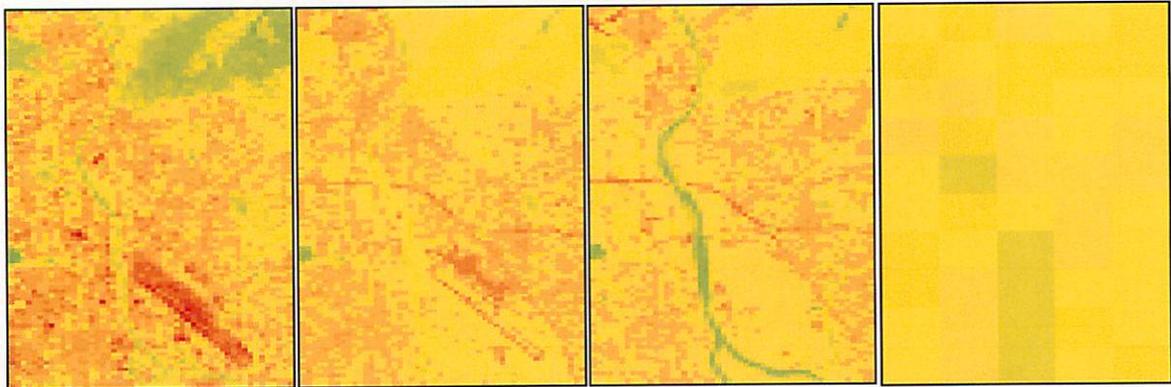
何れの計算でも計算値と測定値は相関が見られるが、計算値の最大値, 最小値は測定値の最大値最小値より狭い範囲にある。これは測定による表面温度の領域内の分布幅が大きいためであり、極端に高い温度や低い温度は計算のモデルでは表現できないためである。

細密数値情報の結果は、MSSデータに比べて相関が悪く、土地利用に基づく表面温度の計算結果と測定による温度に大きな差がある地点が多い。国土数値情報の結果は、概ねMSSデータ及び細密数値情報の結果を平均化したような傾向を示している。

図-8.8に各計算ケースにおける残差の頻度分布を示す。細密数値のR3領域と国土数値のR1,R3領域では中央値付近以外に複数のピークがある。これは土地利用データと表面温度測定値にずれが生じているためであると考えられる。R3領域の中央値付近にある複数のピークは、水面での温度によるものと考えられる。国土数値情報は1990年ごろまで、精密数値情報は1991年の土地利用を基に作成されているため、R3領域のようなウォーターフロントでは土地利用の時間的な変化が大きく、現在の土地利用状態の相違が生じて計算値と測定値の違いが大きくなっている。ウォーターフロント地域を計算するには注意が必要と考えられる。

表-8.6に各ケースにおけるメッシュ毎の残差の統計値を示す。残差及び標準誤差の領域平均は計算領域によりばらつきはあるが、何れも5°C以下になっている。相関係数はMSS>細密数値>国土数値の順で高くなっていた。ここでの相関係数は、土地利用データによる計算結果と測定値の一致具合を示しており、MSS>細密数値>国土数値の順で計算精度が上がっているといえる。

