

平成 28 年 4 月 14 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420651

研究課題名(和文) 東南アジア歴史都市デザインプロセスへの都市冷却効果検証モデルの組込と性能評価

研究課題名(英文) A Study on New Urban Design Process Incorporating Urban Cooling Effects
Verification Models for Historical Town Southeast Asia

研究代表者

篠崎 道彦 (Shinozaki, Michihiko)

芝浦工業大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：60241014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：マレーシア・マラッカはユネスコ指定の世界遺産都市であるが、指定ゾーン内の樹木や空地が乏しく、また交通渋滞の常態化による都市熱環境の悪化が懸念されている。本研究は、緑化空間の創出による熱環境の改善を歩行誘発につなげ地域価値向上のサイクルを実現するため、景観構成分析と都市冷却効果の検証機能を連携させた都市デザインプロセスの開発を目的とする。達成点として、定量解析を重合した結果を根拠とした地域緑化手法により、街路上およびその周辺での気温や地表面温度の低減効果を確認した。またこの環境改善が通過交通の低減に繋がると仮定したシナリオに基づく排熱計算を通じ、域内の交通排熱量の削減を定量的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Malacca city has been designated as a UNESCO World Heritage and became one of the popular tourist destinations in Malaysia. However green and open spaces are very limited within the designated area. Additionally, chronic traffic congestion is caused by the continuous traffic through the narrow streets, and the heat environment is getting worse. The aim of this study is to develop a new approach for urban design process, which considers landscape conservation and urban cooling effects, in order to accomplish a positive cycle for further town value improvement through increasing green spaces and walkability. As the result, it is confirmed the level of air and surface temperature reduction by overlaid shadow cast through street planting along the pedestrian walkway. Additionally, it became clear that the extent of changes of traffic heat emission on each street based on the environmental amelioration scenario could contribute to reduce traffic volume.

研究分野：都市デザイン学

キーワード：マレーシア マラッカ 歴史都市 都市デザイン 都市景観 都市熱環境 地域緑化 ウォーカビリティ

1. 研究開始当初の背景

マレー半島南西部に位置するマラッカは、旧市街地に多様な文化の融合した歴史的建造物や街並みを数多く残している。これらは2008年にユネスコ世界文化遺産として登録され、国内外から年間1,000万人を超える観光客が訪れる主要観光都市である。マラッカはマレーシア国内でも最も気温の高い都市のひとつであり、月間平均最高気温は年間を通じて32度を超える。また、市内中心部の商業地域と隣接する文化遺産指定地区は、慢性的な渋滞を伴う交通車両や大規模施設からの排熱等の影響を受けるなど、市街地の熱環境はさらに悪化しつつある。マラッカの都市経営にとって熱環境の改善は最重要課題のひとつといえる。街並みを保全すべき歴史的地区における景観構成分析と都市冷却効果の検証機能を連携させた都市デザインプロセスを開発し、都市の保全・整備のデザインが来訪者や生活者の歩行を誘発し、それが交通量低減、熱環境改善、さらなる歩行誘発へのサイクルへ繋がれば世界遺産都市としての地域価値向上にとって有意義である。

2. 研究の目的

本研究は、緑化空間の創出による熱環境の改善を歩行誘発につなげ地域価値向上のサイクルを実現するため、熱環境改善効果の定量的な検証機能を組み込んだ都市デザインプロセスの開発を目的とする。具体的には、東南アジアの歴史都市マラッカを対象に、土地利用や土地被覆の状況から緑化可能空間を判定、緑化面積拡大による熱環境の改善効果を定量的に捉えながら、回遊性を有する歩行可能な緑化ネットワークのあり方を検討する。さらに地域の熱環境改善がもたらす程度に応じ、居住者および来訪者の歩行誘発効果と自動車交通量の低減による交通廃熱量低減効果を予測する。緑化ネットワークの検討にあたっては、熱環境改善効果の検証とともに、既存の歴史的街並み保全計画との整合を取りながら、回遊ルートから主要な景観資源への視線分析をあわせて行う。効果的な緑化ネットワーク、景観構造の分析結果、既存の街並み保全・整備計画を関連づけ、都市冷却効果の検証機能を組み込んだ都市デザインプロセスを開発、その実行例として緑化ネットワークのデザインを提示して性能を評価する。

