

# 博士論文

緑地をもたらす冷却効果と視覚効果による都市の快適性向上

外 崎 公 知



# 目 次

目 次 .....	i
図表目次 .....	iv
第1章 研究の背景と目的 .....	1
1-1 背景 .....	1
1-1-1 低炭素都市づくり .....	2
1-1-2 都市の生物多様性評価指標 .....	5
1-1-3 都市の緑量と心理的効果 .....	7
1-1-4 都市化, 生物多様性, 生態系サービスに関する地球規模の評価 .....	8
1-1-5 都市ランキングの評価指標と緑 .....	9
1-2 問題意識 .....	10
1-3 研究の目的 .....	11
【補注】 .....	12
【引用文献】 .....	13
第2章 既往の研究 .....	15
2-1 緑地が有する冷却効果に関する研究 .....	15
2-1-1 土地被覆の違いが気温に与える影響の評価・分析 .....	15
2-1-2 通風性の確保や建築物等の緑化による冷却効果の評価・分析 .....	16
2-1-3 都市気象の数値流体力学(CFD)モデル等による分析 .....	16
2-2 都市の気温降下に関する研究 .....	17
2-3 緑視率と心理的効果に関する研究 .....	18
2-3-1 緑視率と心理的効果に関する定量的分析 .....	18
2-3-2 緑の視覚刺激が温熱感に及ぼす影響 .....	18
2-3-3 行政計画における緑視率の導入状況 .....	19
【引用文献】 .....	20
第3章 緑地が有する夏季における冷却効果の推計 .....	23
3-1 背景と目的 .....	23
3-2 計測と解析の方法 .....	24
3-2-1 対象地 .....	24
3-2-2 気温データの収集 .....	30

3-2-3 関連データの収集 .....	32
3-2-4 解析の方法 .....	44
3-3 各種データの算出結果 .....	45
3-3-1 夏季の昼間における冷却効果 .....	45
3-3-2 夏季の夜間における冷却効果 .....	57
3-4 まとめ .....	67
【補注】 .....	68
【引用文献】 .....	69
第4章 都市の夏季夜間における樹林地の冷却効果に与える風速と雲量の影響 .....	70
4-1 背景と目的 .....	70
4-2 調査方法の概要と使用データ .....	71
4-3 夏季の風の出現状況 .....	75
4-3-1 港区周辺の風向 .....	75
4-3-2 港区周辺の風速 .....	82
4-4 夜間の温度降下量と風速・雲量の関係 .....	84
4-4-1 風速・雲量データ等の収集と温度降下量等の算出 .....	84
4-4-2 温度降下量・地点間気温偏差と風速・雲量の相関分析結果 .....	86
4-4-3 温度降下量を目的変数とした重回帰分析の結果 .....	87
4-4-4 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析の結果 .....	88
4-4-5 2005年、2006年、2007年のデータによる検討 .....	89
4-5 樹林地の冷却効果と風速・雲量との関係 .....	95
4-5-1 樹林地面積と気温との関係 .....	95
4-5-2 樹林地面積率の上位・下位2群比較による検討 .....	97
4-5-3 温度降下量、樹林地面積、風速、雲量による重回帰分析 .....	100
4-5-4 境界値とした風速2m/sに関する検討 .....	105
4-5-5 考察 .....	106
4-6 まとめ .....	107
【補注】 .....	108
【引用文献】 .....	109
第5章 新たな緑視率による都市景観の快適性評価 .....	112
5-1 植物の葉の色度領域を用いた緑視率の新たな計測と解析 .....	112
5-1-1 目的と理論的背景 .....	112
5-1-2 計測と解析の方法 .....	116

5-1-3 結果及び考察 .....	121
5-1-4 緑視色度領域法の有効性の確認.....	135
5-1-5 緑視色度領域法による緑視率の1年間の変動.....	139
5-2 色度緑視率等による都市景観の定量的評価.....	146
5-2-1 目的.....	146
5-2-2 測定と解析の方法 .....	146
5-2-3 結果及び考察 .....	153
5-3 まとめ .....	175
【補注】 .....	176
【引用文献】 .....	177
第6章 都市における今後の緑化方策 .....	179
6-1 樹林地の現状と今後の動向 .....	179
6-2 冷却効果に着目した樹林地の確保方策 .....	183
6-3 視覚効果に着目した樹林地の確保方策 .....	185
6-4 新たな緑化促進方策.....	189
6-5 まとめ .....	193
【引用文献】 .....	194
第7章 本研究の成果と今後の課題.....	195
7-1 本研究の成果 .....	195
7-2 今後の課題.....	198
謝 辞 .....	200

## 図表目次

図 1-1 緑とオープンスペースの効用 .....	1
図 1-2 都市施策と低炭素対策との関係性 .....	3
図 1-3 調査地点のイメージと緑視率との関係性 .....	7
図 3-1 23区における港区の位置 .....	24
図 3-2 地形 .....	25
図 3-3 土地利用 .....	26
図 3-4 緑被地の分布状況（2006年） .....	28
図 3-5 8月の平均気温 .....	29
図 3-6 8月の日最高気温と日最低気温の推移 .....	29
図 3-7 観測地点 .....	30
図 3-8 観測地点の状況 .....	31
図 3-9 人工排熱算出用建物と東京都 GIS 建物分類との関係 .....	34
図 3-10 交通量算定対象路線 .....	41
図 3-11 23区における自動車消費エネルギー量の時間変動 .....	41
図 3-12 区域規模の考え方の概念 .....	44
図 3-13 8月の日最高気温平均値 .....	45
図 3-14 緑地の分布状況 .....	46
図 3-15 人工排熱量の分布状況 .....	47
図 3-16 8月の日最低気温平均値 .....	57
図 4-1 港区の地形 .....	72
図 4-2 気温観測点 .....	73
図 4-3 風向出現率（大手町,2005年8月午前3時） .....	75
図 4-4 各観測点の時刻別風向分布（2005年8月,1時間ごと平均風向） .....	76
図 4-5 東京タワー（H:250m）の時刻別風向分布（2005年8月） .....	79
図 4-6 観測点別・時刻別平均風速（2005年8月） .....	82
図 4-7 港区上空の時刻別平均風速（2005年8月） .....	83
図 4-8 温度低下量と風速 .....	90
図 4-9 温度低下量と雲量 .....	90
図 4-10 地点間気温偏差と風速 .....	91
図 4-11 地点間気温偏差と雲量 .....	91
図 4-12 樹林地面積率と気温偏差 .....	95
図 4-13 樹林地面積率別の温度低下量と風速 .....	97
図 4-14 樹林地面積率別の温度低下量と雲量 .....	99

図 4-15 全データと境界値風速 2m/s による回帰直線	105
図 5-1 CIE1976UCSu'v'色度図	113
図 5-2 CIE1976UCSu'v'色度図上のカテゴリカルカラー領域	114
図 5-3 定点観測地点（原図：国営昭和記念公園 園内マップ）	116
図 5-4 緑視率を一年間定点観測した地点の画像	120
図 5-5 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（6月）	122
図 5-6 葉の色度分布（6月）図 5-5 点線内拡大図	122
図 5-7 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（7月）	123
図 5-8 葉の色度分布（7月）図 5-7 点線内拡大図	123
図 5-9 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（8月）	124
図 5-10 葉の色度分布（8月）図 5-9 点線内拡大図	124
図 5-11 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（9月）	125
図 5-12 葉の色度分布（9月）図 5-11 点線内拡大図	125
図 5-13 楕円の傾斜角度	127
図 5-14 カナール噴水並木（7月）の画像	128
図 5-15 図 5-14 の u'値のヒストグラム(N=26,456)	128
図 5-16 図 5-14 の v'値のヒストグラム(N=26,456)	129
図 5-17 ふれあい橋付近（7月）の画像	129
図 5-18 図 5-17 の u'値のヒストグラム（N=30,698）	130
図 5-19 図 5-17 の v'値のヒストグラム（N=30,698）	130
図 5-20 方眼法と緑視色度領域法の比較	133
図 5-21 方眼法と G>R,B 法の比較	134
図 5-22 MWB 撮影と AWB 撮影の値	135
図 5-23 曇・少雨の日と快晴の日の値	136
図 5-24 月平均 u'v'と平均値の分布状況	137
図 5-25 緑視率の年間変動	139
図 5-26 カナール噴水並木	140
図 5-27 ふれあい橋付近	141
図 5-28 イチョウ並木	142
図 5-29 うんどう広場付近	143
図 5-30 西立川駅前	144
図 5-31 水鳥の池付近（その1）	145
図 5-32 景観評価実験に使用した画像	146
図 5-33 実験1の評価用紙	150
図 5-34 景観評価実験の装置	151

図 5-35 CIE1976 u'v'色度図上の反対色成分の定義	153
図 5-36 若年者と高齢者の評価（不快－快適）	154
図 5-37 若年者と高齢者の評価（嫌い－好き）	154
図 5-38 若年者と高齢者の評価（地味－派手）	155
図 5-39 若年者と高齢者の評価（下品－上品）	155
図 5-40 若年者と高齢者の評価（落ち着かない－落ち着く）	156
図 5-41 若年者と高齢者の評価（緑の量が好ましくない－好ましい）	156
図 5-42 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係	163
図 5-43 緑の量の好ましさと Log 色度緑視率の関係	164
図 5-44 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係（非線形回帰）	165
図 5-45 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係（評価画像 12 を除外）	166
図 6-1 樹林地面積率エリア別の面積割合	183
図 6-2 樹林地面積率エリア別の夜間人口	183
図 6-3 樹林地面積率エリア別の昼間人口	184
図 6-4 樹林地面積と平均緑視率	185
図 6-5 緑視率と枝下高	187
図 6-6 プラタナスの剪定	187
図 6-7 多様な樹木の形状	188
図 6-8 暑熱対策緑化街区 I	190
図 6-9 暑熱対策緑化街区 II	191



表 1-1 City Biodiversity Index の構成 .....	5
表 1-2 日本版都市の生物多様性指標（素案）の構成 .....	6
表 3-1 緑被地等の面積・緑被率の変遷 .....	26
表 3-1 緑被地等の面積・緑被率の変遷 .....	27
表 3-2 観測地点一覧 .....	31
表 3-3 対象とする人工排熱と利用データ .....	33
表 3-4 人工排熱調査報告書の排熱原単位（建物） .....	34
表 3-5 建物延床面積のランク区分 .....	34
表 3-6 商業建物の排熱原単位（8月の推計値） .....	35
表 3-7 ホテルの排熱原単位（8月の推計値） .....	36
表 3-8 学校及びその他用途の排熱原単位（8月の推計値） .....	37
表 3-9 集合住宅の排熱原単位（8月の推計値） .....	37
表 3-10 戸建住宅の排熱原単位（8月の推計値） .....	38
表 3-11 人工排熱量原単位の区分と道路交通センサスでの区分との関係 .....	39
表 3-12 車種別・速度別消費エネルギー係数（高位発熱基準） .....	39
表 3-13 車種別・速度別消費エネルギー係数（低位発熱基準；顕熱分） .....	39
表 3-14 交通量算定対象路線 .....	40
表 3-15 算定対象鉄道路線 .....	42
表 3-16 算定対象鉄道路線の営業キロ .....	42
表 3-17 区域規模別の各観測地点の要因データ .....	48
表 3-18 区域規模別の気温データ・各要因データの単相関分析結果 .....	51
表 3-19 説明変数群別の重回帰分析結果 .....	52
表 3-20 区域規模別の重回帰分析結果 .....	54
表 3-21 区域規模別の各観測地点の要因データ .....	58
表 3-22 日最低気温平均値と各要因データの単相関分析結果 .....	61
表 3-23 説明変数群別の重回帰分析結果 .....	62
表 3-24 区域規模別の重回帰分析結果 .....	65
表 3-25 樹林地面積と人工排熱量の寄与度 .....	66
表 4-1 風向風速の観測点 .....	72
表 4-2 気温観測点の樹林地面積・樹林地面積率 .....	74
表 4-3 風向出現率と変動率（3時） .....	80
表 4-4 大手町の風向出現率に対する特化係数（3時） .....	80
表 4-5 風向出現率と変動率（18時） .....	81
表 4-6 観測点の日平均風速と風速の減衰率（2005年8月） .....	83
表 4-7 気象データと温度降下量・地点間気温偏差 .....	85

表 4-8 全データの単相関分析結果 .....	86
表 4-9 雨天日を除くデータによる単相関分析結果 .....	86
表 4-10 雨天日を除く風向 SW 系統データによる単相関分析結果 .....	87
表 4-11 温度降下度を目的変数とした重回帰分析結果 .....	87
表 4-12 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析結果 .....	88
表 4-13 雨天日除外・風向 SW 系統の観測日数 .....	89
表 4-14 全データによる単相関分析結果 .....	92
表 4-15 風速 2m/s 以上のデータによる単相関分析結果 .....	92
表 4-16 温度降下度を目的変数とした重回帰分析結果 .....	93
表 4-17 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析結果 .....	94
表 4-18 風速 2m/s 未満のデータによる単相関分析結果 .....	94
表 4-19 気温偏差を目的変数とした単回帰分析結果 (27ヶ所) .....	96
表 4-20 温度降下量がマイナス (気温が上昇) の日数 .....	96
表 4-21 気温偏差を目的変数とした単回帰分析結果 (24ヶ所) .....	96
表 4-22 樹林地面積率別の温度降下量と風速 .....	98
表 4-23 樹林地面積率別の温度降下量と雲量 (風速 2m/s 以上 3m/s 未満) .....	99
表 4-24 全データによる相関分析結果 .....	100
表 4-25 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 .....	100
表 4-26 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速, 雲量の 2 変数) ...	101
表 4-27 風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満のデータによる相関分析結果 .....	102
表 4-28 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満) .....	102
表 4-29 風速 2m/s 以上のデータによる相関分析結果 .....	102
表 4-30 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速 2m/s 以上) .....	103
表 4-31 風速 2m/s 以上 3m/s 未満のデータによる相関分析結果 .....	103
表 4-32 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速 2m/s 以上 3m/s 未満) .....	104
表 4-33 風速 3m/s 以上のデータによる相関分析結果 .....	104
表 4-34 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速 3m/s 以上) .....	104
表 4-35 境界値毎の回帰分析結果 .....	106
表 5-1 定点観測地点と主な植物 .....	117
表 5-2 緑視率を一年間定点観測した地点 .....	119
表 5-3 定点観測地点で撮影した画像中の植物の葉の色度 u'v'値 .....	126
表 5-4 定点観測地点の緑視率 (%) .....	131
表 5-5 カナール噴水並木の緑視率 (%) .....	132