R1 領域



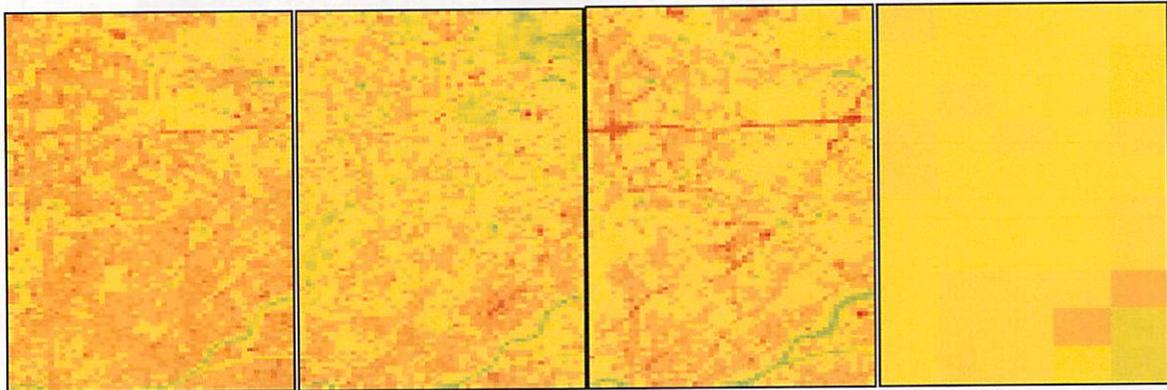
測定値

MSS

細密数値

国土数値

R2 領域



測定値

MSS

細密数値

国土数値

R3 領域



測定値

MSS

細密数値

国土数値

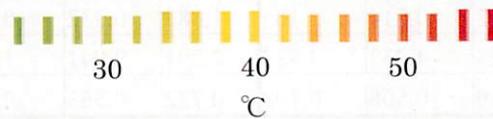


図-8.6 MSS データ, 細密数値情報, 国土数値情報による計算結果と測定値の比較

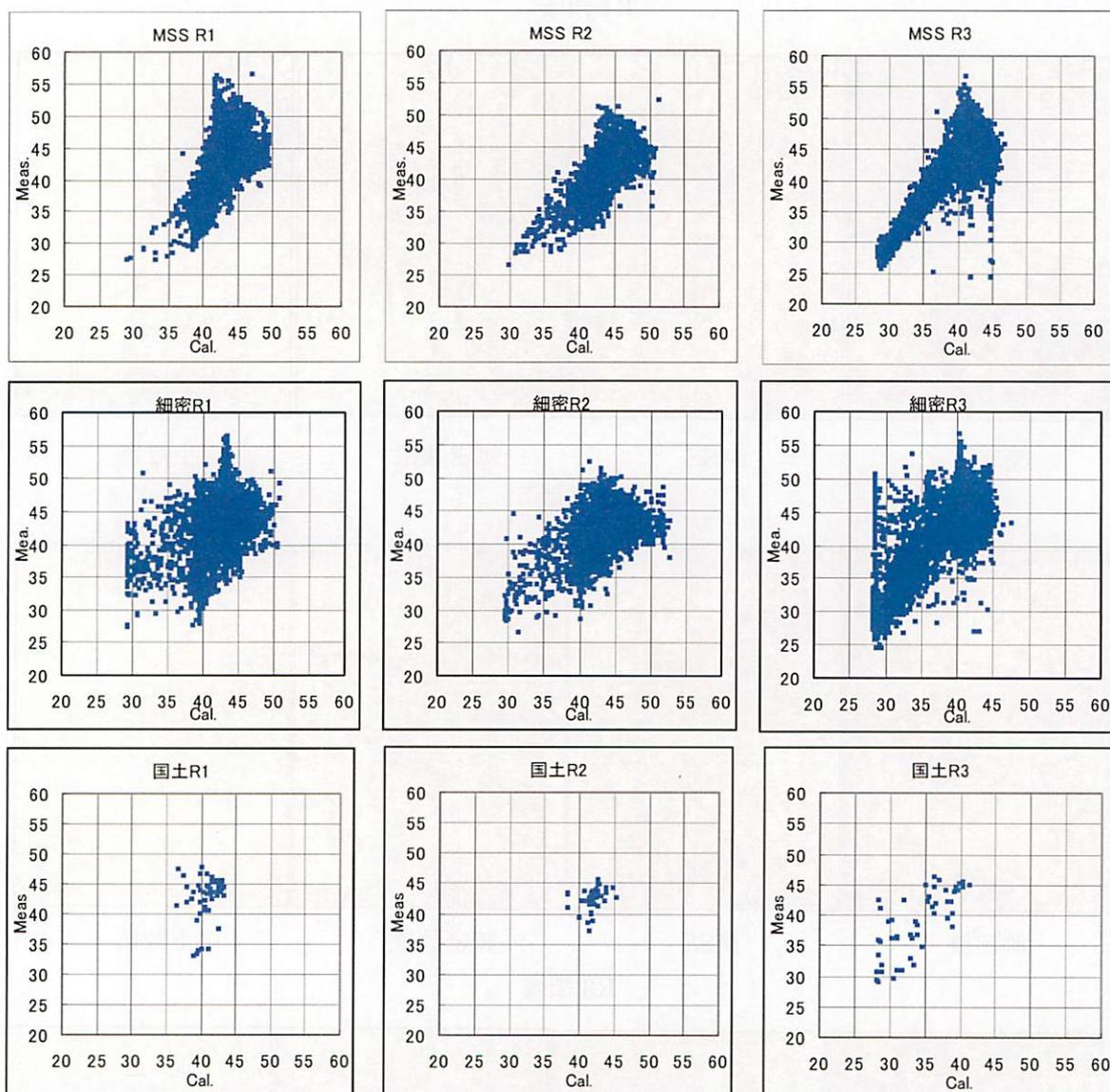


図-8.7 メッシュ毎の計算結果と測定値の比較

表-8.6 メッシュ毎の残差(計算値-測定値)の統計値

	R1			R2			R3		
	MSS	細密	国土	MSS	細密	国土	MSS	細密	国土
測定値領域平均	42.7	42.7	42.7	42.5	42.5	42.5	38.8	38.8	38.8
計算値領域平均	42.9	42.2	40.6	44.3	43.2	41.6	36.9	35.6	33.9
残差領域平均	0.211	-0.514	-2.165	1.883	0.732	-0.833	-1.904	-3.283	-4.948
標準誤差	3.524	4.233	3.733	2.291	2.941	1.831	3.142	4.220	3.537
相関係数	0.719	0.508	0.198	0.722	0.563	0.264	0.936	0.867	0.264