3. 研究の方法

(1) 対象地区の空間情報を収集・整備、GISに格納した上で、微気候シミュレーションを実施し、対象地区の外部環境の分析を行うとともに、街路、歴史的建造物の現状をもとにした空間構造解析を行う。
 (2) 緑化可能空間を抽出、緑化要素をパラメータにした緑化シナリオを設定、CFD解析による熱環境改善効果を検証し、冷却効果の高い緑化パターンの条件を整理する。さらに緑

化による熱環境改善が歩行誘発と自動車交通量抑制につながった場合の冷却効果を予測する。

(3) 熱環境改善効果の検証機能を組み込んだ都市デザインプロセスを開発し、対象地域の保全・整備計画と連動し、都市冷却効果を伴った緑化ネットワークのデザインを提案する。

4. 研究成果

(1) 研究対象地区マラッカの空間情報データセット作成 (学会発表④及び⑤に対応)

研究の第一段階として、マラッカ市内のユネスコ世界遺産登録エリアを中心とした、空間情報データセットの整備を行った。本空間情報データセットは、現地調査結果、及び、他資料等を参照としながら作成した一次データと、マラッカ市都市計画課の空間データをベースとし本プロジェクトの目的に合わせて改変・整備した二次データで構成される。

① 空間データの収集とデータ事前処理

マレーシア・マラッカ州は図1に示す4つの行政区域によって構成されている。デジタル空間基盤データは同4地域分が整備・管理が為されている。本研究内では、同データの最新版 (2013年7月時点) をベースとしている。



図1 マレーシア・マラッカ州の行政区界

必要な下準備として、GISデータ形式の変換、属性情報のローカライズ (マレー語から英語・日本語)、現地公式カラーコードへの対応などの必要な技術的対応を加えた。

② 収集データのタイプとコンテンツ

①で収集・整備した空間データセット一覧を表1に示す。同表中の黒文字は自治体による整備済データ、赤文字は新たに整備したオリジナルデータ (a. GIS上で対象地域を45分割したグリッドを基にGoogle Earthから切り出し繋ぎ合わせて作成した高解像度の航空写真, b. 同航空写真を基に現地調査結果を組み合わせて作成した既存の樹木・緑地・空地分布マップ, c. 同航空写真を基にトレースした建物外形データ) を示す。特に、本研究で対象としている複数街区スケールの都市デザインに関する検討ではc.の建物データが必須となるが、マレーシア国内ではまだ整備・提供がなされていない。本研究で整備したこれらデータ及び作成に係る技術的なプロセスは、今後の類似の応用研究にも有効に活用することが期待できる。

表1 空間データセット及びコンテンツ

データタイプ	レイヤ名	主要レイヤコンテンツ
ポイント	Hotel	主要宿泊施設名称
	Nama_Kampung_Daerah_Jasin	Jasin地域・主要町名
	Nama_Kampung_Kawasan_Hang_Tuah_Jaya	Hang Tuah Jaya地域・主要町名
	Nama_Kampung_Melaka_Tengah	Melaka Tengah地域・主要町名
	Places_Of_Interest	主要歴史建築物名称
Existing_Tree 主要樹木 (高さ10m以上)		
ライン	Jalanraya_L	主要道路
	Kontor_Daerah_Alor_Gajah	Alor Gajah地域・等高線
	Kontor_Daerah_Jasin	Jasin地域・等高線
	Kontor_Daerah_Melaka_Tengah	Melaka Tengah地域・等高線
	Sungai_Alor_Gajah	Alor Gajah地域・河川
	Sungai_Jasin	Jasin地域・河川
	Sungai_Kawasan_Hang_Tuah_Jaya	Hang Tuah Jaya地域・河川
	Sungai_Melaka_Tengah	Melaka Tengah地域・河川
ポリゴン	Gunatanah_Cadangan_RSN	土地利用計画図(国土計画)
	Gunatanah_Semasa_Negeri_Melaka	土地利用計画図(州計画)
	Semp_Daerah	州境界
	Semp_Dun_Melaka	州境界(上位区分)
	Semp_Mukim	州境界(下位区分)
	Semp_Parlimen	州境界(選挙区分)
	Semp_PBT	州境界(行政区分)
	Sempadan_Taman_Alor_Gajah	Alor Gajah地域境界
	Sempadan_Taman_Daerah_Jasin	Jasin地域境界
	Sempadan_Taman_Kawasan_Hang_Tuah_Jaya	Hang Tuah Jaya地域境界
	Sempadan_Taman_Melaka_Tengah	Melaka Tengah地域境界
	ZONING_MTengah	Melaka Tengah地域・土地利用現況
	ZONING_R_Jasin	Jasin地域・土地利用現況
	ZONING_RTADAG	Alor Gajah地域・土地利用現況
	ZONUTAMA_COREAREA	ユネスコ指定コアゾーン
Existing_Building 建物現況+高さ		
航空写真	MELAKA_2006.jpg	航空写真2006年版
	MELAKA_2007.jpg	航空写真2007年版
	MELAKA_2013.jpg	航空写真2013年版 Google Earth