表 5-6 定点観測地点の緑視率の相関行列 .....	132
表 5-7 カナール噴水並木の緑視率の相関行列 .....	132
表 5-8 緑視率の単回帰分析結果 .....	134
表 5-9 MWB 撮影と AWB 撮影の比較.....	136
表 5-10 曇・少雨の日と快晴の日の比較.....	136
表 5-11 代表的な樹種の月平均 $u'v'$ .....	138
表 5-12 評価項目の平均値（若年者 N=10, 高齢者 N=16） .....	157
表 5-13 若年者と高齢者との相関係数 .....	159
表 5-14 若年者と高齢者の t 検定結果.....	159
表 5-15 5 評価項目の相関行列 .....	160
表 5-16 緑の量の好ましさと 5 評価項目との相関係数 .....	160
表 5-17 実験に用いた評価画像の緑視率（%） .....	161
表 5-18 属性緑視率と色度緑視率の単回帰分析結果.....	162
表 5-19 色度緑視率と 5 評価項目との相関係数.....	162
表 5-20 緑の量の好ましさと色度緑視率の単回帰分析結果（線形） .....	163
表 5-21 評価画像の赤, 緑, 黄, 青の 4 成分と色彩数 .....	167
表 5-22 快適さと 4 成分の相関行列.....	168
表 5-23 4 成分と色彩数による重回帰分析結果.....	168
表 5-24 4 成分と色彩数の VIF .....	168
表 5-25 5 変数による重回帰分析結果 .....	169
表 5-26 変数を減らした場合の重回帰分析結果.....	170
表 5-27 色度緑視率と 4 成分との相関係数 .....	173
表 6-1 公園緑地の推移.....	179
表 6-2 基準となる緑化率 .....	180
表 6-3 樹林地面積の推移 .....	180
表 6-4 街づくり地区の緑被状況(平成 23 年度).....	181
表 6-5 道路管理者別の街路樹本数の推移 .....	182



# 第1章 研究の背景と目的

## 1-1 背景

都市における緑とオープンスペースは、都市環境の維持・改善、都市の防災性の向上、都市住民のレクリエーション空間の確保、美しい都市景観の形成等の多様な効用を持っており、良好な都市環境を保持し、円滑な都市活動を支え、都市生活の安全性・利便性・快適性を確保する上で、基盤となるものである。

その効用については、図 1-1 に示すように利用効用と存在効用とに大別されている<sup>1)</sup>。利用効用とは、①休養・休憩の場、②子供の健全な育成の場、③競技スポーツ・健康運動の場、④教養・文化活動等の様々な余暇活動の場、⑤地域のコミュニティ活動・参加活動の場など、緑を利用する都市住民にもたらされる効用である。他方、存在効用とは、緑が存在することによって都市機能、都市環境にもたらされる効用であり、①都市形態規制効用、②環境衛生的効用（ヒートアイランド緩和効果、CO<sub>2</sub>吸収効果を含む）、③防災効用、④心理的効用、⑤経済的効用、⑥自然環境保全効用、⑦生物の生息環境保全効用などがある。



図 1-1 緑とオープンスペースの効用<sup>1)</sup>

今日、わが国は、人口減少・高齢化の進展、行政投資能力の減退、地方分権の進展、多様な主体の参画等に見られるような社会経済状況の急激な変動に加え、ヒートアイランド対策<sup>[注1]</sup>、地球温暖化への対応<sup>[注2]</sup>、生物多様性の確保<sup>[注3]</sup>、集約型都市構造化、都市と緑・農の共生<sup>[注4]</sup>、グリーン・インフラストラクチャーの活用<sup>[注5]</sup>等を踏まえ、都市の再生や地球環境問題へ喫緊の対応が求められている。

都市の緑に関する総合的な計画に「緑の基本計画」がある。緑の基本計画は、都市緑地法第4条に基づく法定計画であり、市町村がその区域内における緑地の適正な保全及び緑化の推進に関する施策を総合的かつ計画的に実施するため、その目標と実現のための施策等を内容として策定するものである。具体的には、緑地の保全から公園緑地の整備、その他の公共公益施設及び民有地の緑化の推進まで、その都市の緑全般について将来のあるべき姿とそれを実現するための施策を、公聴会の開催等により住民の意見を反映させつつ公表の手続きを経ることを通じて、市民とともに明らかにしたものである。平成6年の制度発足以来、平成26年3月末現在で、策定済みの市町村が669、策定中の市町村が16となっている。

公園緑地の計画に関しては、従来から公園緑地の量的所要論と配置論が議論になっている。公園緑地の所要量については、一人当たり公園面積と都市の区域面積に対する公園緑地面積の割合で示される地域占有率、の二つが論じられてきた。一方、公園緑地の配置については、主として近隣住区理論の展開の中でなされてきた公園利用に着目した分配論的配置論として議論されてきた<sup>2)</sup>。

わが国の総人口は2008年の1億2,808万人をピークに減少に転じ、成熟型都市社会を迎えているとともに、地球温暖化への適応や生物多様性の保全等に対応した立地論的配置も重要性を増してきており<sup>3)</sup>、①低炭素都市づくり、②都市の生物多様性評価指標、③都市の緑量と心理的効果、④都市化・生物多様性・生態系サービスに関する地球規模の評価、⑤都市ランキングの評価指標などの視点をも加味した、より合理的で深化した緑の総合計画への発展が求められる。

#### 1-1-1 低炭素都市づくり

IPCC：気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)の第4次評価報告書、及び平成25年9月に承認・公表された第5次評価報告書第1作業部会報告書の政策決定者向け要約(SPM)<sup>4)5)</sup>において、人間活動により排出された温室効果ガスが地球温暖化の主要な要因であった可能性が極めて高いことが示され、気候変動を制限するためには、温室効果ガスの排出量の大幅かつ持続的な削減が必要となっている。この喫緊の問題に対応するためには、図1-2に示すように住宅の環境性能向上などの単体対策とともに、市街地の拡散を抑制し、公共交通活用などの交通対策と組み合わせた集約的な都市構造に誘導すること、建物の更新を面的に推進し併せてエネルギー利用の効率化や未利用・再生可能エネルギーの活用を図ること、或いは吸収源となる緑地の保全と都市緑化を推進することなど都市分野の対策を総合的・効果的に推進することが重要であり、国土交通省は平成22年8月地方公共団体の取組みを支援することを目的に「低炭素都市づくりガイドライン」<sup>6)</sup>を策定した。

このガイドラインは、現時点の専門的知見を集約し、低炭素都市づくりの基本的な考え方、低炭素都市づくりに関する対策効果の把握に必要な方法論、数値情報が示されている。「交通・都市構造」、「エネルギー」、「みどり」の3つの分野から低炭素都市づくりの対策が示されている。

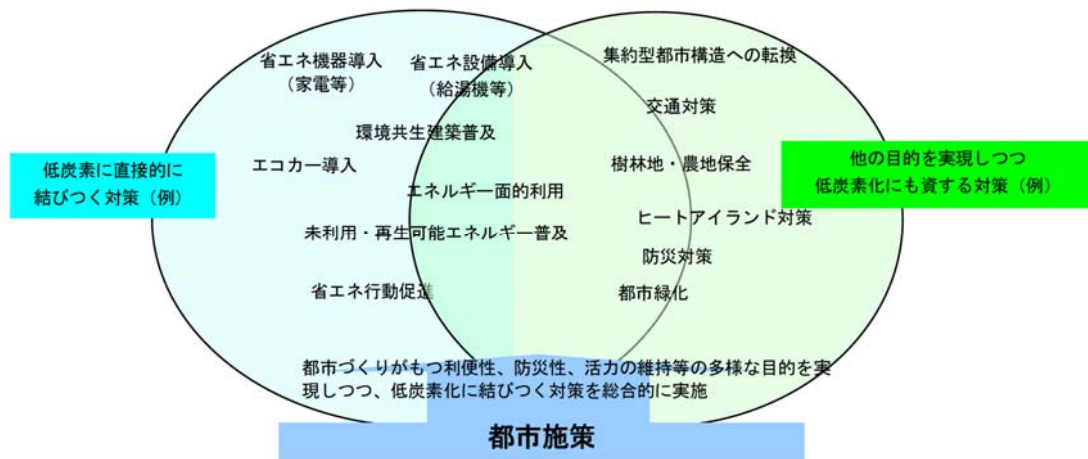


図 1-2 都市施策と低炭素対策との関係性<sup>6)</sup>

低炭素都市づくりの方針が 9 方針示されており、このうちみどり分野に関しては、以下の 4 方針である。

#### 方針 1：集約型都市構造の実現

##### ○市街地の緑化の推進と周辺の緑地等の保全による緑のネットワークの形成

- ・人口減少下では、郊外部においては、緑地や農地を適切に保全し、既存集落と自然環境が調和した地域づくりを行うことが重要である。
- ・公共交通軸や中心部への土地利用誘導により集約化が進む拠点的地域においては、緑地環境の保全・再生・創出への配慮をより一層強くしていくことが重要である。
- ・みどりの効果的な配置等を行うことによる、みどりが持つ炭素吸収機能の強化を通じた低炭素化を検討することが重要である。

#### 方針 7：吸収源の確保

##### ○緑地の保全・創出

- ・温室効果ガスの吸収源の確保という観点から、緑地の保全と都市緑化の推進は、低炭素型の都市づくりを進める上で重要である。
- ・今後、カーボン・オフセットの考え方（例えば緑税や協力金など CO<sub>2</sub> 量を相殺するような代替策を実施することで、都市内で発生した CO<sub>2</sub> 排出量を実質ゼロとみなす考え方）等により、排出される CO<sub>2</sub> の代償を緑地保全等と結びつけることも考えられる。

##### ○市民等との連携等による都市緑化の推進

- ・市民との連携や市民の主導による緑地の保全・創出施策を推進し、緑地の管理の質を高めることで、CO<sub>2</sub> の削減に結びつけることが可能である。

## 方針8：木質バイオマス利用の推進

### ○緑地の保全・管理＋市街地での木質バイオマス利用

- ・緑地の保全・創出による木質バイオマス資源の確保や、緑地の管理等にあわせて、発生する木質バイオマスを再生可能エネルギー源や堆肥等として活用することにより、都市のCO<sub>2</sub>排出量の低減につなげることが考えられる。
- ・木質バイオマス資源の活用の際は、収集コストを低減する必要があるため、市街地と自然が近接している場合は、周辺部の保全（自然整備・管理）に伴い発生する木質バイオマスを集約拠点となる市街地で積極的に利用する等、集約拠点における資源の活用と緑地の保全による資源の確保をあわせて検討し、木質バイオマス資源の地産地消を進めることが重要である。

## 方針9：ヒートアイランド対策による熱環境改善

### ○多様なスケールに応じたヒートアイランド対策の連携

- ・ヒートアイランド対策は、冷房需要の低減等を図ることによりCO<sub>2</sub>の排出の抑制につながるため、ヒートアイランド現象が顕著な大都市では、特にその対策が重要となる。
- ・広域レベル、都市レベル、地区レベルといったスケールに応じ、ヒートアイランド対策の影響の範囲や対策に要する時間が異なるため、各スケールの特性に応じた多面的な対策を連携して実施することが重要である。
- ・広域レベルでは、排熱削減や都市緑化等による被覆改善等によるミティゲーション（気温の低下等によるヒートアイランド現象の緩和）が重要であり、地区レベルでは、ミティゲーションとあわせて、緑陰形成や風の流れを活用することによる、アダプテーション（高温化した都市での快適性の向上）が重要となる。

また、「低炭素都市づくりガイドライン」には、効果分析方法として、各分野におけるCO<sub>2</sub>削減・吸収量の推計方法が示されており、みどり分野では、CO<sub>2</sub>固定・吸収量の算出方法が示されている。樹木が光合成によりCO<sub>2</sub>を吸収し有機物に変えて幹や枝に蓄積するという炭素固定を通じてCO<sub>2</sub>吸収源となることを踏まえ、都市の緑の保全・創出を通して、樹木を増やしていく施策が重要となる。

CO<sub>2</sub>の固定・吸収量については、緑の形態（植物の種別や土地被覆状況、また管理状況等）や地域により異なるが、定量的評価対象については、IPCC(2003)の Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry<sup>7)</sup>にデフォルト値として樹種クラス毎に0.0033～0.0142 t-C/本/yrと示されており、高木の吸収係数については概ね整っていることから、主として高木の炭素固定によるCO<sub>2</sub>の固定・吸収が基本となっている。そして、都市における高木の本数及び樹種を把握・整理すること等により、低炭素効果の定量的評価が可能となる。また、高木本数や樹種の把握が困難な場合には、緑化面積により低炭素効果の定量的評価も可能である。

一方、定性的評価対象である緑によるヒートアイランド現象の緩和や、バイオマスの供給によるCO<sub>2</sub>排出抑制効果については、未だその対策評価手法が確立していない。



### 1-1-2 都市の生物多様性評価指標

平成 20 年に開催された生物多様性条約第 9 回締約国会議（COP9）の閣僚級会合において、シンガポール政府が生物多様性指標の開発・導入を提唱し、平成 22 年 9 月にユーザーズマニュアルが公表された。同年 10 月に名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）の決議 X/22「生物多様性のための準国家政府、都市及びその他の地方自治体の行動計画」において、評価ツールの一例として都市の生物多様性指標（City Biodiversity Index: CBI）が示された。CBI（The Singapore Index on Cities' Biodiversity と呼ばれている。）の各項目の算定方法、スコア設定については、専門家による検討が継続され、平成 23 年 10 月には更新版<sup>8)</sup>が公表された。

CBI は、3 つの分野に分けられた 23 の指標によって構成されており、「都市の生態系サービス」分野の指標として、指標 11.水量の調節、指標 12.気候調節：植生による炭素貯蔵と冷涼化効果、指標 13～14.レクリエーション及び教育サービスが定められている。

この指標等を参考に、平成 25 年 5 月、国土交通省は、地方公共団体の都市の生物多様性の確保に向けた取組を一層支援することを目的に、3 分野 7 指標で構成される「都市の生物多様性指標（素案）」<sup>9)</sup>を策定した。この中でも、指標 5.生態系サービスの状況（気候調節：植生による炭素貯蔵と冷涼化、水量の調節他）が示されている。

表 1-1 City Biodiversity Index の構成<sup>8)</sup>

I.都市のプロファイル	気候,面積,人口,人口密度,経済指標,物理的特徴(地形,不透水面積ほか),生物多様性の特徴... 市内の生態系の種類,市内の在来種の数(植物/鳥類/蝶類/自由選択 2 分類)ほか,生物多様性の管理,関連サイトへのリンク
II.指標	@4 点×23 項目=92 点満点
在来の生物多様性	指標 1.自然地域の割合 自然地域総面積÷都市の総面積 指標 2.断片化を食い止めるための措置又は生態系ネットワーク連結された自然地域の総面積÷自然地域の総面積(パッチ間距離 100m 未満は連結とみなす。連結の定義は各都市で決定。 指標 3.市街地内の在来種の生物多様性(鳥類) 指標 4～指標 8. 在来種の数の変化(植物/鳥類/蝶類/自由選択 2 分類) 指標 9.保護された自然地域の割合 保護・担保されている自然地域面積÷都市の総面積、法的な保護地域のほか、行政的な担保も含む。 指標 10.在来種に対する侵略的外来種の割合(分類群は自由選択) 侵略的外来種の数÷在来種の数
都市の生態系サービス	指標 11.水量の調節 透水性地域の総面積÷都市の陸地総面積 指標 12.気候調節：植生による炭素貯蔵と冷涼化効果