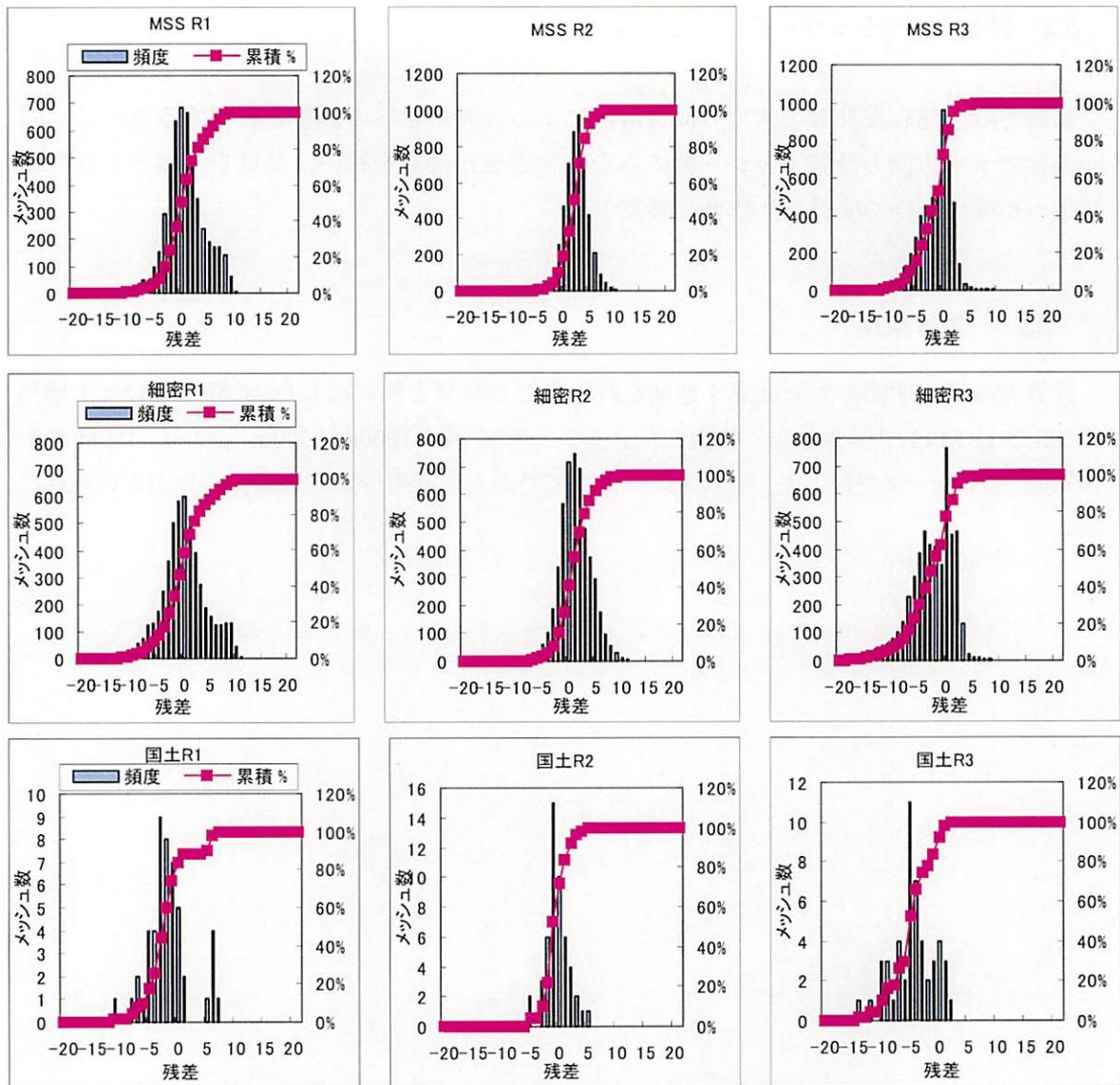


図-8.8 各計算ケースにおける残差の頻度分布

## 8.2 異なるメッシュサイズによる計算

本節では、熱収支計算の水平方向分解能による計算結果への影響を考察するために、同一条件で水平方向の計算メッシュ幅のみを変化させた計算を行い、精度を主体とした計算結果の相違について検討した結果を報告する。

### 8.2.1 計算条件

計算の条件は前節の大阪近郊3地域を対象とした計算と同じにした。計算に用いた土地利用データはMSSデータとし、検討したメッシュサイズは1000m, 500m, 200m, 100mおよび40mの5ケースで行った。各メッシュサイズでの土地利用分類「水面」の分布を図-8.9に示す。

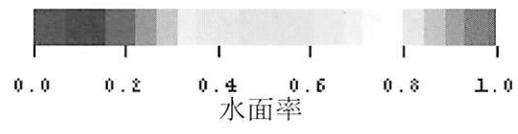
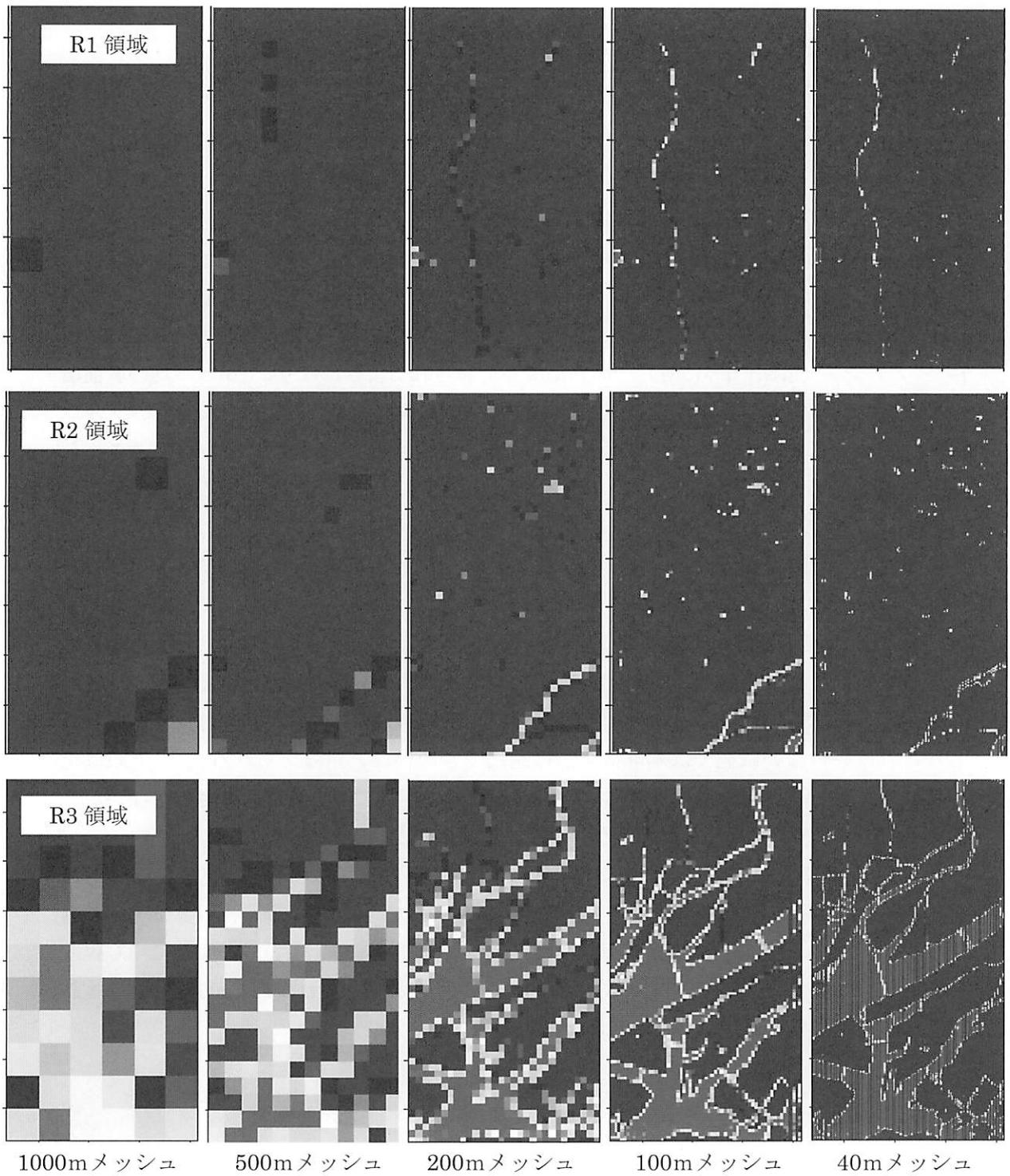