③ 主な主題図サンプル

②で述べたGISデータセット内の主要な主題図サンプルを図2, 3に示す。またこの他、歴史的な街並み景観を形成する通り沿いの建物ファサード取得に関し、現地で撮影した個別建物の写真について、歪みの修整を行った後繋ぎ合わせパノラマ画像としてストリート毎に整備を行った(図4)。同図は作成後、GISデータ上の街区サイズを参照しその比を利用することで各建物高さの推定を行った。

研究成果(1)を通じ、マラッカ市都市計画課によって整備・管理されている空間基盤データを基とし、不足地図情報の収集、オリジナルデータのクリーニング・ローカライズ、非デジタル情報のデジタルライズ、Georeferencing(画像位置合わせ)を行い空間データベースに一元的にストックした。これにより今後の空間情報をベースとした数量的な解析・検討が可能となった。

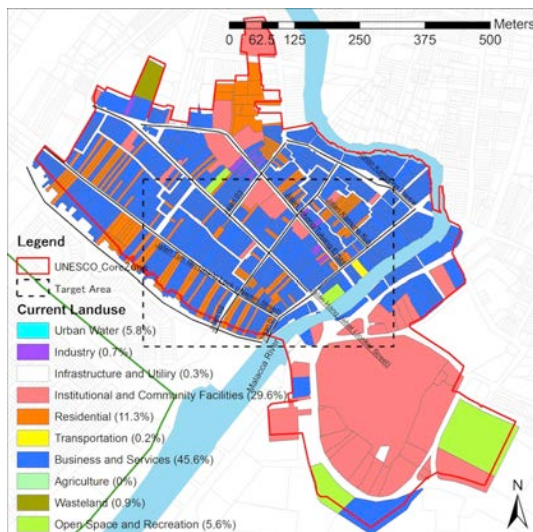


図2 土地利用現況図 (2010)

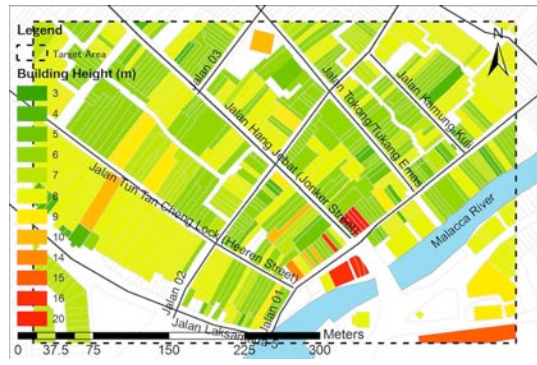


図3 建築物外形および高さの現況

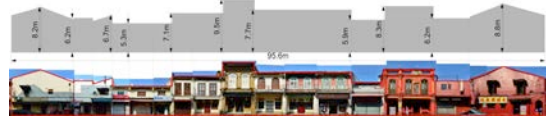


図4 ファサード写真の連結と高さ情報の取得

(2) 対象地区内の微気候シミュレーション実施及び結果分析 (学会発表⑤に対応)

研究対象エリア内において、成果(1)で整備したデータセットを活用し、既存建築物の形状、現況緑被・樹木分布、土地被覆現況、気象観測データを加味した外部空間の微気候環境の数値シミュレーションを行った。本作業では、気温・湿度・風速等の現況把握と、その効率的な作業環境の構築を目的としている。