	<p>樹冠面積÷都市の陸地総面積、乾燥地の都市は自由選択</p> <p>指標 13.自然地域を含む公園及び保護・担保されている自然地域の面積(人口千人あたり)</p> <p>指標 14.自然地域を含む公園及び保護・担保されている自然地域への1人あたり年間訪問回数(16歳未満、公教育目的)</p>
統治と管理	<p>指標 15.生物多様性への予算配分</p> <p>生物多様性関係の予算額÷都市の予算総額</p> <p>人件費、運営費、生物多様性関連事業経費を含む</p> <p>指標 16.都市が1年間に実施した生物多様性プロジェクトの件数</p> <p>※種の保存・回復、多様性調査、多様性向上・復元などのプロジェクト、グリーンサービスの調達など。</p> <p>〈自治体だけでなく企業・NGOなどの取り組みを含む〉</p> <p>指標 17.規則・法令・政策-生物多様性地域戦略及び行動計画(LBSAP)の有無</p> <p>指標 18.組織の能力(生物多様性に関する基本的機能の数)</p> <p>※生物多様性センター、植物園、植物標本館、動物園、動物学博物館、昆虫館など「機能」の数(施設数ではない)</p> <p>指標 19.組織の能力(部局間協力の機関数)</p> <p>指標 20.パートナーシップ(公式・非公式の日常的協議プロセス)</p> <p>指標 21.パートナーシップ(提携機関・企業・NGOの数)</p> <p>指標 22.教育と啓発(学校カリキュラムへの生物多様性の組込)</p> <p>指標 23.教育と啓発(アウトリーチ、啓発イベントの年間回数)</p>

表 1-2 日本版都市の生物多様性指標(素案)の構成<sup>9)</sup>

都市のプロフィール	<p>規模(行政区域面積、都市計画区域・市街化区域面積)</p> <p>人口(総人口・都市計画区域人口、人口密度)</p> <p>地勢(年間平均気温、年間降水量、標高)</p>
生態系・ハビタットの多様性	<p>指標 1 緑地等の現況(都市における生物多様性確保のポテンシャルを有する緑地等の割合)</p> <p>指標 2 法令等により確保されている緑地等の状況(継続性のある都市における生物多様性確保のポテンシャルを有する緑地等の割合)</p> <p>指標 3 都市におけるエコロジカルネットワークの状況</p> <p>指標 4 動植物種の状況(都市に生息・生育する動植物種数の状況)</p>
生態系サービス	<p>指標 5 生態系サービスの状況(気候調節:植生による炭素貯蔵と冷涼化効果、水量の調節他)</p>
都市の取組	<p>指標 6 行政の生物多様性取組状況(都市の行政計画における生物多様性の確保への配慮の状況)</p> <p>指標 7 行政計画への住民等の参加状況(生物多様性の確保に関する都市の行政計画における住民・企業等の参加の状況)</p>

### 1-1-3 都市の緑量と心理的効果

都市空間内の緑は、生物多様性保全、ヒートアイランド緩和、CO<sub>2</sub>吸収、都市型浸水防止など、物理的にも多面的な効用を持っている。これに加えて人間の心理的快適性を高める効果も大きい。このような快適性の重要性は一般論としては合意されており、都市の計画においても緑を増やすことが推奨されている。

人間の知覚を通して把握される緑は、立体的に存在する緑であり、屋上緑化や壁面緑化など、都市の立体構造物の緑化が積極的に試みられるようになってきたのもそのような観点からである。知覚の中心となる視覚に関して、平成16年7月に国土交通省<sup>10)</sup>は、都市の緑の景観・心理的効果を検証するため、東京都心の再開発地区で、都市の緑量と心理的効果の相関関係を解析する社会実験調査を実施した。緑の視覚量として画像の緑視率を用いて分析され、図1.3に示すように緑視率が高まるにつれて、潤い感、安らぎ感、さわやかさなどの心理的効果が向上し、真夏日の不快感をやわらげるのに役立つこと、緑視率25%以上で「緑が多い」と感じる事等快適性と緑の多少感との間に密接な関係があることが報告されている。この報告等を契機に、多くの地方公共団体で緑視率の導入についての検討が進められている。

しかしながら、この緑視率については検討すべき課題がいくつかあり、緑視率に含める緑の範囲又は緑視率の定義に関するものと、緑視率の計測方法に関するものがあり、これらが密接に関連し「緑視率」の環境指標としての一般化を困難にしている。中でも画像に占める緑の面積を計測する方法については、人間による目視計測のため、多くの時間と労力を要するだけでなく、測定者による誤差が生じ、正確で客観的なデータを取ることが容易ではないのが現状である。

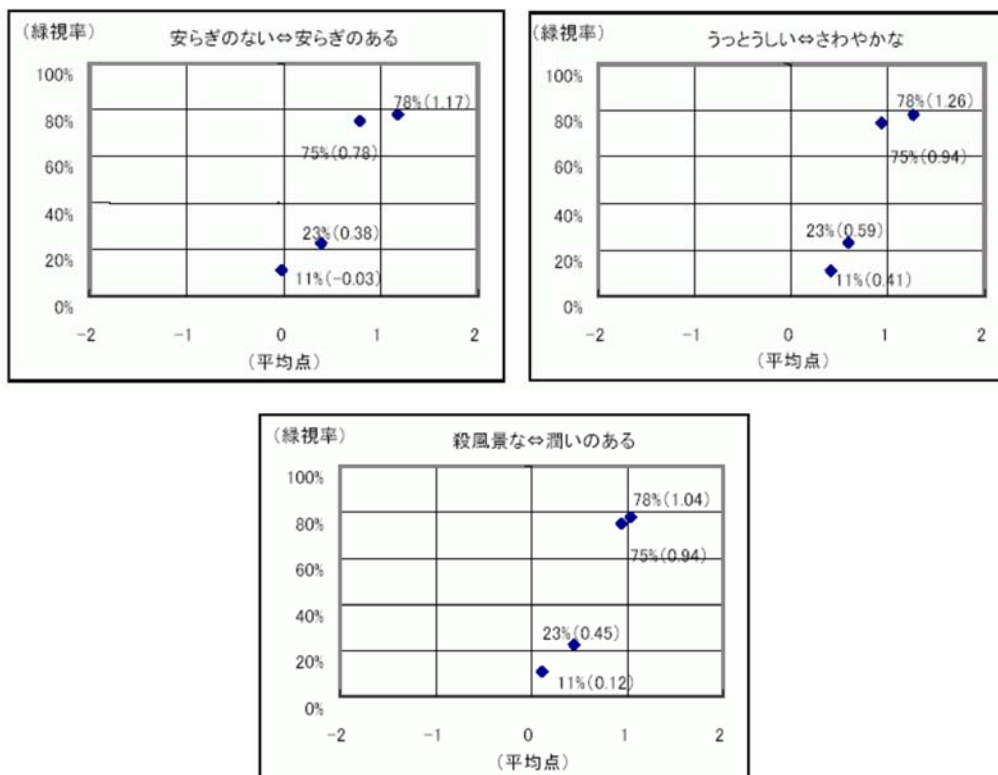


図 1-3 調査地点のイメージと緑視率との関係性<sup>10)</sup>

#### 1-1-4 都市化、生物多様性、生態系サービスに関する地球規模の評価

平成 22 年にインドのハイデラバードで開催された生物多様性条約第 11 回締約国会議(COP11)で、生物多様性条約事務局による Cities and Biodiversity Outlook (都市と生物多様性に関する将来展望) <sup>11)</sup>が公表された。これは、都市化、生物多様性、生態系サービスに関する地球規模で行われた最初の評価書である。

世界は、今後ますます都市化が進み、相互に接続され、変化し続けていく。現在の傾向が続けば、2050 年までに世界の都市人口は、約 63 億人になり、2010 年 35 億人の都市住民が倍増すると予想されている。この成長のほとんどは、大都市ではなく、中小都市で発生すると予想されている <sup>11)</sup>。

この都市化の潮流を踏まえ、第 10 回生物多様性条約締約国会議 (COP10) で合意された 2020 年までの生物多様性戦略計画(愛知目標)に基づき、都市化が生物多様性と生態系サービスにどのような影響を与え、都市の文脈で自然資源の保全と持続可能な利用を強化するための 10 のキーメッセージと、生態系サービスに関する定量的なデータを含む事例が提示された。

キーメッセージは以下のとおりである。

- ①都市化が生態系サービスを地球規模で管理するための挑戦と機会である。
- ②都市の中にこそ豊かな生物多様性が存在することができる。
- ③生物多様性と生態系サービスは、重要な自然資本である。
- ④都市生態系を機能するように維持することにより、人間の健康や幸福をかなり増進させることができる。
- ⑤都市の生態系サービスと生物多様性は、気候変動の緩和と適応に寄与することができる。
- ⑥都市の食糧システムの多様性を増加させると、食品と栄養の安全保障を強化することができる。
- ⑦生態系サービスは、都市政策と計画に統合する必要がある。
- ⑧生物多様性と生態系サービスの管理を成功させるためには、マルチスケール、マルチセクター、マルチステークホルダーの関与に基づくことが必要である。
- ⑨弾力性があり持続可能な未来に関する学習と教育のために、都市はユニークな機会を提供する。
- ⑩都市は、イノベーションとガバナンス・ツールを生成する大きな可能性を秘めている、それゆえに、持続可能な発展に向け率先して行動することができるし、行動しなければいけない。

#### 1-1-5 都市ランキングの評価指標と緑

世界の都市ランキングが複数発表されており、都市の緑が評価指標の中に位置付けられている。プライスウォーターハウスクーパース社の「Cities of Opportunity 6」(2014年9月)<sup>12)</sup>は、世界の産業・金融の中心主要30都市を対象に、都市を活性化する主要素(都市力)を3分野、①世界を変革する手段、②生活の質、③経済力の3分野がバランスよく成長を遂げている状態とし、10領域の59指標で分析している。緑に関する事項として「持続可能性と自然環境」の領域に「公園の面積(Public Park Space)」という指標がある。その定義は、都市の総面積に占める公園や緑地の比率で、アクセスが困難であり、公園として使用に適さないような、地形の険しい未開発地域や荒野を除くとなっている。使用データは地方政府の統計資料である。

また、(財)森記念財団都市戦略研究所の「世界の都市総合力ランキング」(2014年10月)<sup>13)</sup>は、より魅力的でクリエイティブな人や企業を世界から惹きつける力こそが「都市の総合力」であるという観点から、世界を代表する主要40都市を選定し、6分野の70指標で分野別総合ランキングを示している。緑に関する事項として環境分野の「自然環境」という指標グループに「都心部の緑被状況(Level Green Coverage)」という指標がある。その定義は、都心半径10km圏内の航空写真上の緑被割合である。

いずれの都市ランキングでも、東京は、「公園の面積」の指標が21/30位、「都心部の緑被状況」の指標が22/40位と、都市の緑に関する評価は低い。

## 1-2 問題意識

背景でも述べたように、都市における緑の大切さ、重要性については総論としては既に国民的なコンセンサスとなっているが、その確保は未だ不十分であり、地球温暖化への緩和と適応、ヒートアイランド現象に対する暑熱対策、集約型都市構造化等の要請により、都市における緑を多面的効用を有するネットワークであるグリーン・インフラストラクチャーとして形成することが期待されている。

一方、人口減少・超高齢化、財政制約・経済の低迷等により、選択した手法の効果とそれに要する費用などを、費用の最終負担者となる納税者に対して明確に示すことが一層重要になってきており、手法決定における公平性・透明性の確保が求められる。

しかしながら、効率的・効果的な手法を選択するための条件整備が不十分であり、都市の緑に関する費用と効果等の関係を示す手法は、旅行費用法や効用関数法等を用いた費用対効果分析手法<sup>14,15)</sup>がマニュアル化されている都市公園事業以外確立していないため、どの計画や手法の適用が合理的であるかを比較し判断するのが困難である。

また、新たな時代の都市をつくる緑とオープンスペースの基本的考え方として「新たな時代の都市マネジメントに対応した都市公園等のあり方検討会 中間とりまとめ」<sup>16)</sup>（平成27年10月）が取りまとめられており、その中で①新たな時代の都市を支える緑とオープンスペースの戦略的な確保・活用、②まちの個性、市民の力を引き出すための都市公園の多機能性の発揮、③幅広い主体との協働により質を向上させていく仕組みの構築が示されている。

このため、都市ごと・地区ごとに緑とオープンスペースの効果を的確に把握・評価することがより一層求められており、基礎的データの整備・蓄積を進めとともに、その効果の発現状況の把握・分析を通じ、現時点で算定方法が十分に確立していない効果に関する適切な算定方法の確立、更には多様な効果の定量的評価等に向けた調査・分析手法の改善や知見の向上を図る必要がある。

### 1-3 研究の目的

本研究は、このような問題意識を踏まえ、近年暑熱化が進行している都市の快適性向上に資する緑地の冷却効果と視覚効果に着目し、その評価について定量的分析を行い、緑地の確保を含む効果的な緑化方策について検討を行うことを目的とするものである。

第一に、緑地が有する夏季における冷却効果について推計を行なうこと、特にヒートアイランド現象の緩和に資する冷却効果が、日中と夜間でどのように発現するかを明らかにし、緑地の単位面積あたりの冷却効果を定量的に推計することを目指している。

第二に、緑地による緩和が期待されるヒートアイランド現象は気象条件に左右される。一方で緑地の冷却効果も気象条件に大きく影響される。このため、都市の、特に緑地による冷却が大きいとされる夏季夜間における緑地の温度降下に対する気象条件の影響を明らかにすることを目指している。

第三に、緑地の心理的機能を定量的に評価する指標に緑視率があるが、緑視率の定義、及び計測方法に課題があることから、植物の葉の色度に着目し、緑視率を正確・迅速に計測できる計測方法を提案するとともに、緑地の確保を含む緑化による視覚効果について定量的に評価することを目指している。

【補注】

- [1] ヒートアイランド対策関係府省連絡会議（当初 2004、2013 見直し）の「ヒートアイランド対策大綱」では、対策の柱として人工排熱の低減、緑地等による地表面被覆の改善、緑地や水面からの風のとおり道を確保するなどの都市形態の改善、クールビズなどライフスタイルの改善を一層進めるとともに、新たな対策として、緑のカーテンなど人の健康への影響等を軽減する適応策の推進などが掲げられている

[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=22572&hou\\_id=16849](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=22572&hou_id=16849) 2015.11.3 閲覧

- [2] 閣議決定（当初 2005、2008 全改定）「京都議定書目標達成計画」では、都市緑化により 2012 年末に 79 万 t-CO<sub>2</sub> の吸収量が確保されると推計していたが、地球温暖化対策推進本部（2013）の「京都議定書目標達成計画の進捗状況」では、都市公園等の土壌による炭素ストック変化量を吸収量として新たに計上し、2010 年度の実績値は 105 万 t-CO<sub>2</sub> となった。

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai26/sintyoku.pdf> 2015.11.3 閲覧

- [3] 閣議決定（2012）「生物多様性国家戦略 2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～」では、都市における緑地による生態系ネットワーク（エコロジカルネットワーク）の形成を通じて生物多様性の確保が掲げられている。

[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=20763&hou\\_id=15758](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20763&hou_id=15758) 2015.11.3 閲覧

- [4] 社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会都市計画部会（2012）「都市計画制度小委員会中間とりまとめ」では、都市計画に関する諸制度の今後の展開について、人口減少・超高齢化、財政制約・経済の低迷、地球環境問題とエネルギー制約の社会状況を踏まえ、都市計画の基本的な考え方として、集約型都市構造化、都市と緑・農の共生、民間活動の重視が掲げられている。