図-8.9 メッシュサイズの相違(水面率)

## 8.2.2 計算結果

### (計算精度)

前節と同じように、各領域での平均値、測定値との標準誤差および測定値との相関係数を用いて各計算ケースを検討する。

表-8.7に各計算ケースにおける統計量の一覧を示す。

また、図 8-10 に残差の領域平均値の変化を示す。全ての領域で残差平均はメッシュ幅を小さくするにしたがって増加していく傾向にある。これは、計算モデルの性質上計算の分解能が上がることにより、全ての領域で大きな面積を占め且つ夏場に高温となる[構造物]や[アスファルト(道路)]等に対して高い温度が計算されるようになり、領域平均の表面温度計算値が高くなることによる。この変化は計算上の真値に向かう変化と考えられ、メッシュ幅と共に地表面のパラメータや地面の熱容量など熱物性値にも大きく依存すると考えられる。残差平均に基づいて計算パラメータの調整を行えば、真値に漸近する計算結果が得られると考えられる。

図-8.11 に相関係数のメッシュ幅に対する変化を示す。相関係数は、全領域でメッシュ幅を小さくするにしたがって減少していく傾向に有り、特に 100m 付近で急に相関が悪くなる傾向が見られた。地表面熱収支解析では基本的に鉛直一次元性を仮定しており、水平方向には均一な状態であると考えてモデルを構築している。そのため、計算条件には水平方向分解能の下限が存在すると考えられる。つまり鉛直一次元性が確保できず水平方向の変化を考慮しなければいけない状態では本解析手法は適用できないことが考えられる。この下限は土地状態はもとより上空大気の状態にも依存するため、一概にはその値は決定できないが、今回の解析により 100m 以下ではこうした手法は適用できないと思われる。

図-8.12 に標準誤差のメッシュ幅に対する変化を示す。相関係数とは逆にメッシュ幅が減少するにしたがって標準誤差は大きくなる傾向が見られた。前述のように、計算モデルの適用限界によるものと考えられる。標準誤差はメッシュ幅 100m 以上ではおおよそ 2~3℃程度であるが、100m 以下になると全領域で 3℃を越えて上昇する。これから、100m 付近で本計算手法の適用限界が存在すると考えられる。

表-8.7 メッシュ幅の変化による各種統計量の違い

		観測値平均	計算値平均	残差平均	相関係数	標準誤差
R1 領域	1000m	42.74	42.41	-0.332	0.760	2.712
	500m	42.74	42.53	-0.212	0.719	2.957
	200m	42.74	42.72	-0.017	0.712	3.270
	100m	42.74	42.95	0.211	0.719	3.524
	40m	42.74	43.14	0.397	0.617	4.383
R2 領域	1000m	42.46	43.68	1.216	0.709	1.172
	500m	42.46	43.86	1.398	0.750	1.365
	200m	42.46	44.13	1.667	0.755	1.758
	100m	42.46	44.34	1.882	0.722	2.291
	40m	42.46	44.63	2.170	0.617	3.393
R3 領域	1000m	38.84	35.69	-3.148	0.961	1.712
	500m	38.84	36.10	-2.742	0.954	2.221
	200m	38.84	36.65	-2.190	0.948	2.723
	100m	38.84	36.94	-1.904	0.936	3.142
	40m	38.84	37.20	-1.638	0.902	3.925