① 対象地区の気象観測データの収集

まず、微気候シミュレーションの初期入力パラメータとして必要となるマレーシア行政機関による公式な気象観測データを収集した。担当機関であるマレーシア科学技術・開発省外郭団体であるマレーシア気象庁に必要なデータの切り出しを依頼した。これらから、2012年の1年間で最も平均気温の高い6月を選択し、この年の夏至日となる6月21日を最も安全側と仮定し、シミュレーションに用いる気温・湿度の代表日として設定した。また風速に関しては、同年の風配図から卓越風のデータを参照した。1.8 m/s の風速・北東方向(45度)からの風の値を用いる。これらの初期値を表2にまとめる。

表2 シミュレーション初期入力パラメータ値

Date	21 June 2012*
Duration	24 hours (6pm 20 June – 6pm 21 June)
Wind Velocity	1.8 m/s** at 10 m above from the ground
Wind Direction	45 degree** (from North-East)
Temperature	301.3 K*** (28.1 degree C)
Relative Humidity	80.5 %***

*The day of Summer Solstice in 2012

**Yearly Prevailing Wind and Direction in 2012

***Monthly Mean Value in June 2012

② 微気候シミュレーション環境の構築

次に、GISに格納された各種空間データや主題図をコアとして、データの入出力・微気候シミュレーション・可視/不可視解析を可能な限りシームレスに行い、結果データを管理するための統合的な解析・システム環境を構築した(図5)。本研究の用途に合わせて、特にデータ入出力作業に必要なデータコンバータ部分について、既存プログラムとオリジナルのプログラムを組み合わせる

成している。以降の解析作業に必要なデータの生成、結果の一元管理・表示作業の簡便化・一元化を目的としている。

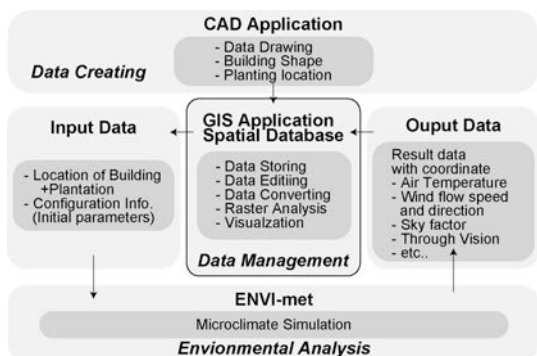


図5 GISをコアとした微気候シミュレーション環境構築

続いて、建物高さ・草木高さ・土地被覆等を考慮した3次元空間における微気候シミュレーションを行う。シミュレーションにはENVI-metモデルを用いた。シミュレーションに用いるグリッドサイズは2 x 2 x 2.5 m (x, y, z), グリッド数は240 x 160 x 20 (x, y, z)と設定し計算空間を確保した。尚、ENVI-metモデルでは人工排熱の影響は考慮されていないことに留意する必要がある。

③ シミュレーションの主要結果

ここで数値シミュレーションによる外部空間の主要な現況結果の抜粋を示す(図6, 7)。

研究成果(2)を通じ、(1)で整備した空間情報データセットをベースとし、微気候環境シミュレーションに必要な初期入力データおよびGISをコアとする実行環境を整えた。これに

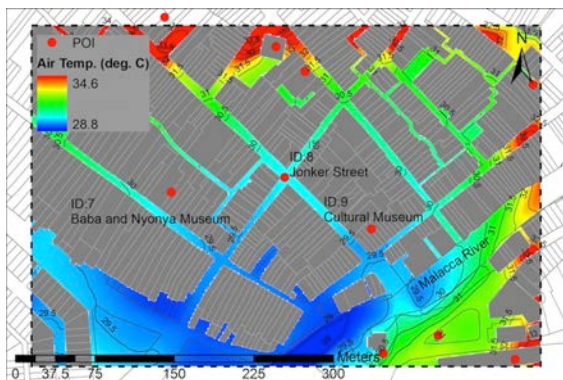


図6 周辺気温分布(午後2時・地面上1.5 m)

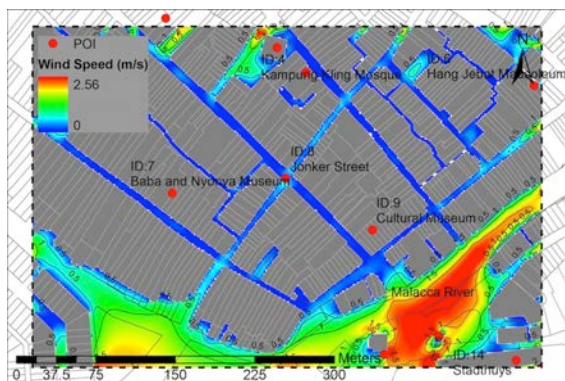


図7 風速分布(午後2時・地面上1.5 m)