<http://www.mlit.go.jp/common/000222986.pdf> 2015.11.3 閲覧

- [5] 平成 26 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書によると、グリーン・インフラストラクチャーとは、土地利用において自然環境の有する防災や水質浄化等の機能を人工的なインフラの代替手段や補足的手段として有効に活用し、自然環境、経済、社会にとって有益な対策を社会資本整備の一環として進めようという考え方で、近年欧米を中心にこの考え方に基づく取組が進められようとしている。グリーン・インフラストラクチャーに関する統一的な定義はないが、2013 年（平成 25 年）5 月に欧州連合（EU）で策定された「EU グリーン・インフラストラクチャー戦略」によると、「生態系サービスの提供のために管理された自然・半自然地域の戦略的に計画されたネットワーク」と定義されている。また、2008 年（平成 20 年）に米国環境保護庁が州政府と協力して、洪水や下水処理の包括的な対策として策定した「グリーン・インフラストラクチャー行動戦略」では、自然環境に加え、屋上緑化や雨水浸透道路等もグリーン・インフラストラクチャーの対象としている。

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/index.html> 2015.6.28 閲覧



## 【引用文献】

- 1) 一般社団法人日本公園緑地協会 (2012) 公園緑地マニュアル 平成 24 年度版, 706pp, p13-14
- 2) 社団法人都市計画学会 (2002) 実務者のための新・都市計画マニュアル I 【都市施設・公園緑地編】, 219pp, p12-18
- 3) 閣議決定 生物多様性国家戦略 (2012-2020) pp260 , p163-168  
[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=20763&hou\\_id=15758](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20763&hou_id=15758), 2015.11.1 閲覧
- 4) IPCC (2013) IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書の政策決定者向け要約  
[www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/.../ipcc\\_ar5\\_wg1\\_spm\\_jpn.pdf](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/.../ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf) , 2015.11.1 閲覧
- 5) 文部科学省, 経済産業省, 気象庁, 環境省 (2013) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書 (自然科学的根拠) の公表について  
[http://www.jma.go.jp/jma/press/1309/27a/ipcc\\_ar5\\_wg1.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1309/27a/ipcc_ar5_wg1.pdf) , 2015.11.1 閲覧
- 6) 国土交通省 (2010) 低炭素都市づくりガイドライン  
[http://www.mlit.go.jp/toshi/city\\_plan/teitanso.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/teitanso.html), 2015.11.1 閲覧
- 7) IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>, 2015.11.1 閲覧
- 8) 生物多様性条約事務局(SCBD)他 (2012) 都市の生物多様性指標ユーザーズマニュアル(2011 年 10 月版)  
<http://www.cbd.int/authorities/doc/User's%20Manual-for-the-City-Biodiversity-Index18April2012.pdf> , 2015.11.17 閲覧
- 9) 国土交通省都市局公園緑地・景観課 (2013) 都市の生物多様性指標 (素案) の策定について  
<http://www.mlit.go.jp/common/000998868.pdf> , 2015.11.1 閲覧
- 10) 国土交通省都市・地域整備局 (2006) : 都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812\\_3\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812_3_.html), 2015.11.10 閲覧
- 11) Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2012) Cities and Biodiversity Outlook - Action and Policy  
[www.cbd.int/doc/health/cbo-action-policy-en.pdf](http://www.cbd.int/doc/health/cbo-action-policy-en.pdf), 2015.11.1 閲覧
- 12) プライスウォーターハウスクーパース株式会社 (2014) Cities of Opportunity 6 世界の都市力比較 2014 翻訳サマリー版  
<http://www.pwc.com/jp/ja/japan-knowledge/archive/assets/pdf/cities-of-opportunity1409.pdf> , 2015.7.8 閲覧
- 13) 一般財団法人 森記念財団 都市戦略研究所 (2014) 世界の都市総合力ランキング Global Power City Index 2014 概要版  
[http://www.mori-m-foundation.or.jp/gpci/pdf/GPCI14\\_J\\_Web.pdf](http://www.mori-m-foundation.or.jp/gpci/pdf/GPCI14_J_Web.pdf) , 2015.7.8 閲覧
- 14) 国土交通省都市局 公園緑地・景観課 (2013) 改訂第 3 版大規模公園費用対効果分析手法マニュアル  
<http://www.mlit.go.jp/common/001016620.pdf> , 2015.11.1 閲覧

- 15) 国土交通省都市局 公園緑地・景観課 (2008) 改訂第1版小規模公園費用対効果分析手法マニュアル  
[www.mlit.go.jp/crd/park/shisaku/p../hyouka\\_shoukibo.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/park/shisaku/p../hyouka_shoukibo.pdf), 2015.11.1 閲覧
- 16) 新たな時代の都市マネジメントに対応した都市公園等のあり方検討会 (2015) 新たな時代の都市マネジメントに対応した都市公園等のあり方検討会中間とりまとめ  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10\\_hh\\_000208.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000208.html), 2015.11.1 閲覧

## 第2章 既往の研究

### 2-1 緑地が有する冷却効果に関する研究

#### 2-1-1 土地被覆の違いが気温に与える影響の評価・分析

ヒートアイランド現象が都市部における大きな社会問題として顕在化する中で、緑化を展開軸にした施策が着目されつつある。もとより緑化によって、地球温暖化の原因であるCO<sub>2</sub>の吸収、都市における生物多様性の向上、都市の快適性の確保など、様々な側面からの効果が得られるが、これらに加えて、緑地が有する冷却効果により都市の熱環境改善が期待されることから、これまでいくつかの研究が行われている。

大和田ら<sup>1)</sup>は、熱帯夜が現れる日の最低気温と緑被率の相関関係から、緑被率が高いほど気温が低く現れることを明らかにしている。一方、最高気温が現れる日中の緑地の効果では、安藤ら<sup>2)</sup>による皇居における冷気のにじみだしに関する実測値の評価があるほか、山田ら<sup>3)</sup>が、杉並区内57箇所に設置した最高・最低温度計の測定結果から、樹林地が最高・最低気温のどちらに対しても気温低下効果があることを示している。

ドイツのベルリン市では、都心の暑熱対策と洪水対策を重要な目的として、ランドスケープを向上させるためのガイドラインの1つとして、

BAF (Biotope Area Factor = Ecologically-effective surface areas / total land area)<sup>4)</sup>を作成している。この中で、土地被覆形態別に重み付けの係数が定められ、都心での緑地の保全と開発の規制・誘導が行われている。また、Nagase and Dunnett<sup>5)</sup>は、屋上緑化に用いられる植物により蒸散活動や構造(高さ、葉の展開形態等)に差異があることについて報告している。

米国カリフォルニア州の気候行動準備委員会 (The Climate Action Reserve)は、都市林の整備・保全による温室効果ガスの排出削減量を定量化するためのガイドラインとして、Urban Forest Version 1.1 (2010年3月)<sup>6)</sup>を公表している。この付録Aに、都市林と気候変動に関する米国の既往知見が示されており、樹木による大気中のCO<sub>2</sub>削減方策として、樹木中での炭素の固定と貯蔵、緑陰や防風によるエネルギー節約とCO<sub>2</sub>排出削減、樹木からのCO<sub>2</sub>排出削減として、樹種選択による剪定抑制、木材製品の活用、バイオ燃料等としての活用が、背景情報として示されている。

平成25年1月 Ifpra (International federation of parks and recreation administration)は、都市公園の効用に関する系統的レビュー報告書<sup>7)</sup>を公表した。都市公園の効用については、直接、間接を問わず、生態学的回復力を高め、人間や社会の福祉を向上するサービスとし、健康と福祉、社会的一体性、観光、住宅価格、生物多様性、大気質と炭素隔離、水管理、冷却効果に分類している。2000年1月1日から2012年4月1日の間に英文で発行された査読付の学術誌論文を抽出し、系統的にレビューを行なった。冷却効果については、緑地とそれ以外の土地の温度差や大きさの異なる公園間の温度差等を調査した24の論文<sup>8),9),10)</sup>がレビューされ、「公園は、周辺地域よりも、日中及び夜間の気温低下に寄与する」ということに関する科学的証拠の程度は中～強であるとしている。

### 2-1-2 通風性の確保や建築物等の緑化による冷却効果の評価・分析

環境省による熱環境改善に関するシミュレーションモデルを用いた調査<sup>11)</sup>では、大規模緑地からの良好な通風性の確保、建物などへの最大限の緑化などにより緑地のクールアイランド効果を最大限引き出すように設計した場合、夜間に周辺の気温を暖めることのない街区が形成できるという試算結果が得られるなど、地域の熱環境改善の可能性を示している。また、佐藤ら<sup>12)</sup>は、密集市街地を対象に、3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いて夏季晴天日(8月5日)を想定した全表面温度分布より、緑化による顕熱量の抑制効果について分析を行っている。

### 2-1-3 都市気象の数値流体力学(CFD)モデル等による分析

広域CFD解析手法等が開発され、東京23区全域を対象にした大規模数値解析が実施されている。計算結果から、縞状に気温が高くなる現象や大規模緑地から風下の周辺地域へのにじみだしの様子が確認されている。解析の対象日時について、半田<sup>13)</sup>は7月29日15時とし、風については地上が無風、上空10mが2m/sの南風を条件に設定しており、足永<sup>14)</sup>は2005年7月31日14時(東京アメダス局 風速2.4m/s 風向 南東)を、高取<sup>15)</sup>は2010年8月17日15時-15時30分(東京アメダス局 風速5.8m/s 風向 南東)を設定している。

しかし、これら2-1-1から2-1-3の研究は、いずれの場合も、緑地を構成する樹林地、草地、裸地等の土地被覆の違い等が温度等に与える影響を、限られた条件下で、評価・分析している研究であり、建物の延床面積、緑地面積、人工排熱量などが気温に及ぼす影響を定量的に評価・分析することが必要だと考える。

## 2-2 都市の気温降下に関する研究

入江<sup>16)</sup>はランドサットデータによる土地利用データ、アメダスデータによる気温データを用いた解析により、最低気温時は緑地の効果が最も顕著に現れる時間帯であることを示した。

最低気温は前日の夕方の気温と夜間冷却量によって決まる。夕方の気温は、地理的な分布による違いや土地被覆形態（樹林地、建ぺい地等）の違いによるものと考えられている。夜間冷却量は一般に雲量、地上付近の風速といった気象要素と、観測点周辺の比較的狭い範囲の地形が冷気を蓄積しやすいかどうかという地形要素等に影響されていることが知られている<sup>17),18),19)</sup>。真木・播磨屋<sup>19)</sup>によると、地上付近の平均風速が1 m/s以下の微風時においても、夜間冷却量極値は地形により異なる。

夏季のヒートアイランド現象は、晴れて風が弱い（晴天弱風日）の気象条件下で顕著に現れ、関東地方では晴れて風が西寄り（晴天西風）、晴れて風が北寄り（晴天北風）の条件下でも現れるといわれている<sup>20),21)</sup>。都市と郊外の気温差によって定義されるヒートアイランド強度に関してこれまで多くの研究がなされてきており<sup>22),23)</sup>、夜間のヒートアイランド強度については、風速2.0 m/s前後で最も強くなる傾向があるとの報告がある<sup>24),25),26)</sup>。また、市街地と緑地の温度差によって定義されるクールアイランド強度に関して、菅原ら<sup>27)</sup>は、夜間のクールアイランド強度は大気安定度に依存し、安定するほどクールアイランド強度は大きくなると報告している。関連する冷気のにじみだし現象について、永谷ら<sup>28),29)</sup>は発生時の平均風速が0.2~0.3 m/s、1.1 m/s以下の冷気移動しか確認されなかったと報告している。

足永<sup>14)</sup>は、前述のCFD解析手法の計画への適用について、夏期の日中を対象にしたもので、限られた条件における結果であり、夜間などの他の時間帯や天候、季節によって影響の出方が異なるとも考えられると述べている。

しかしながらいずれの場合も、一定規模の市街地における夜間の温度降下量や地点間の気温差を風向と雲量との関係で検討したものではない。緑地が有する冷却効果に対する風向・風速や晴天・曇の影響を面的に検討した事例も見当たらない。

## 2-3 緑視率と心理的効果に関する研究

### 2-3-1 緑視率と心理的効果に関する定量的分析

人間の知覚を通して把握される緑は、立体的に存在する緑であり、屋上緑化や壁面緑化など、都市の立体構造物の緑化が積極的に試みられるようになってきたのもそのような観点からである。知覚の中心となる視覚に関しては、緑の視覚量として画像の緑視量を用いて分析され、緑視率が高まるにつれ潤い感、安らぎ感、さわやかさなどの心理的効果が向上し、真夏日の不快感をやわらげるのに役立つこと、緑視率 25%以上で「緑が多い」と感じる等快適性や緑の多少感との間に密接な関係があることが数多く報告されている<sup>30),31),32),33),34)</sup>。一方、後藤ら<sup>35)</sup>の国立科学博物館附属自然教育園での調査によると、緑視率が 60%以下であれば景観の快適性は高まるが、80%あるいは 90%を越すと景観快適性は著しく低下することが報告されている。

また、外崎<sup>30)</sup>の住宅地域における緑地景観に関する研究によると、住民アンケートによる地域の「緑の多少感」と緑地現況（緑被率、樹林地面積率、平均緑視率：地域内街路 50 ヶ所の緑視率の平均値）との相関分析を行った結果、平均緑視率（相関係数 0.95）が、緑被率（相関係数 0.61）、樹林地面積率（相関係数 0.78）に比べ、高い相関関係にあった。

### 2-3-2 緑の視覚刺激が温熱感に及ぼす影響

人間が温熱的に快適に感じるのは暑くも寒くもない状態である。この時、体内でつくりだす熱（産熱）と体から逃げていく熱（放熱）の量は等しくなる。また、温熱的な快適性に影響を与える因子としては、環境因子として気温、放射温度、湿度、気流の 4 要素と、人体側因子としての代謝量、着衣量の 2 要素である。温熱感の指標（快適温熱指標）には一般に広く知られている不快指数から、建築や環境工学の分野でよく扱われる PMV(Predicted Mean Vote：予測平均温冷感申告)や SET\*(Standard New Effective Temperature：標準新有効温度)、熱中症の指標として注目されている WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature：湿球黒球温度)など、多数存在する。

緑による温熱環境の改善効果については、物理的側面と心理的・生理的側面を結びつけた研究が行われており、物理的な温熱環境の緩和効果のみならず、視覚刺激による心理的・生理的な改善効果も同時に期待できるとの報告がある。

井上ら<sup>36),37)</sup>の窓際植生の暑熱緩和効果に関する研究によると、窓際屋外側にあさがお植生を施した部屋（植生室）と常にブラインドを下ろした部屋（ブラインド室）で比較したところ、屋外側の窓際植生はブラインド以上の日射遮蔽効果が得られた。また、黒球温度と平均皮膚温・温冷感評価の関係を被験者実験で計測したところ、温熱的中性（どちらともいけない）と評価される各室の黒球温度は、植生室の方が体感的に約 2℃低いことが示され、緑による心理的効果が認められた。