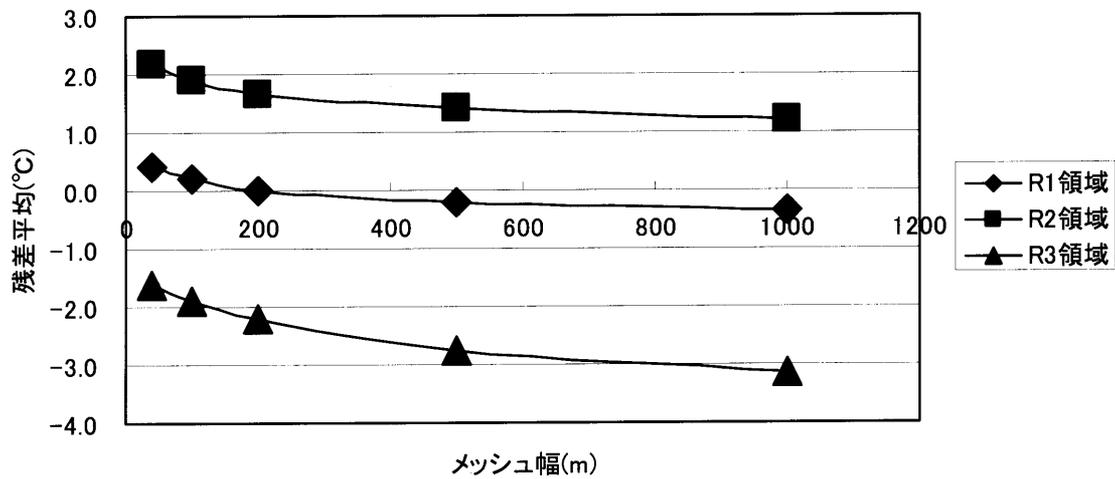


図 8-10 残差の領域平均値の変化

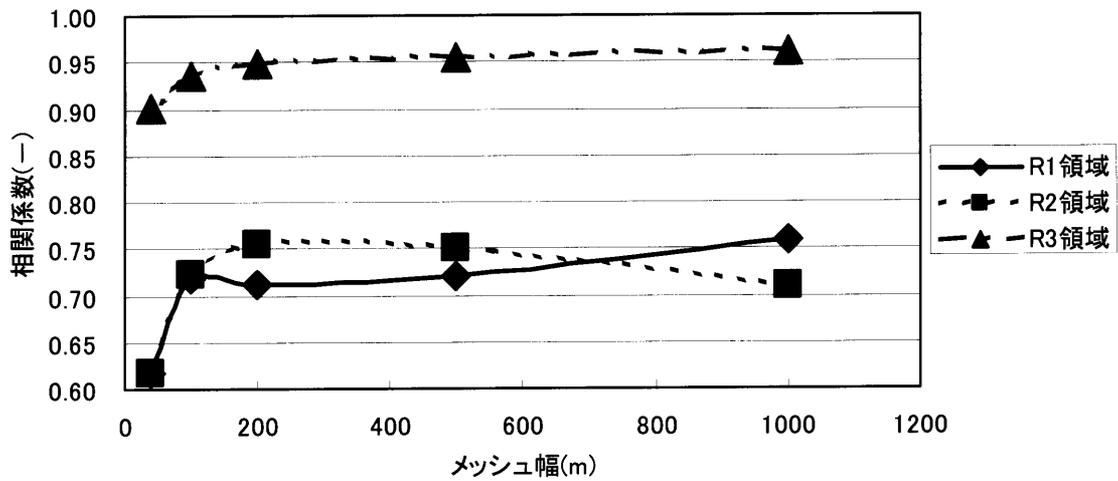


図-8.11 相関係数のメッシュ幅に対する変化

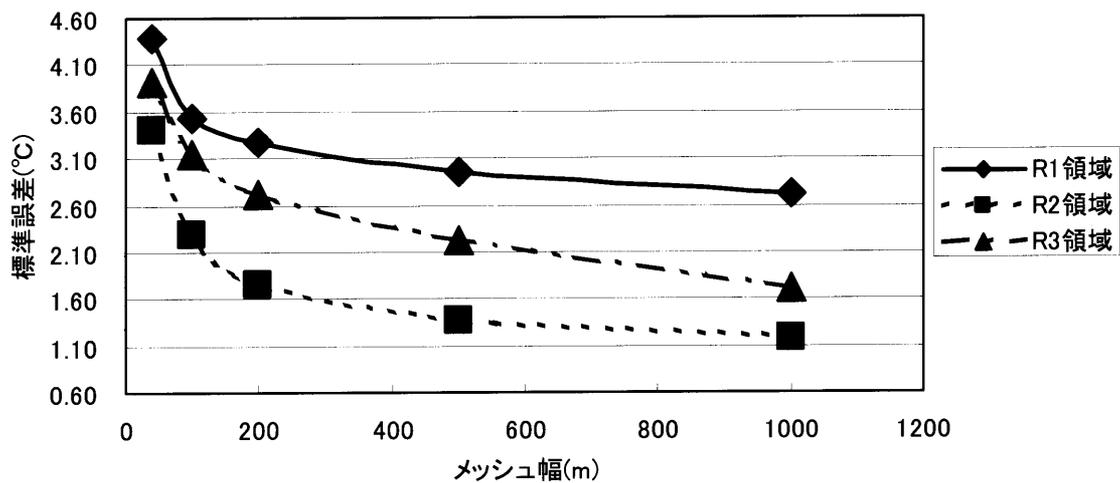


図-8.12 標準誤差のメッシュ幅に対する変化

(各土地分類における表面温度の傾向)

図-8.13 に前節の土地分類別表面温度  $T_k$  (8.1) の残差のメッシュ幅に対する変化を示す。

前述の統計量と同様にメッシュ幅 100m 以上では土地分類別の計算値と測定値の残差の変化は小さいが、100m 以下で急激に変化する。建造物以外の土地分類では 100m以下で増加しているのに対し、建造物は何れの領域でも減少する。

図-8.14 に測定値と計算値からの土地分類別表面温度を示す。主な土地分類のうち夏場の昼に高温となる建造物とアスファルトは測定値がメッシュ幅を小さくすることにより高くなっている。これに対して構造物の計算値はメッシュ幅 100m 以下で逆に低下する。これは計算モデルの限界と考えられる。都市の冷熱源と考えられる樹木や草地、水面では測定値がメッシュ幅を小さくすることにより低下する。計算値も同様な傾向を示す。水面の多いR3領域では計算値と測定値は良い一致を示しているが、樹木や草地では傾向はほぼ同じであるが、値自体は測定値に漸近しない。