より、計算の実行から結果データの解析・図化・管理までの一連作業の大半を共通のプラットフォーム上で行うことが可能となり、今後の計算・分析作業の効率化が図られた。

(3) 街並み・景観分析及び緑化推奨空間の抽出(雑誌論文①, 学会発表②, ③に対応)対象地区内における微気候環境と、歴史的街並み・景観分析の分析結果を踏まえた将来的な地域緑化推奨空間を定量的・科学的に抽出する手法・プロセスを開発した。

① 歴史的街並み・景観分析の実施

成果(1)及び(2)で整備・構築した空間データベースを利用し、a. Space Syntax理論およびb. GIS上のViewshed Analysisによる可視・不可視計算を組み合わせ、UNESCOコアゾーンにおける街並み・景観分析を行った。街路間の接続性解析にはdepthmapXをツールとして用いた。先ず街路ネットワークの接続性(統合性)の検討を目的とし、Axial Map Analysisを行った。図8はAxial Mapの結果であり、これは各街路ネットワークのConnectivity(接続性)の強度を示すグラフとなっている。

続いて、同じくdepthmapXをツールとして用いた街路の視認性分析(Visibility Graph Analysis)を行う。本検討では特に、Visibility Graph Analysisの値を基に算出されるThrough Vision値に着目し解析を行う。この値は理論上、域内を滞留する人々の動線と関連が強い指標と考えられている(図9)。



図8 Integration Value (統合値)

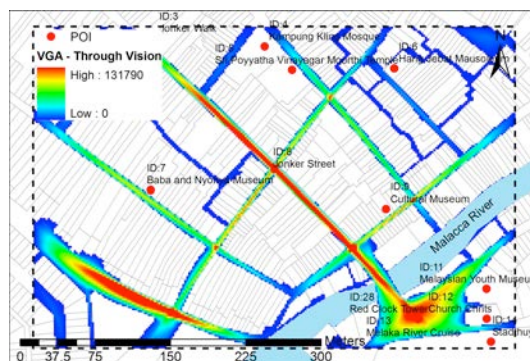


図9 Through Vision値の結果

さらに、コアゾーン内に分布する歴史的建造物を対象とし、これらポイントに対し各街路上(地上1.0 m)からの可視・不可視についての検討を行った。ここではツールとして

ArcGIS上のViewshedコマンドを用いて解析を行った(図10)。同図中に赤丸で示す建築物からの可視エリアを緑色で、構造物に遮られた不可視のエリアをピンク色で示している。この結果から緑色で示すエリアは、例えば将来的な都市緑化を施す際の樹木の配置等を考えるに際し、建築物への視線を遮らぬよう、その高さや樹幹サイズ等を考慮すべきエリアとして活用する可能となる。

② レイヤリングと域内緑化推奨空間の抽出
ここでは、これまでに算出した以下の5指標について扱う。

1. 気温(°C, 14時時点, 地上1.5m面)
2. 風速(m/s, 14時時点, 地上1.5m面)
3. 可視/不可視エリア(Viewshed Analysis結果, 地上1.0m面)
4. Through Vision値
5. Integration値(Radius 3)

これらの指標を重合し、複数の視点から見た将来的な緑化ポテンシャルエリアの抽出・特定を行った。図11より、先ずIntegration値を除く4指標について、GIS上で統合する。この際、各指標値の値は等しいと仮定して加算する。重合後の結果に、Integration値をオーバーレイし、図12に示す合成マップを得た。