屋外空間における樹木を対象にした宮本<sup>38)</sup>の研究によると、樹木の緑量が異なる測点の景観評価に樹木の緑という視覚刺激の有無が大きく影響を与えていること、また、同じ PMV の値である温熱環境下において樹木の緑という視覚刺激を有すると、不快な温冷感覚や冷涼感を緩和し温熱的快適感を増加させる方向に影響することが示されている。

加藤ら<sup>39)</sup>は、居室のガラス窓（W:169cm, H:173cm）に緑のカーテン（ツルレイシ）を設置し、その有無が人体の心理反応に及ぼす影響について調査を行った。緑のカーテンを設置した部屋とそ

うでない部屋における温冷感を被験者実験した結果、温熱環境指標 SET\*が等しい場合に、緑のカーテンを設置した部屋では被験者の温冷感が相対的に低い値を示し、緑のカーテンがあること（視覚刺激）により心理的に感じる室温（温熱感）を低下させる効果を確認している。

### 2-3-3 行政計画における緑視率の導入状況

緑視率については、景観緑三法や環境性能表示等を契機に、社会的な関心が高まってきており、都市緑地法に基づく「緑の基本計画」や景観法に基づく「景観計画」に、市民が生活の中で緑の豊かさが実感できる指標として緑視率の計画目標を定めている地方公共団体や、緑視率の向上を明記している地方公共団体が増えてきている。平成23年5月に京都市<sup>40</sup>が策定した「第1次京（みやこ）のみどり推進プラン」（「京都市緑の基本計画」実施計画）では、人々が感じる“緑の豊かさ（緑に対する満足度）”を向上させるため、目に見える範囲の緑の割合を計測・評価する「緑視率」等を取り入れながら、今後5年間の目標や実施する事業をまとめている。

また、大阪府<sup>41</sup>では、「みどりの風を感じる大都市・大阪」の実現に向け、さわやかな風を感じられるような緑の軸線づくりの取組みを進めており、平成23年5月に「みどりの風促進区域」を新たに指定し、府民・NPO・企業・市町村などあらゆる主体と一体となって緑を増やす取組みに着手した。そして、同年10月同区域内において、緑視率（道路側から見た緑の割合）25%以上の確保や景観などの一定の要件を満たす建築物に対して建ぺい率や容積率など都市計画の規制を緩和し、緑化を誘導する新たな都市計画誘導制度が適用第1号として松原市でスタートした。また、緑の中の都市、「CITY IN THE GREEN」の実現を目指して、東京都江東区は、平成24年7月に「江東区 CIG ビジョン」<sup>42</sup>を策定し、達成状況を総合的に評価する指標として新たに「緑視率」の定期的な調査を行い、目標を管理しながら取り組んでいくこととしている。

さらに、韓国のソウル市では、2005年度より都市緑化の実績及び効果を評価するためのツールとして「緑視率」を全市的に測定し公表するとともに、2009年度からは業績管理計画に基づき計画の進捗管理を行なっている。具体的には、市内約500箇所（車道297ヶ所、歩道202ヶ所）を標準レンズ(50mm)で撮影した画像を用いて、画像処理ソフト（Adobe Photoshop、USA）で植物の葉の割合を抽出し緑視率を求めており、道路タイプ別や生活圏域別に集計して発表している。ちなみに、2005年度15.7%であった平均緑視率は、2010年度20.35%に達し計画目標を上回っている<sup>43</sup>。”A CITY IN A GARDEN“を標榜しているシンガポール<sup>44</sup>と同様、ソウル市も都市の世界戦略としてより効果的な都市緑化の推進に努めている。同様に、中国の北京市や上海市などの都市も屋上緑化の義務化等の動きがあり、景観向上や安らぎの創出など心理的影響についても今後関心が高まることが予想される<sup>45</sup>。

しかしながら、この緑視率については検討すべき課題がいくつかあり、緑視率に含める緑の範囲又は緑視率の定義に関するものと、緑視率の計測方法に関するものがあり、これらが密接に関連し「緑視率」の環境指標としての一般化を困難にしている。

## 【引用文献】

- 1) 大和田道夫, 中川由雅, 岩田充弘, 櫻井麻里, 梅田佳子 (2007) 名古屋市における熱帯夜の分布と緑地効果について, 愛知教育大学研究報告 56 (自然科学編), 19-24
- 2) 安藤邦明ら (2008) 大規模緑地のヒートアイランド緩和効果の実測評価 (その1~その3), 日本建築学会学術講演梗概集 9月, 983-987
- 3) 山田弘之, 丸田頼一 (1991) 緑地による都市気象緩和作用の定量的解析, ランドスケープ研究, Vol.9, 299-304
- 4) Kazmierczak, A. and Carter, J. (2010) Adaptation to climate change using green and blue infrastructure.  
<http://www.grabs-eu.org/membersArea/files/berlin.pdf>, 2015.11.2 閲覧
- 5) Nagase, A. and Dunnett, N. (2012) Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effect of plant species, diversity and plant structure: Landscape and Urban Planning 104, 356-363.
- 6) California Air Resources Board (2011) Urban Forest Project Protocol Version 1.1  
<http://www.climateactionreserve.org/how/protocols/urban-forest/>, 2015.11.2 閲覧
- 7) Konijnedijk, C.C., Annerstedt, M., Nielsen, A.B., Maruthaveeran, S., (2013) Benefits of Urban Parks A systematic review A Report for IFPRA  
<http://theparksalliance.org/benefits-of-urban-parks-a-systematic-review-a-report-for-ifpra-published-in-january-2013/>, 2015.11.2 閲覧
- 8) Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S. (2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning 97, 147-155.
- 9) Chang, C.R., Li, M.H., Chang, S.D., (2007) A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. Landscape and Urban Planning 80, 386-395.
- 10) Oke, T.R., (1989) The micrometeorology of the urban forest. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences 324, 335-349.
- 11) 環境省 (2005) 平成 17 年度都市緑地を活用した地域の熱環境改善構想の検討調査報告書,  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7159>, 2015.11.2 閲覧
- 12) 佐藤理人, 村上暁信, 梅干野晃 (2010) 3D CAD 対応熱環境シミュレータを用いた密集市街地の緑化による熱環境の緩和に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.73, 601-606
- 13) 半田真理子 (1997) 都市の熱環境に及ぼす緑地の効果に関する研究, 博士論文
- 14) 足永靖信 (2012) 第 10 章 都市気象の CFD モデル, 気象研究ノート 第 224 号 都市の気象と気候, 233-255
- 15) 高取千佳, 大和広明, 高橋桂子, 石川幹子 (2013) 明治初期と現代のマトリクス構造の変化が熱・風環境に与える影響に関する研究 東京都心部を対象として, 公益財団法人都市計画学会都市計画論文集 Vol.48, 1029-1034



- 16) 入江彰昭 (2003) 気温推計による緑地のヒートアイランドの緩和効果に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.66, 889-892
- 17) 近藤純正, 森洋介 (1982) アメダス (地域気象観測所) データを用いた夜間冷却量の解析と最低気温予報式 (1), 天気, 29, 1221-1233
- 18) 近藤純正 (2000) 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, 336pp, p31-81
- 19) 真木雅之, 播磨屋敏生 (1984) 北海道地方における夜間冷却量の空間分布, 北海道大学地球物理学研究報告, 43, 1-15
- 20) 気象庁 (2006) ヒートアイランド監視報告 (平成 17 年夏季・関東地方), 4-6  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 21) 気象庁 (2007) ヒートアイランド監視報告 (平成 18 年夏季-関東・近畿地方), 12-24  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 22) 藤部文昭 (2012) 第 1 章 観測データから見た日本の都市気候, 気象研究ノート 第 224 号 都市の気象と気候, pp. 1-22
- 23) 中川清隆 (2011) わが国における都市ヒートアイランド形成要因, とくに都市ヒートアイランド強度形成要因に関する研究動向, 地学雑誌, 120, 255-284
- 24) 近藤純正 (2000) 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, 336pp, p109-137
- 25) 野林暁, 林陽生 (2009) 小規模なヒートアイランドにおける力学的混合効果に関する観測, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 10, 75-81
- 26) 榊原保志・三枝あかね (2002) 晴天日と曇天日のヒートアイランド強度の違いと夜間ヒートアイランドの成因, 天気, 49, 533-540
- 27) 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 本條毅, 石井康一郎 (2006) 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, 天気, 53, 393-404
- 28) 永谷結, 梅木清, 本條毅, 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦 (2007) 長期観測による新宿御苑のにじみ出し現象の解析, 第 21 回環境情報科学論文集, 507-512
- 29) 永谷結, 梅木清, 本條毅, 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦 (2008) 新宿御苑における冷気移動の解析, 農業気象, 64, 281-288
- 30) 外崎公知 (1980) 住環境における緑地景観に関する研究-札幌市をケーススタディとして-, 北海道大学大学院農学研究科修士論文, 181pp, p65-149
- 31) Ohno, R. (1991) Ambient Vision of the Environmental Perception, Describing Ambient Visual Information, Proceedings of the 22nd EDRA Conference, Mexico
- 32) 青木陽二 (2006) 1974 年からの緑視研究の歴史, 環境情報科学 34(4), 46-49
- 33) 国土交通省都市・地域整備局 (2006) 都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812\\_3.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812_3.html), 2015.11.2 閲覧
- 34) 高橋朋之他 (2007) 緑視率および緑被率からみた街路における緑景観の評価に関する研究, 日本建築学会東海支部研究報告書第 45 号, 541-544

- 35) 後藤枝里香・矢内秋生 (2013) 都市緑地における景観快適性および植物多様性の均衡点の把握に関する研究, 自然教育園報告第 44 号, 47-64
- 36) 井上彩香, 磯田憲生 (2006) 窓際植生による室内の暑熱緩和効果—南向き室の場合—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 81-82
- 37) 井上彩香, 梅田奈々, 東実千代, 磯田憲生 (2007) 窓際植生の暑熱緩和効果 (その 8) —室内温熱環境と被験者による生理・心理反応—, 第 31 回人間・生活環境系シンポジウム報告集, 93-96
- 38) 宮本征一 (2008) 樹木の緑という視覚刺激が屋外における温熱感に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 77-80
- 39) 加藤真司, 桑沢保夫, 石井儀光, 樋野公宏, 橋本剛, 小木曾裕, 持田太樹 (2013) 緑のカーテンの有無が人体の心理反応に及ぼす影響, 日本緑化学誌, 39, 3-8
- 40) 京都市 (2011) 第 1 次京 (みやこ) のみどり推進プラン (本編)  
<http://www.city.kyoto.lg.jp/kensetu/page/0000102008.html>, 2015.11.2 閲覧
- 41) 大阪府環境農林水産部 (2015) みどりの風促進区域<みどりの風を感じる大都市・大阪の実現に向けて>  
<http://www.pref.osaka.lg.jp/kannosomu/midorinokazesokusin/>, 2015.11.2 閲覧
- 42) 東京都江東区 (2012) 江東区 CIG ビジョン  
<http://www.city.koto.lg.jp/seikatsu/douro/CIG/CIGCON.html>, 2015.11.2 閲覧
- 43) チェ・ビョンオン (2011) 都市景観改善のための立体緑化活用方策セミナー資料
- 44) National Parks Board of Singapore (2009) SINGAPORE A CITY IN A GARDEN, URBIO2010 配布 DVD
- 45) 烏雲巴根, 長谷川祥子, 下村孝 (2010) 中国の都市景観と各種屋上緑化様式の合成画像を用いた中国人大学生による景観評価実験, ランドスケープ研究(オンライン論文集), 3, 43-50

### 第3章 緑地が有する夏季における冷却効果の推計

#### 3-1 背景と目的

近年、東京や大阪をはじめとする全国の主要都市では、昼夜を問わず夏季における都心の気温が周辺よりも著しく高温化し、厳しい温熱環境となっている。単に都市空間の快適性が損なわれるだけでなく、熱中症患者数の増加や大きな被害をもたらす都市型豪雨等を誘発しており、都市住民に深刻な影響を与えつつある<sup>1)</sup>。これは「ヒートアイランド現象」として広く認知されており、平成15年度に環境省が「都市大気の熱汚染」として位置づけるとともに、ヒートアイランド対策大綱（平成16年3月）を契機に、国や地方自治体では、地球温暖化対策と同様に、ヒートアイランド対策を重要政策として取り組んでいる。

IPCC第5次評価報告書<sup>2)</sup>によれば、気候変動対策として温室効果ガスの排出抑制に資する取り組みを確実に進めることが求められるが、一方で、最も厳しい取り組みをしても、今後数十年は温暖化の影響を避けることができないため、特に至近の影響への対処において「適応」が不可欠であると言われている。地球温暖化に伴い、極端な高温の頻度が増加すると予測されており、都市ではヒートアイランド現象により熱波のリスクを一層増大させることが指摘されている<sup>3)</sup>。

気温の長期変化には、都市化の影響のほかにも、自然変動によるものや地球温暖化によるものが含まれている。IPCCは、地球の平均気温が1880年から2012年の132年間に約0.85℃上昇したと発表している<sup>2)</sup>。気象庁の分析によると、地球温暖化や自然変動などによる日本全体としての平均的な気温変動が100年当たり1.5℃の上昇であるのに対して、主要都市の気温上昇率は、東京3.2℃、名古屋・大阪2.9℃、福岡3.1℃とおおよそ2倍であった<sup>1)</sup>。

ヒートアイランド現象が都市部における大きな社会問題として顕在化する中で、緑化を展開軸にした施策が着目されつつある。もとより緑化によって、地球温暖化の原因であるCO<sub>2</sub>の吸収、都市における生物多様性の向上、都市の快適性の確保など、様々な側面からの効果が得られるが、これらに加えて、緑地が有する冷却効果により都市の熱環境改善が期待されることから、第2章の2-1で示したようにこれまでいくつかの研究が行われている。

しかしいずれの場合も、緑地を構成する樹林地、草地、裸地等の土地被覆の違いが気温に与える影響を評価・分析している研究であり、建物の延床面積、緑地面積、人工排熱量などが気温に及ぼす影響を評価・分析することが必要だと考える。

こうした背景を踏まえ、本章では、2007年8月に東京都港区内の小学校や公園内から取得した気温データをもとに、樹林地がもたらす気温低下効果を明らかにする。次いで、観測地点の気温が、概ね樹林地面積と人工排熱量で説明できることを示し、マイナス側に働く樹林地面積とプラス側に働く人工排熱量との関係を求め、単位面積当たりの樹林地の冷却効果を試算する。また、その冷却効果が、日中と夜間でどの程度の差異となって発現するかを明らかにすることを目的とする。

### 3-2 計測と解析の方法

#### 3-2-1 対象地

本章は、図 3-1 に示す東京都心に位置し高度に都市化された港区を対象とした。



図 3-1 23区における港区の位置

(1) 地形

港区の地形は、図 3-2 に示すように西側の台地と東側の低地・埋立地に大きく分けられ、区の中央部を流れる古川沿いに谷底低地が広がっている。西側の台地は武蔵野台地の末端であり、樹枝状に小さな谷が刻まれているため、非常に起伏に富んだ地形となっている。また、東側の低地・埋立地については、江戸時代までの海岸線は JR 東海道線付近にあったが、明治時代の末から昭和初期にかけて海岸部の埋め立てが進み、現在の海岸線が形成された。