メッシュ幅の変化に対して建造物以外の計算値は、測定値と同様な傾向を示しているが値自体は漸近しない。したがって、計算値の絶対値はメッシュ幅には依存せず、計算モデルに適したパラメータを与えることにより測定値と一致させる可能性があるといえる。

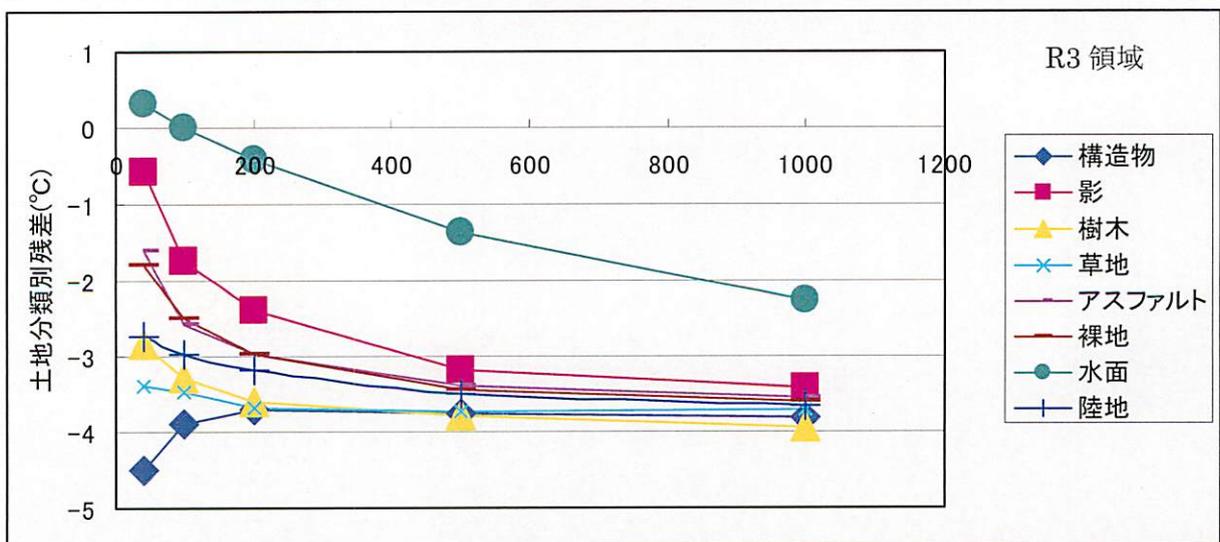
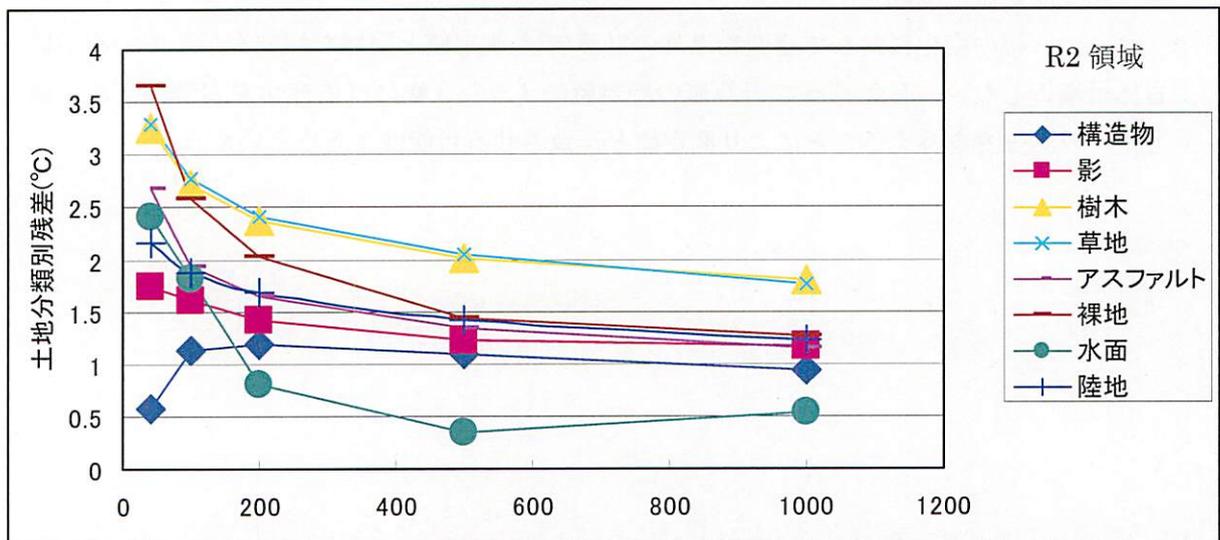
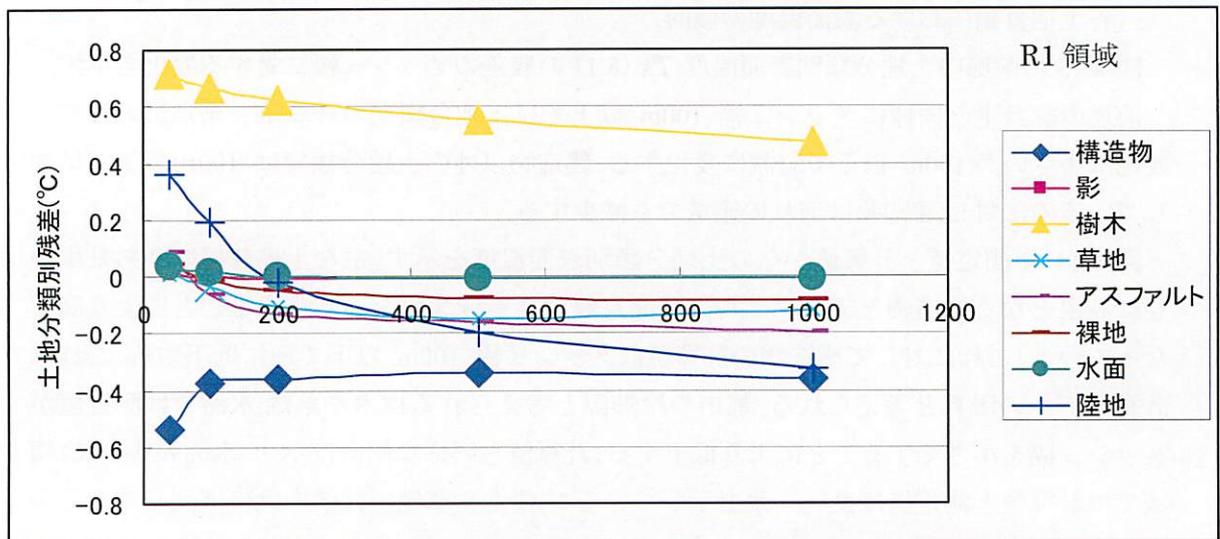