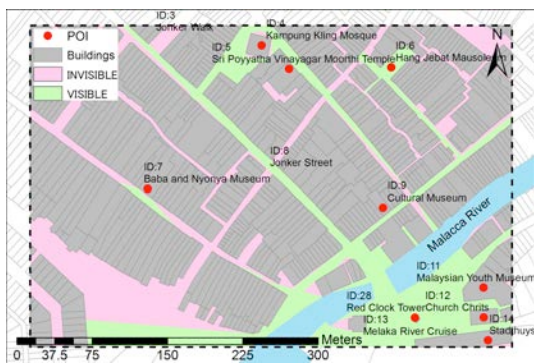


図10 Viewshed Analysisによる可視/不可視解析の結果



図11 ラスタ4指標とベクター1指標の合成

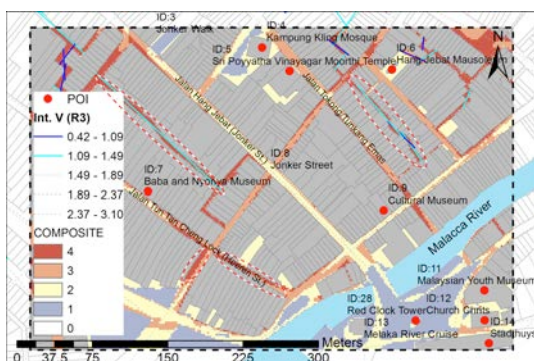


図12 5指標合成後のランク別将来緑化推奨エリア

研究成果(3)を通じ、微気候と景観解析の両視点から、地区の将来的な熱環境改善・歩行者回遊性の向上に資する緑化推奨エリアの抽出を行った。得られた結果より、将来的な地域緑化へのポテンシャルが高いと考えられるエリアを視覚的に把握することが可能となった。これにより、客観的データに基づく緑化案の策定と、定量的な周辺熱環境の改善・把握に繋げることが期待できる。

(4) シナリオ別域内緑化の作成・適用と都市熱環境改善効果の定量的分析(学会発表②に対応)

成果(3)で開発・提案した地区緑化推奨エリアの算出結果を基に、域内緑化シナリオ及びモデルデータの作成・同作成データに対する微気候シミュレーションの適用と、域内の通過交通量予測に基づく交通排熱変化と緑化シナリオとの関係について分析を行った。

① 地域緑化シナリオの設定

先ず以下に述べる3パターンでの地区緑化シナリオを作成した。**Case 1**を現況とし、比較分析のベースと位置づける。**Case 2**は市の作成した既存都市保存計画の特にランドスケープ計画・デザインガイドライン項目に従った最低限の地域緑化を施すものとした。**Case 3**として、対象エリア内の建築物、道路幅員・配置、オープンスペースとの関係から、樹木で覆われた歩行者専用道路の設置、緑化バックレーンとの接続を含む大幅な地域緑化を考慮したものとする。(図13, 14参照)



図13 緑化シナリオCase 3適用後の域内平面図



図14 緑化シナリオに基づくデザイン要素適用後イメージ

② 緑化シナリオの適用と微気候シミュレーションの実行および解析

結果の一例として、Case 3とCase 1との周辺気温の変化に着目する。図15に示す通り、緑化による影響は樹木下だけでなく、交差点や街路沿いのオープンスペースにも波及していることが分かる。交差点付近など、約0.5°Cの差が生じている部分も多く見られる。効果の

程度・範囲が大きく、域内全体の温度低減に寄与していることが分かった。

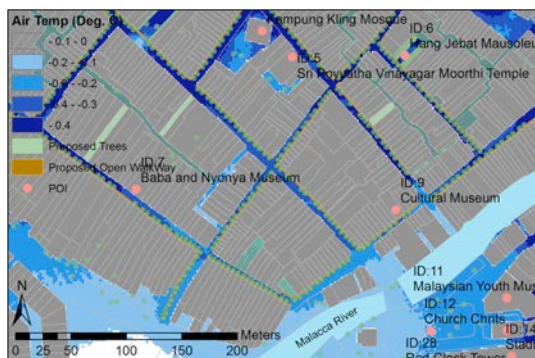


図15 周辺気温変化の分布 (Case 3とCase 1の差分)

研究成果(4)を通じ、歴史的建物・街並みの保全と、将来的な歩行回遊性の向上を目指した地域緑化提案を通じ、新設の植栽を加えた歩行者専用道路上では、平均約0.8℃の周辺気温と約7℃の地表面温度低減の効果がみられた。

(5) 緑化による自動車交通量抑制のシナリオ作成と冷却効果予測 (学会発表①に対応) 成果(4)で明らかとした地域緑化による都市熱環境改善結果の程度を踏まえ、これらが将来的な歩行誘発と自動車交通量の削減に繋がるとする複数シナリオを作成した。続いてシナリオをベースとし交通排熱量の低減予測を行った。表3の結果に示す通り、通過交通量を最大25%減とするScenario 1と最大50%とするScenario 2により、対象エリア内全体で各々7.2%、15.9%の交通排熱量の削減に繋がることが明らかとなった。