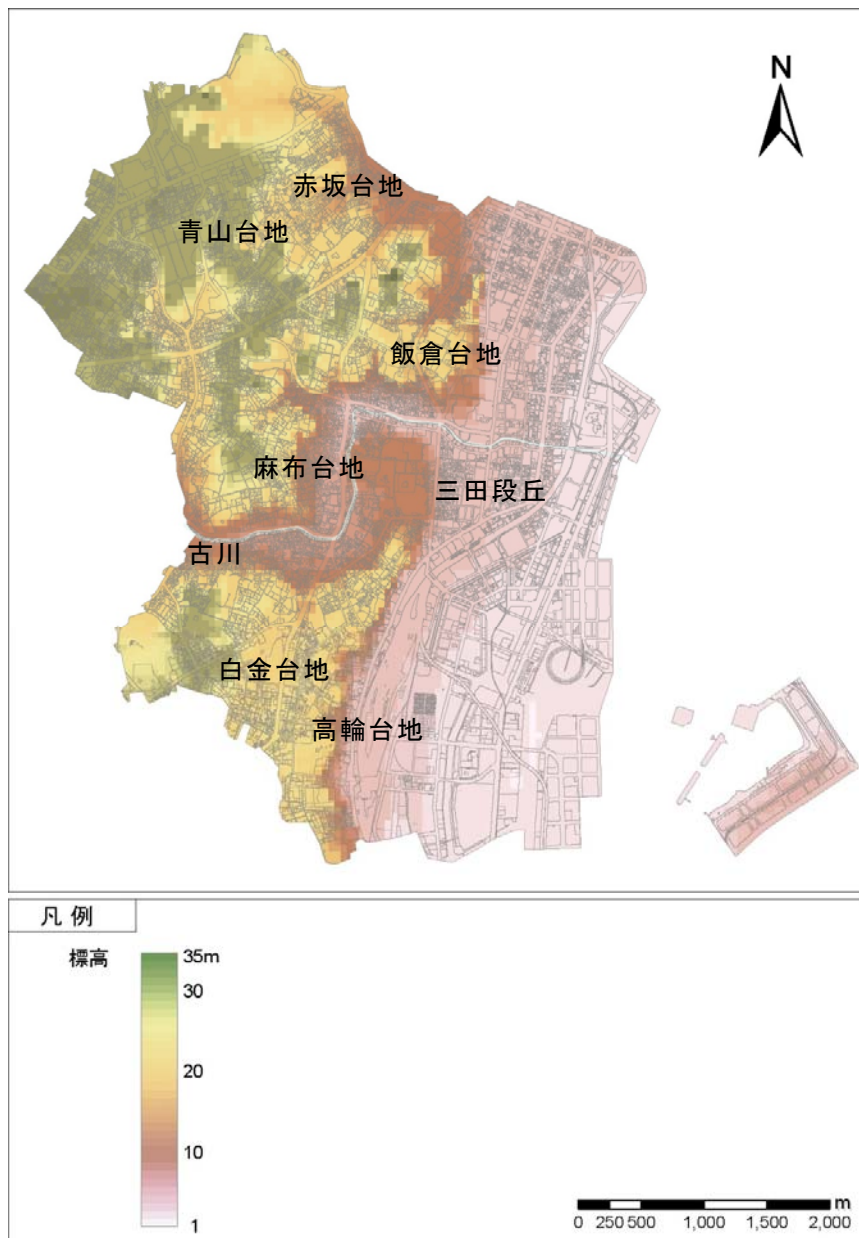


図 3-2 地形

出典：国土地理院数値地図（5m メッシュ）

## (2) 土地利用

土地利用は、図 3-3 に示すように北東部ならびに国道 246 号、外堀通りなどの幹線道路沿いに商業・業務系用地が分布している。臨海部には工業系用地が分布しているが、同地域は現在、臨海部へのマンション建設ラッシュを背景に住居系への土地利用の転換が急速に進みつつあり、今後も大規模な土地利用の転換が見込まれる用地が多く残されている。また住宅用地は西部に多く、公共施設や公園、運動場等も広く分布している。

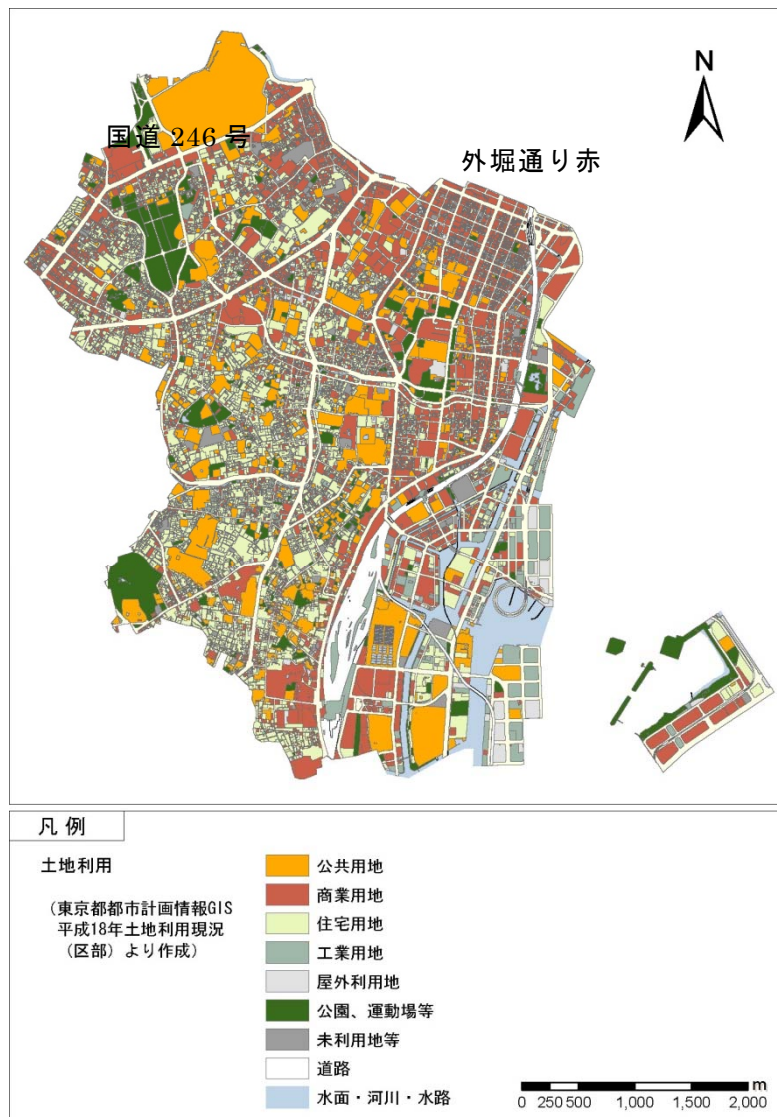


図 3-3 土地利用

出典：東京都都市計画情報 GIS 平成 18 年度土地利用現況（区部）

(3) 人口

港区の人口及び世帯数は、平成 23 年 3 月 1 日現在、それぞれ 213,553 人、119,556 世帯であり、いずれも近年増加傾向にある。また、世帯あたり人口も近年若干増加傾向にあり、1.79 人（平成 23 年 3 月 1 日現在）となっている。人口増加は、近年の再開発や、東側の臨海部における倉庫から住宅地への建替えによる土地利用の転換などにより、大規模マンション開発が次々に行われていることが背景にある。

(4) 緑の分布

第 7 次港区みどりの実態調査報告書<sup>4)</sup>によると港区の緑被地の分布状況は図 3-4 に示すとおりである。緑被地面積・緑被率は、表 3-1 に示すように 1979 年（300ha・15%）から 2006 年（417ha・21%）にかけて増加しており、2006 年の緑被地面積は 1979 年の 1.4 倍に及ぶ。緑被地の内訳構成では、1979 年から 2006 年の間に樹木被覆地が最も増加しており、約 1.5 倍となっている。特に 1990 年代半ば以降の伸びが大きい要因は、大規模な再開発事業により樹木が植栽されたことにある。これに対し、一時的に草地化していた開発予定地(未利用地)の草地は減少している。

表 3-1 緑被地等の面積・緑被率の変遷<sup>4)</sup>

港区みどりの実態調査				第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次
調査年				1979年	1985年	1990年	1995年	2001年	2006年
緑被地等 面積(ha)	オープン スペース	緑被地	樹木被覆地	249.06	255.47	288.50	308.09	319.54	374.58
			草地	51.37	75.33	71.44	68.66	55.92	32.93
			屋上緑地	-	-	-	-	10.69	9.52
			小計	300.43	330.80	359.94	376.75	386.15	417.04
		裸地	56.94	38.99	46.82	38.42	76.87	56.62	
		水面	56.27	47.03	61.76	41.27	37.28	38.70	
		構造物被覆地	1534.46	1582.48	1537.96	1574.56	1533.60	1521.53	
	区全体	1948.10	1999.30	2006.50	2031.00	2033.90	2033.90		
緑被率(%)=(緑被地面積÷区全体)×100				15.42%	16.55%	17.94%	18.55%	18.99%	20.51%

※小数点第3位で四捨五入された値であるため集計値が合わない場合がある

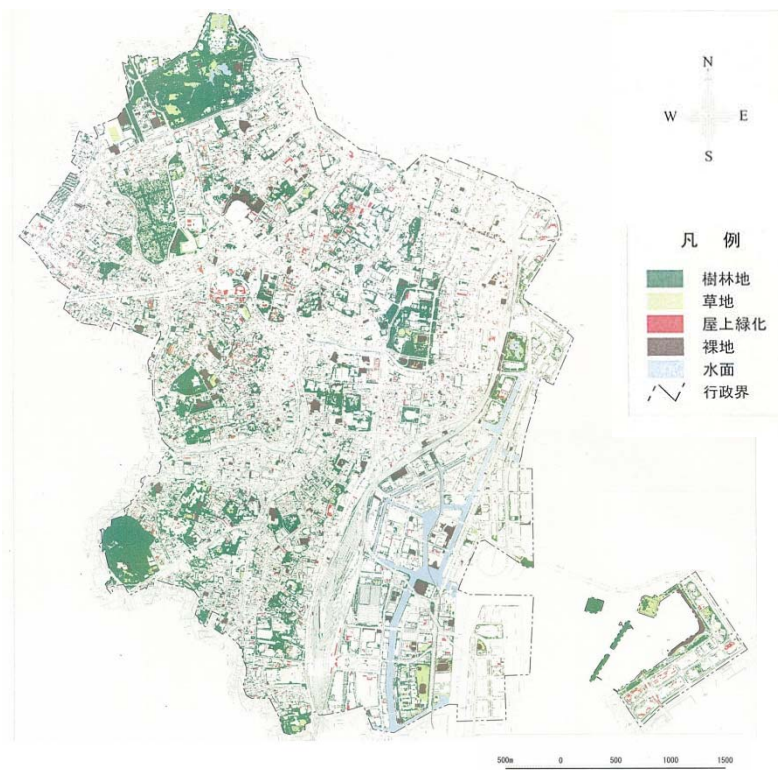


図 3-4 緑被地の分布状況（2006年）<sup>4)</sup>



(5) 気温

ヒートアイランド現象などにより、日本の大都市の年平均気温は急激に上昇している。特に、東京、名古屋、福岡ではこの100年で平均気温が約3℃上昇した<sup>5)</sup>。図3-5に示すように港区内の大気常時観測局（測定地：一の橋、麻布、白金）で観測された8月の平均気温は、図3-5の回帰直線が示すように1980年代半ば以降上昇傾向にある。また、図3-6に示すように、近年、夏季の日最低気温も上昇傾向にある。

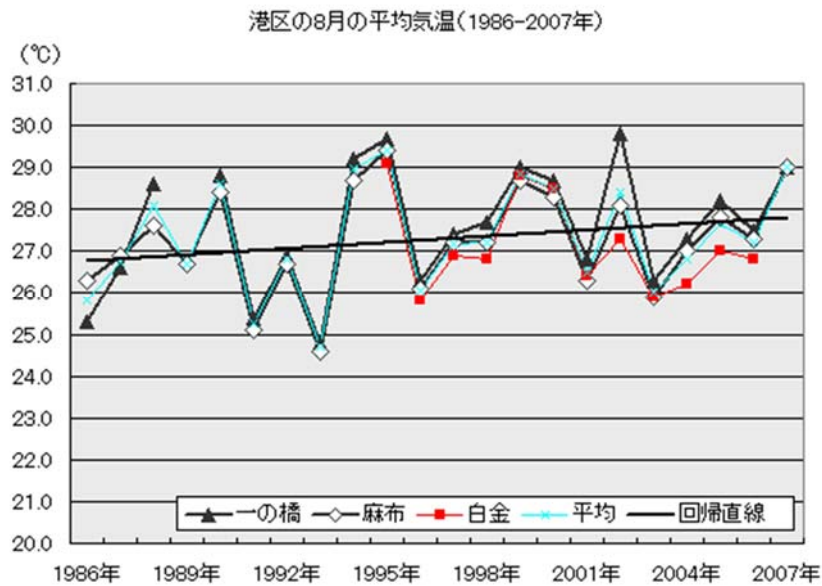


図 3-5 8月の平均気温

出典：大気常時観測局測定データ

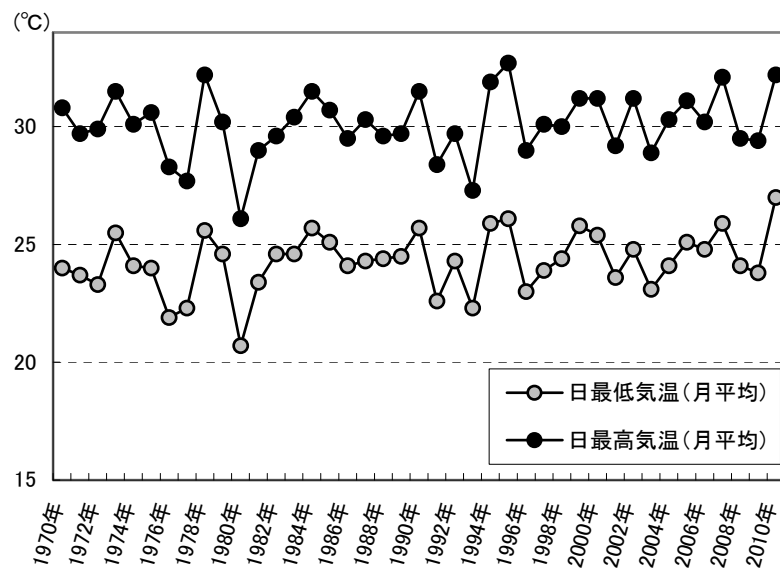


図 3-6 8月の日最高気温と日最低気温の推移

出典；気象統計情報（気象庁）

### 3-2-2 気温データの収集

港区では、インターネットに接続したデジタル百葉箱を高密度に設置し、気象情報や都市活動に関する情報を収集していた。夏季における気温データをデジタル百葉箱より取得し、2007年8月<sup>〔注1〕</sup>における日最高気温及び日最低気温を求めた。風や建物の向き等による気温データの攪乱要因を排除するため、日最高気温及び日最低気温の平均値を用いた。港区内27箇所の観測地点は、図3-7及び表3-2に示すとおりである。観測地点の状況は図3-8に示す。