図-8.13 土地分類別表面温度  $T_k$  (8.1) のメッシュ幅に対する変化

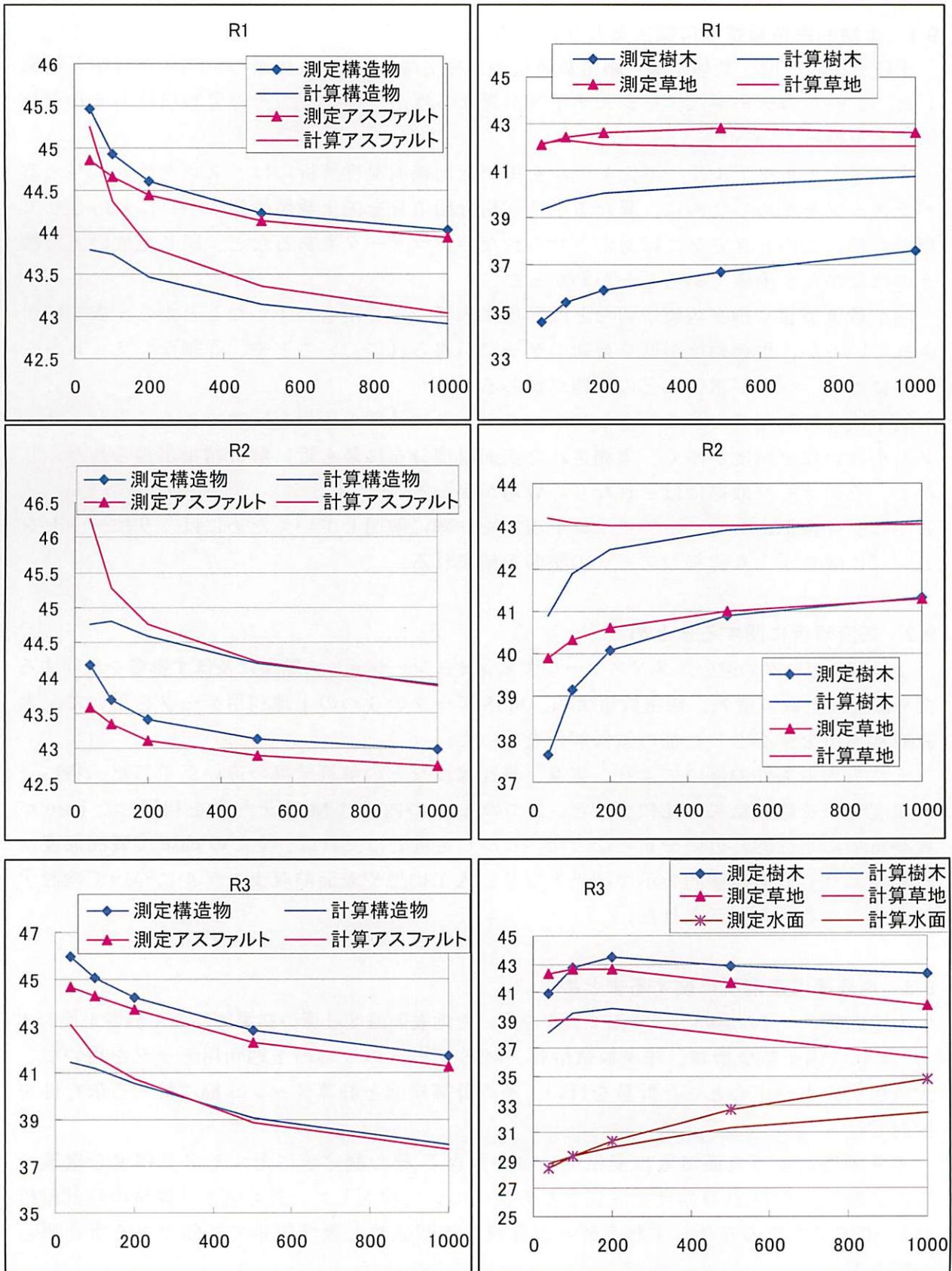


図-8.14 測定値と計算値による土地分類別表面温度の変化

## 9. まとめ

### 9.1 土地利用情報整備に関するとりまとめ

本研究では、国土数値情報、細密数値情報、航空機 MSS の3種類の土地利用情報を整備した。これらのデータはメッシュサイズが異なるばかりでなく、その分類項目もそれぞれの特徴を持っている。