表3 シナリオ別交通排熱量の低減効果予測

Street Name	St. ID	Class	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1 + Guideline	Scenario 2 + Guideline
Jalan Tun Tan Cheng Lock (Heeren Street)	10	M	-8.0%	-19.9%	-36.9%	-45.1%
Jalan Hang Jebat (Jonker Street)	12	M	-5.2%	-13.1%	-5.2%	-13.1%
Jalan Tokong/Tukang Emas	8	H	-22.5%	-45.0%	-22.5%	-45.0%
Jalan Kamung Kuli	7	H	-22.5%	-45.0%	-100.0%	-100.0%
Jalan Kampung Pantai	1	-	-	-	-	-
Lorong Hang Jebat	6	M	-9.0%	-22.5%	-9.0%	-22.5%
Jalan Laksamana	5	-	-	-	-	-
Jalan Hang Lekir	11	H	-13.0%	-26.1%	-13.0%	-26.1%
Jalan Tokong	14	H	-22.5%	-45.0%	-22.5%	-45.0%
Total			-7.2%	-15.9%	-22.4%	-28.1%

研究成果(5)を通じ、シナリオ別の交通排熱量低減の予測を行い、成果(4)内で提案した地域緑化案による周辺熱環境の改善と合わせ、交通排熱量低減の度合いを定量的に把握することが可能となった。

本研究を通して、蒸暑気候下の歴史都市における景観保全と熱環境改善の両面に資する地域緑化手法の開発と都市デザインプロセスへの組込を行い、その有効性を示した。個々の定量解析と効果の確認を通して蓄積された科学的な知見やデータは、今後の東南アジアにおける都市緑化と熱環境改善に関する研究の発展に繋がることが期待できる。

5. 主な発表論文等 [雑誌論文] (計1件)

- ① Kei Saito, Ismail Said, and Michihiko Shinozaki: "An Analytical Approach Toward a Future Neighborhood Green Corridor for Enhancing Walkability in the Context of a World Heritage Site: Malacca, Malaysia", *Journal of Sustainable Urbanization and Regeneration*, pp. 43-52, Sep., 2015 (査読あり)

[学会発表] (計5件)

- ① Kei Saito, Ismail Said and Michihiko Shinozaki: "Estimating the Effects of Traffic Heat Reduction through Neighborhood Greening Method in A World Heritage Site - Malacca, Malaysia", *The 10th International Conference on South East Asian Technical University Consortium*, Feb. 2016, Tokyo (Japan)
- ② Kei Saito, Ismail Said and Michihiko Shinozaki: "Scenario-based Application of Neighborhood Greening Methods towards Mitigating Urban Heat Environment in a World Heritage Site - Malacca, Malaysia", *The 13th International Congress of Asian Planning Schools Association*, Aug. 2015, Johor Bahru (Malaysia)
- ③ Kei Saito, Ismail Said and Michihiko Shinozaki: "An Analytical Approach Toward Future Neighborhood Green Corridor for Enhancing Walkability in the context of World Heritage Site - Malacca, Malaysia", *The 1st International Alliance for Sustainable Urbanization and Regeneration*, Oct. 2014, Chiba (Japan)
- ④ Kei Saito, Ismail Said, and Michihiko Shinozaki: "A Digital Approach towards Understanding of Urban Physical Environment in the context of UNESCO World Heritage Site - Malacca, Malaysia", *The 8th International Conference on South East Asian Technical University Consortium*, Mar. 2014, Johor Bahru (Malaysia)
- ⑤ Kei Saito, Ismail Said, and Michihiko Shinozaki: "A Study Towards Green Neighborhood Approaches in the Malacca World Heritage Site, Malaysia: Quantitative Analysis of Relationship between Historical Landscape Components and Green Spaces distribution", *The 12th International Congress of Asian Planning Schools Association*, Nov. 2013, Taipei (Taiwan)

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
篠崎 道彦 (SHINOZAKI, Michihiko)
芝浦工業大学・デザイン工学部・教授
研究者番号: 60241014
- (2) 研究協力者
斉藤 圭 (SAITO, Kei)