気温データの50m×50mメッシュ化については、27箇所の日最高気温と日最低気温の平均値を、各観測地点に該当するメッシュのデータとして割り当てた上で、上記の値を基にGISを用いて平面補間<sup>〔注2〕</sup>を行い、港区全域の気温分布を推定した。

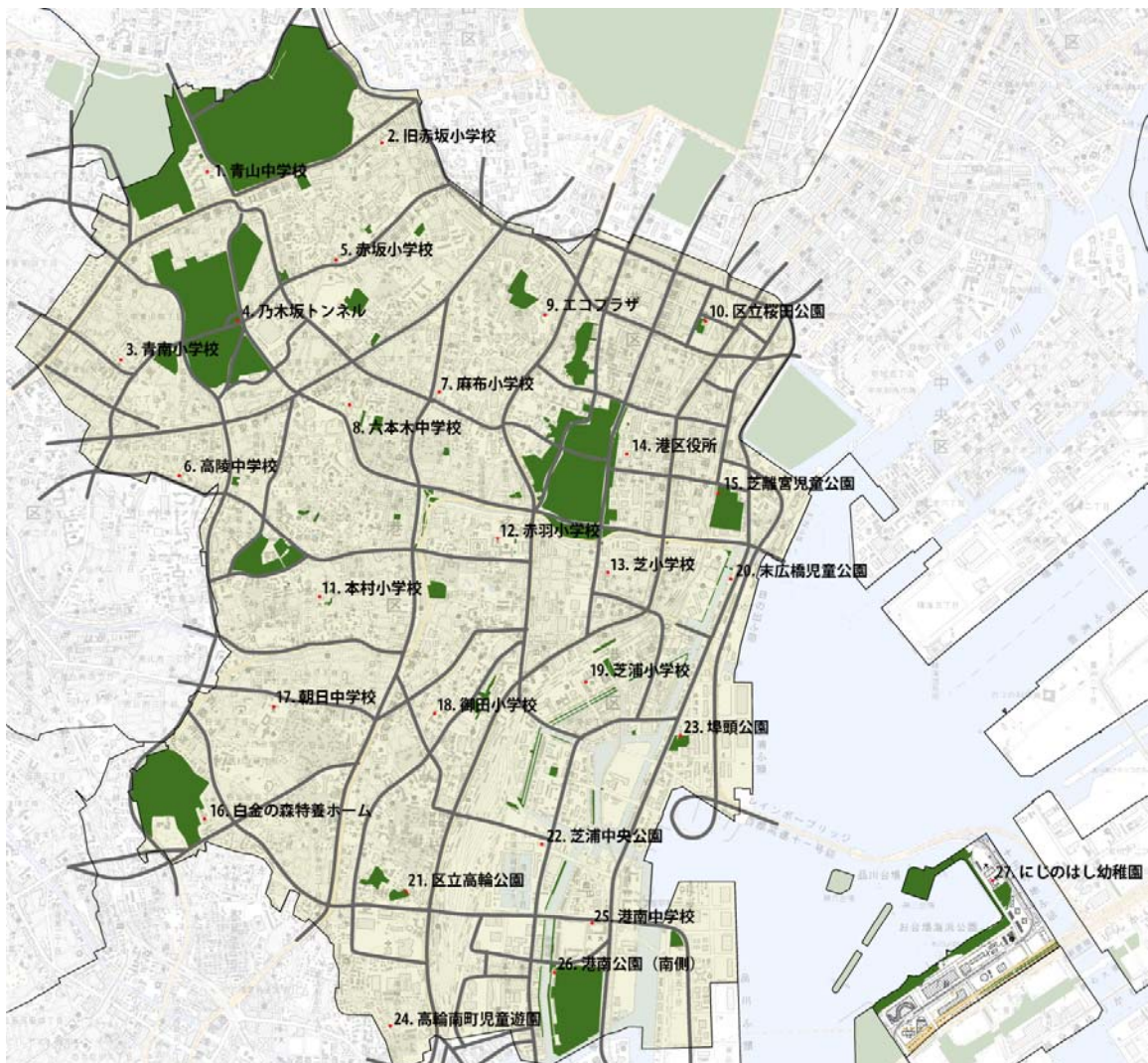


図 3-7 観測地点

表 3-2 観測地点一覧

No	観測地点	住所	緯度	経度
1	青山中学校	北青山1-1-9	35° 40' 13"	139° 43' 34"
2	旧赤坂小学校	赤坂4-1-26	35° 40' 22"	139° 44' 16"
3	青南小学校	南青山4-21-15	35° 39' 36.7"	139° 43' 09.5"
4	乃木坂トンネル電機室	南青山2-34-1	35° 39' 45"	139° 43' 38"
5	赤坂小学校	赤坂8-13-29	35° 39' 58"	139° 44' 03"
6	高陵中学校	西麻布4-14-8	35° 39' 12"	139° 43' 25"
7	麻布小学校	麻布台1-5-15	35° 39' 31.7"	139° 44' 30.4"
8	六本木中学校	六本木6-8-16	35° 39' 29"	139° 44' 05"
9	エコプラザ	虎ノ門3-6-9	35° 39' 44"	139° 44' 58"
10	区立桜田公園	新橋3-16-15	35° 39' 43"	139° 45' 35"
11	本村小学校	南麻布3-9-33	35° 38' 47"	139° 43' 58"
12	赤羽小学校	三田1-4-52	35° 39' 00"	139° 44' 43"
13	芝小学校	芝2-21-3	35° 38' 52"	139° 45' 12"
14	港区役所	芝公園1-5-25	35° 39' 18"	139° 43' 14"
15	芝離宮児童公園	海岸1-4-1	35° 39' 10"	139° 45' 43"
16	白金の森特養ホーム	白金台5-20-5	35° 38' 02"	139° 43' 30"
17	朝日中学校	白金4-1-12	35° 38' 25"	139° 43' 47"
18	御田小学校	三田4-11-38	35° 38' 23.1"	139° 44' 27.7"
19	芝浦小学校	芝浦3-1-20	35° 38' 30.9"	139° 45' 08.0"
20	芝浦環境測定局	海岸2-1-27	35° 38' 49"	139° 45' 42"
21	区立高輪公園	高輪3-18-18	35° 37' 46"	139° 44' 19"
22	芝浦中央公園	港南1-2-28	35° 37' 57"	139° 44' 49"
23	埠頭公園	海岸3-14-34	35° 38' 18"	139° 45' 30"
24	高輪南町児童遊園	高輪4-24-36	35° 37' 18"	139° 44' 19"
25	港南中学校	港南4-3-3	35° 37' 40"	139° 45' 08"
26	港南公園(南側)	港南4-5-1	35° 37' 15"	139° 45' 00"
27	にじのはし幼稚園	台場1-1-5	35° 37' 50"	139° 46' 51"



図 3-8 観測地点の状況

### 3-2-3 関連データの収集

ヒートアイランド現象に関する既往知見<sup>6),7),8)</sup>を踏まえ、気温形成に関連すると考えられる要因データとして、緑地面積、人工排熱量、建物延床面積、標高の各データを収集・整理した。この各要因データの算出方法・メッシュ化の具体的な方法を以下に示す。

#### (1) 緑地面積

緑地面積については、第7次港区みどりの実態調査（平成18年度）<sup>4)</sup>においてデジタル航空カメラで撮影した航空写真データからカラーデジタルオルソデータ及び近赤外線オルソデータを作成し、緑被判別を行ったデータがGISデータとして整理されており、これを活用した。ここで、緑被判別の対象となった緑地とは、樹林被覆地、草地、屋上緑地、裸地、水面を含んでいる。

また、樹林被覆地のうち、特に200㎡以上のまとまりが見られる箇所は「樹林地」として抽出されており、これを活用することとした。従って、緑に関連する気温形成の要因データとしては、樹林被覆地、草地、屋上緑地、裸地、水面で構成される「緑地」と「樹林地」の2つに分けて集計・整理をした。

#### (2) 人工排熱量

##### a) 対象

人工排熱量の算定については、本章では都市の気温等に直接影響を与える排出段階<sup>[注3]</sup>に着目し、かつ港区内における全人工排熱量の約9割を占める事業所、住宅、車両、鉄道からの人工排熱を対象とした。利用したデータは表3-3のとおりである。その上で各人工排熱量の算出にあたっては、「平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書（国土交通省・環境省）」<sup>9)</sup>（以下、「人工排熱調査報告書」という。）に示された排熱原単位、及び算定方法に準じた。事業所や住宅等における人工排熱量については建物規模別用途別の排熱原単位を、車両からの人工排熱量については車両区分別速度別時間帯別の排熱原単位を、鉄道からの人工排熱量については鉄道路線別の排熱原単位を各々用いて各人工排熱量を算定している。

なお、東日本大震災後、2013年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」が改正され、住宅・ビルや他の機器等のエネルギーの消費効率の向上に資する製品を新たにトップランナー制度の対象に追加しているが、高度経済成長期およびそれ以降に建築された既存建築ストックが大量にあること、リーマンショック以降の経済の低迷により建築着工数が伸び悩んでいること等により、現時点では人工排熱量の算定にほとんど影響はないと考える。

表 3-3 対象とする人工排熱と利用データ

熱源の種別			収集データの出典	収集年 度
建物排熱	業務ビル	事業所(工場建屋も含む) 商業施設 ホテル 学校 その他	東京都都市計画基礎調査 (GIS データ)	平成 18年
	住宅	戸建住宅 集合住宅		
交通排熱	自動車		道路交通センサス	平成 17年
	鉄道	地上走行	JTB時刻表(4月)	平成 17年

b) 建物

「人工排熱調査報告書」<sup>9)</sup>に整理されている人工排熱量原単位の建物用途区分との整合を図るため、図 3-9 に従い東京都都市計画基礎調査 (GIS データ) の建物用途区分を本調査区分に集約した。

建物からの人工排熱量の算定は、まず都市計画基礎調査の GIS データを活用して、個々の建物の用途判別を行うとともに、個々の建物ポリゴンデータをもとに建物面積を求め、これに階数を乗算することで個々の建物延床面積を求めた。この建物延床面積に該当する建物用途別・ランク別排熱原単位(表 3-4~表 3-10)を乗算し、個々の建物から排出される人工排熱量を求めた。

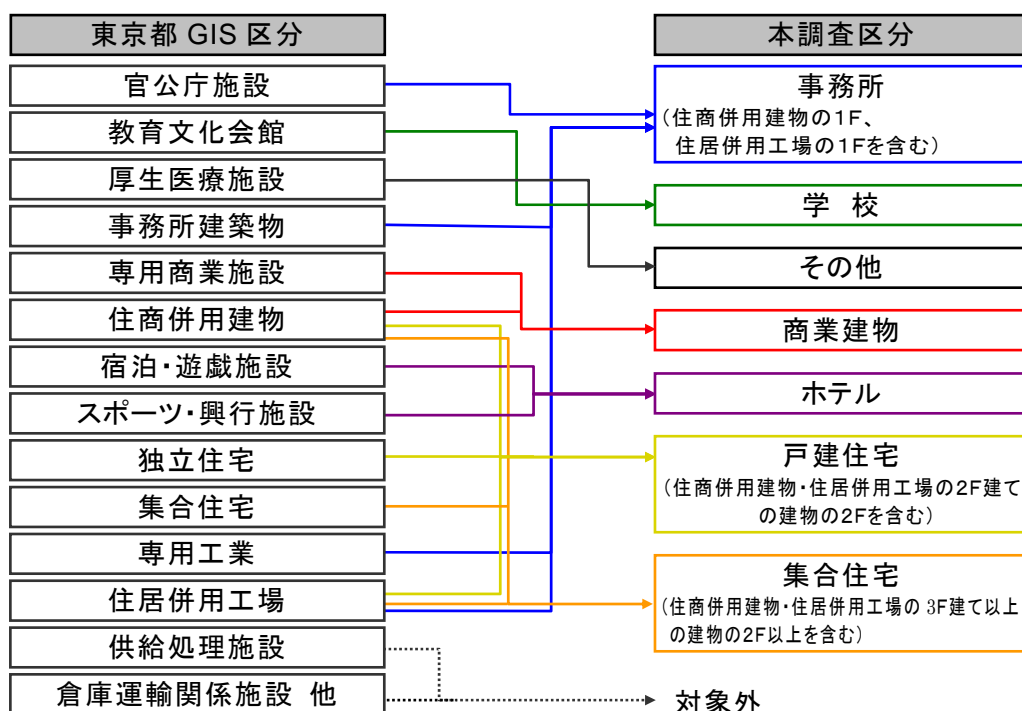


図 3-9 人工排熱算出用建物と東京都 GIS 建物分類との関係

表 3-4 人工排熱調査報告書の排熱原単位（建物）<sup>9)</sup>

排熱原単位（顕熱・潜熱・下水排熱）kJ/m <sup>2</sup> /h	備考
事務所建物の排熱原単位（8月推計値）	ランク別
商業建物の排熱原単位（〃）	〃
ホテルの排熱原単位（〃）	〃
学校及びその他用途の排熱原単位（〃）	m <sup>2</sup> あたり
集合住宅の排熱原単位（〃）	〃
戸建住宅の排熱原単位（〃）	〃

なお、下水排熱はランクによらない。

表 3-5 建物延床面積のランク区分<sup>9)</sup>

ランク	延床面積
1	0 m <sup>2</sup> ～ 1 千 m <sup>2</sup> 未満
2	1 千 m <sup>2</sup> 以上 ～ 2 千 m <sup>2</sup> 未満
3	2 千 m <sup>2</sup> 以上 ～ 5 千 m <sup>2</sup> 未満
4	5 千 m <sup>2</sup> 以上 ～ 10 千 m <sup>2</sup> 未満
5	10 千 m <sup>2</sup> 以上 ～ 20 千 m <sup>2</sup> 未満
6	20 千 m <sup>2</sup> 以上 ～ 40 千 m <sup>2</sup> 未満
7	40 千 m <sup>2</sup> 以上 ～