メソスケールモデルや一界面モデルを用いた地表面温度解析には、プログラムに与えるパラメータを決めるために、異なる土地利用分類項目を国土数値情報の項目に対応させて用いたが、このとき完全には対応させられないパラメータもあるなど、同じ土俵の上で扱うのはなかなか困難であることがわかった。

国土数値情報や細密数値情報などは簡単に入手でき費用もわずかなことから、広く利用されているが、更新頻度が低く最新のデータが得られにくいことや、詳細なシミュレーションにはメッシュが粗いなどの問題点がある。

航空機 MSS などのリモートセンシングデータは最新の情報を反映できるメッシュサイズも小さいなど精度が高く、実測された表面温度分布に最も近い解析結果が得られた。しかし、そのデータ取得にはそれなりの費用がかかる。

しかし、今後都市のヒートアイランド現象を詳細に解明していくためには、リモートセンシングに限らずより詳細なデータの整備が望まれる。

### 9.2 気流解析に関するまとめ

土地被覆データの違いがメソスケール大気シミュレーションの結果に及ぼす影響を検討するために、国土数値情報、細密数値情報、MSS データの3つの土地利用データを用いて、大阪府吹田市を中心とした都市気候解析を行った。

それら入力条件の違いにより、気温、表面温度などの解析結果の違いが生じた。特に表面温度分布を観測結果と比較すると、3つの case の内では MSS データを利用した case が観測結果に定性的に近い分布となった。しかし定量的に見れば、全ての case で表面温度は観測値よりも低めの傾向を示す結果となり、人工排熱や表面熱収支モデルについて検討する必要があることが示された。

### 9.3 地表面温度解析に関するまとめ

土地被覆データの違いが一界面モデルを用いた地表面温度計算の結果に及ぼす影響を検討するために、国土数値情報、細密数値情報、MSS データの3つの土地利用データを用いて、大阪府吹田市を中心とした計算を行い、その計算精度と計算メッシュ幅に対する依存性を検討した。

赤外面像による表面温度は変化や分布の大きく、その測定値に対する計算精度を議論するのは難しいため、計算精度を評価する方法について検討した。測定値と計算値の統計解析から、領域平均値のみならず測定値と計算値の相関係数と標準誤差で評価できる事を明らかにした。

土地利用データの違いにより、表面温度解析の結果には大きな違いが生じ、上記の評価方法で検討した結果、MSS データ > 細密数値情報 > 国土数値情報の順で計算精度が上がるこ

とが分かった。

MSS データを用いてメッシュ幅を 1000m, 500m, 200m, 100m, 40m で計算した結果、メッシュ幅 100m 以上ではほぼ同様な計算精度が得られるが、100m 以下では計算精度が低下することが分かった。このことからメッシュ幅については解析に応じたサイズを選択すればサイズ自体は計算に影響を及ぼさないことが推測されるが、今回のように表面温度解析に鉛直一次元性を仮定した計算モデルを使用した場合には適用限界（サイズの下限）が存在することが考察できる。また、土地利用分類別の表面温度を解析することによって、計算モデルのパラメータを事前に検討する必要性があることを示すことが出来た。

#### 9.4 総括

本研究は、都市基盤整備が都市環境へ及ぼす影響の中で近年急速に顕在化しているヒートアイランド現象を取り上げ、これを解明・解決することにより他の都市環境問題に共通する事項を整理する可能性を期待して、リモートセンシングデータを利用した都市の熱環境予測方法を検討した。

第一に、航空機 MSS によるリモートセンシングデータによる土地利用情報整備を検討した結果、現在ある国土数値情報や細密数値情報との整合性や費用の面で問題はあるものの、リモートセンシングデータは都市熱環境予測に必要なデータとして有用であることが示された。また、都市の熱環境予測にはリモートセンシングに因らず詳細な情報が必要であり、使い方を考えてデータをとらないと質の低下につながるということが分かった。

第二に、国土数値情報、細密数値情報および MSS データによる土地利用情報が都市の気流解析に及ぼす影響を検討した結果、MSS データに基づく気流解析結果が定性的には観測値をよく再現することが示された。また、この検討の中から、人工排熱量などほかの入力データや地表面熱収支計算モデルについての課題も明確にされた。

最後に、地表面の温度を詳細に再現する地表面温度計算を用いて土地利用情報が計算に及ぼす影響について検討を行った結果、他の土地利用情報の計算に比べ MSS データによる表面温度計算結果が赤外面像による表面温度を精度良く再現することを定量的に示された。ここでは更にメッシュサイズが計算に及ぼす影響についても検討を行い、通常メッシュサイズの範囲ではその大きさが計算に及ぼす影響はほとんどないと考えられるが、地表面温度計算に一界面モデルを用いた場合にはメッシュサイズの適用下限が存在することも示唆された。

本研究は異なる分野の専門家が個別に検討されてきた技術を統合する分野横断的な研究であったが、その成果としてそれぞれの技術を効果的に結びつけてヒートアイランド現象を定量的に予測することが可能となった。

また、本研究で試みた都市の熱環境を予測する手法は、今後のヒートアイランド対策の評価に貢献できるものと考えられる。



東京大学 生産技術研究所  
都市基盤安全工学国際研究センター  
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1  
<http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/>  
*E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp*

*Tel: (+81-3)5452-6472*

*Fax: (+81-3)5452-6476*