表 3-6 商業建物の排熱原単位（8月の推計値）9）

時刻	単位 kJ/m <sup>2</sup> h																							
	大気排熱																							
	ランク1		ランク2		ランク3		ランク4		ランク5		ランク6		ランク7		下水排熱									
顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱							
1	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	7.23	-5.19	0.00	0.00				
2	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	7.57	-5.01	0.00	0.00				
3	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	7.89	-4.89	0.00	0.00				
4	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	8.14	-4.80	0.00	0.00				
5	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	8.42	-4.83	0.00	0.00				
6	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	8.52	-4.86	0.00	0.00				
7	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	8.33	-4.92	0.00	0.00				
8	12.02	-4.06	11.93	-3.81	11.76	-3.32	11.46	-2.47	11.06	-1.33	10.72	-0.36	10.70	-0.31	10.70	-0.31	10.70	-0.31	0.00	0.00				
9	162.33	21.67	158.50	29.54	151.07	44.74	138.24	70.99	120.96	106.38	106.29	136.56	105.49	138.22	25.56	105.49	138.22	25.56	25.56	25.56				
10	409.54	79.88	400.42	105.60	382.68	155.30	352.05	241.16	310.82	356.89	275.80	455.57	273.91	461.01	17.64	273.91	461.01	17.64	17.64	17.64				
11	420.88	84.58	410.59	111.81	390.57	164.41	356.02	255.34	309.50	377.87	269.98	482.34	267.85	488.10	12.96	267.85	488.10	12.96	12.96	12.96				
12	425.06	87.69	413.94	115.89	392.31	170.38	354.96	264.50	304.70	391.36	261.99	499.53	259.67	505.50	16.92	259.67	505.50	16.92	16.92	16.92				
13	416.31	86.82	404.91	115.13	382.74	169.84	344.47	264.34	292.96	391.71	249.18	500.32	246.81	506.31	20.52	246.81	506.31	20.52	20.52	20.52				
14	390.16	82.95	379.10	110.37	357.60	163.36	320.48	254.89	270.50	378.27	228.03	483.46	225.73	489.26	21.96	225.73	489.26	21.96	21.96	21.96				
15	407.07	87.37	395.33	115.86	372.51	170.92	333.12	266.03	280.09	394.22	235.02	503.52	232.58	509.55	16.92	232.58	509.55	16.92	16.92	16.92				
16	416.64	89.66	404.68	118.58	381.43	174.48	341.29	271.04	287.25	401.18	241.33	512.16	238.84	518.27	12.60	238.84	518.27	12.60	12.60	12.60				
17	411.80	86.79	400.57	114.84	378.72	169.06	341.01	262.71	290.25	388.94	247.11	496.57	244.77	502.50	14.40	244.77	502.50	14.40	14.40	14.40				
18	405.58	82.25	391.99	8.43	365.60	16.31	320.03	38.57	258.67	68.59	206.50	94.20	203.67	95.62	19.44	203.67	95.62	19.44	19.44	19.44				
19	343.79	8.48	333.91	-3.09	314.71	7.31	281.57	25.28	236.95	49.50	199.02	70.17	196.96	71.32	16.56	196.96	71.32	16.56	16.56	16.56				
20	87.76	-8.69	85.88	-7.49	82.23	-5.19	75.92	-1.21	67.42	4.16	60.20	8.75	59.81	9.00	15.48	59.81	9.00	15.48	15.48	15.48				
21	65.86	-8.63	64.53	-7.79	61.93	-6.16	57.45	-3.36	51.41	0.41	46.29	3.64	46.01	3.82	7.56	46.01	3.82	7.56	7.56	7.56				
22	43.20	-8.12	42.39	-7.62	40.81	-6.61	38.10	-4.96	34.41	-2.69	31.33	-0.75	31.16	-0.51	0.00	31.16	-0.51	0.00	0.00	0.00				
23	6.67	-5.44	6.67	-5.44	6.67	-5.44	6.67	-5.44	6.67	-5.44	6.67	-5.44	6.67	-5.44	0.00	6.67	-5.44	0.00	0.00	0.00				
24	9.38	-5.28	9.38	-5.28	9.38	-5.28	9.38	-5.28	9.38	-5.28	9.38	-5.28	9.38	-5.28	0.00	9.38	-5.28	0.00	0.00	0.00				
合計	4490.15	620.99	4370.80	836.05	4138.81	1339.62	3738.30	2157.65	3199.12	3260.27	2740.91	4200.49	2716.08	4252.34	218.52	2716.08	4252.34	218.52	218.52	218.52				

時刻：毎正時

表 3-7 ホテルの排熱原単位（8月の推計値）9）

時刻	大気排熱																								下水 排熱
	ワンク1		ワンク2		ワンク3		ワンク4		ワンク5		ワンク6		ワンク7		ワンク7										
	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱									
1	178.65	177.09	178.02	179.65	176.89	184.32	174.60	193.65	170.62	209.74	163.91	236.51	158.49	257.89	26.28										
2	145.58	140.28	145.20	142.32	144.49	146.04	143.03	153.48	140.43	166.29	135.85	187.61	132.00	204.63	20.88										
3	140.83	132.65	140.50	134.59	139.89	138.11	138.63	145.15	136.36	157.27	132.30	177.45	128.84	193.56	20.16										
4	148.13	137.59	147.78	139.60	147.15	143.25	145.84	150.56	143.49	163.14	139.31	184.08	135.79	200.80	17.28										
5	150.02	136.02	149.70	138.00	149.10	141.61	147.88	148.84	145.69	161.27	141.77	181.98	138.45	198.51	18.00										
6	150.69	135.39	150.37	137.37	149.80	140.96	148.61	148.16	146.47	160.54	142.65	181.16	139.40	197.62	18.00										
7	149.18	128.94	148.88	130.88	148.31	134.41	147.13	141.48	145.01	153.66	141.19	173.91	137.95	190.09	24.84										
8	140.23	128.97	139.86	130.94	139.18	134.53	137.76	141.72	135.23	154.09	130.73	174.67	126.92	191.11	26.28										
9	150.70	154.63	150.12	156.96	149.07	161.20	146.93	169.69	143.17	184.30	136.72	208.63	131.42	228.05	32.76										
10	157.21	178.01	156.42	180.66	154.99	185.50	152.09	195.19	147.07	211.87	138.60	239.63	131.74	261.79	36.36										
11	145.11	176.25	144.28	178.88	142.79	183.68	139.77	193.28	134.52	209.81	125.64	237.32	118.44	259.29	39.96										
12	144.65	185.42	143.72	188.20	142.03	193.27	138.63	203.41	132.73	220.87	122.81	249.93	114.81	273.13	32.76										
13	170.94	221.58	169.72	224.89	167.50	230.93	163.07	243.00	155.45	263.79	142.83	298.40	132.79	323.05	29.16										
14	156.38	210.90	155.22	214.05	153.11	219.78	148.90	231.26	141.64	251.02	129.54	283.92	119.88	310.19	37.80										
15	173.88	233.26	172.56	236.72	170.14	243.03	165.31	235.65	157.03	277.38	143.35	313.56	132.50	342.46	41.40										
16	164.84	222.48	163.60	225.78	161.33	231.80	156.81	243.85	149.04	264.60	136.14	299.13	125.88	326.72	39.96										
17	175.60	225.25	174.34	228.66	172.03	234.87	167.42	247.29	159.53	268.69	146.48	304.31	136.12	332.77	34.92										
18	172.87	210.67	171.75	213.87	169.72	219.68	165.65	231.33	158.67	251.37	147.09	284.74	137.86	311.40	34.92										
19	194.70	222.79	193.54	226.16	191.41	232.30	187.18	244.61	179.93	265.79	167.98	301.06	158.52	329.24	26.28										
20	176.66	190.82	175.76	193.73	174.12	196.05	170.84	209.70	165.19	228.02	155.75	258.53	148.21	282.90	32.04										
21	172.94	176.58	172.17	179.30	170.76	184.26	167.94	194.19	163.05	211.29	154.85	239.75	148.24	262.48	32.76										
22	152.93	159.63	152.38	161.93	151.37	163.13	149.33	174.52	145.74	188.97	139.56	213.02	134.49	232.23	37.08										
23	155.42	157.92	154.90	160.19	153.95	164.34	152.02	172.63	148.62	186.90	142.77	210.66	137.95	229.63	39.24										
24	152.82	152.47	152.34	154.68	151.47	158.70	149.68	166.76	146.54	180.63	141.09	203.71	136.58	222.14	27.72										
合計	3820.95	4195.58	178.02	179.65	3770.57	4371.77	3795.04	4599.38	3591.21	4991.32	3398.91	5643.67	3243.28	6164.67	726.83										



表 3-8 学校及びその他用途の排熱原単位（8月の推計値）<sup>9)</sup>

単位 kJ/m<sup>2</sup>/h

時刻	学校			その他建物		
	大気排熱		下水排熱	大気排熱		下水排熱
	顕熱	潜熱		顕熱	潜熱	
1	7.20	0.00	0.00	39.82	34.30	7.56
2	6.48	0.00	0.00	33.17	26.61	5.40
3	7.20	0.00	0.00	32.53	25.05	5.04
4	7.92	0.00	0.00	34.31	26.15	4.32
5	7.20	0.00	0.00	34.73	25.80	4.68
6	5.76	0.00	0.00	34.64	25.65	4.68
7	9.00	0.00	0.00	36.74	24.42	7.92
8	14.40	0.00	0.00	44.68	28.23	9.72
9	14.40	0.00	0.00	111.87	75.15	16.92
10	15.48	0.00	0.00	155.71	136.85	18.36
11	18.72	0.00	0.00	152.98	141.16	15.48
12	20.88	0.00	0.00	150.89	145.64	14.76
13	19.44	0.00	0.00	154.92	153.27	16.56
14	19.80	0.00	0.00	147.10	147.92	15.84
15	16.92	0.00	0.00	150.70	156.66	16.20
16	14.40	0.00	0.00	148.89	155.88	14.76
17	12.96	0.00	0.00	151.63	153.30	15.12
18	11.52	0.00	0.00	131.38	60.63	19.44
19	11.52	0.00	0.00	112.51	57.05	18.36
20	10.44	0.00	0.00	76.12	39.98	16.92
21	6.48	0.00	0.00	67.87	35.92	13.68
22	7.92	0.00	0.00	51.87	31.53	14.76
23	7.92	0.00	0.00	43.00	30.47	15.48
24	7.92	0.00	0.00	35.23	29.10	8.28
合計	281.88	0.00	0.00	2133.29	1766.72	300.24

表 3-9 集合住宅の排熱原単位（8月の推計値）<sup>9)</sup>

kJ/m<sup>2</sup>/h

時刻	大気顕熱 負荷	大気潜熱 負荷	下水排熱
1	40.72	-3.80	14.76
2	24.15	-4.71	5.04
3	15.59	-5.19	0.00
4	8.27	-5.19	0.00
5	6.35	-5.19	0.00
6	6.35	-5.19	0.00
7	16.02	-4.82	3.96
8	22.70	-4.14	11.16
9	32.92	-4.34	9.00
10	26.61	-4.88	3.24
11	18.17	-4.48	7.56
12	16.71	-5.02	1.80
13	30.06	-5.02	1.80
14	40.80	-4.75	4.68
15	42.85	-4.99	2.16
16	56.31	-5.15	0.36
17	39.29	-4.44	7.92
18	38.29	-4.48	7.56
19	61.87	-3.49	18.00
20	67.61	-1.42	39.96
21	89.78	-0.81	46.44
22	66.09	-0.98	44.64
23	67.36	-2.34	30.24
24	61.43	-3.66	16.20
合計	896.29	-98.48	276.48

表 3-10 戸建住宅の排熱原単位（8月の推計値）<sup>9)</sup>

kJ/m <sup>3</sup> /h			
時刻	大気顕熱 負荷	大気潜熱 負荷	下水排熱
1	3.79	-4.51	7.20
2	3.27	-4.95	2.52
3	2.99	-5.19	0.00
4	2.99	-5.19	0.00
5	2.99	-5.19	0.00
6	2.99	-5.19	0.00
7	12.70	-3.87	14.04
8	17.35	-2.68	26.64
9	16.56	-4.07	11.88
10	20.87	-1.83	35.64
11	21.69	-4.00	12.60
12	27.10	-3.76	15.12
13	42.12	-2.27	30.96
14	42.65	-4.95	2.52
15	33.93	-4.31	9.36
16	29.37	-4.44	7.92
17	31.97	-3.32	19.80
18	34.60	-1.05	43.92
19	82.09	0.48	60.12
20	97.40	-1.49	39.24
21	81.00	-2.44	29.16
22	46.94	-1.08	43.56
23	41.26	-0.92	45.36
24	5.26	-4.07	11.88
合計	703.89	-80.30	469.43

c) 自動車

「人工排熱調査報告書」<sup>9)</sup>に整理されている自動車の人工排熱量原単位は、乗用車・バス・小型貨物・普通貨物の4車種に区分され、かつ速度別、時間帯別となっている。表 3-11 に従い、道路交通センサスより集計可能なデータを設定する。自動車からの人工排熱量の計算は、平成 17 年道路交通センサスの時間帯別区間別車種別交通量データ、及び速度データに、表 3-12 及び表 3-13 の車両区分別速度別時間帯別排熱原単位を乗じて各区間単位で自動車からの人工排熱量を求めた。具体的には、自動車の利用によって消費されるエネルギー量を顕熱と潜熱に配分し、これにエアコンの空調排熱を顕熱として足し合わせて自動車からの環境への排熱量とした。交通量算定対象路線を表 3-14 及び図 3-11 に示す。

非幹線道路における交通量の推定については、既存データがないため、本調査では「人工排熱調査報告書」の「23 区における自動車消費エネルギー量の時間変動」（図 3-12）による幹線道路と非幹線道路の消費エネルギー量の比率（67%：33%）を用い、先の幹線道路の排熱量の計算結果に非幹線道路分の排熱量を加味して自動車環境への排熱量とした。

表 3-11 人工排熱量原単位の区分と道路交通センサスでの区分との関係<sup>9)</sup>

区分	人工排熱量原単位の区分	道路交通センサスの区分
車種区分	乗用車,バス,小型貨物,普通貨物	センサス車種区分 (同左)
時間帯	9時～20時 21時～8時	7時～18時(昼間) 19時～6時(夜間)
速度区分	10km/h,20km/h,30km/h,40km/h,50km/h,60km/h,70km/h	7時～18時の速度は混雑時(ピーク時)旅行速度 19時～6時の速度は法定速度

表 3-12 車種別・速度別消費エネルギー係数(高位発熱基準)<sup>9)</sup>

単位:kcal/(km・台)

速度km/h	乗用車		バス		小型貨物		普通貨物	
	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時
10	1,568	1,452	4,276	3,963	1,362	1,262	5,667	5,252
20	1,044	968	3,283	3,042	1,084	1,005	4,769	4,420
30	835	774	2,768	2,566	915	849	4,055	3,759
40	720	666	2,441	2,262	800	742	3,518	3,261
50	652	603	2,242	2,078	726	673	3,159	2,927
60	617	572	2,151	1,994	690	639	2,975	2,757
70	610	566	2,161	2,003	689	638	2,967	2,749

表 3-13 車種別・速度別消費エネルギー係数(低位発熱基準; 顕熱分)<sup>9)</sup>

単位:kcal/(km・台)

速度km/h	乗用車		バス		小型貨物		普通貨物	
	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時
10	1,494	1,384	4,041	3,745	1,293	1,198	5,355	4,963
20	995	922	3,102	2,875	1,029	954	4,507	4,177
30	796	738	2,616	2,425	869	806	3,832	3,552
40	686	635	2,307	2,138	760	704	3,325	3,082
50	621	575	2,119	1,964	689	639	2,985	2,766
60	588	545	2,033	1,884	655	607	2,811	2,605
70	581	539	2,042	1,893	654	606	2,804	2,598

表 3-14 交通量算定対象路線

(単位：km)

NO	集計対象路線名	センサス区間		観測地点	区間延長	港区区内区 間延長
		起点	終点			
1	高速1号羽田線	港区海岸一丁目	大田区羽田旭町	大田区平和島2丁目1	12.6	3.3
2	高速2号目黒線	港区三田一丁目	品川区戸越一丁目	港区白金台5丁目2	5.7	2.9
3	高速3号渋谷線	港区六本木3丁目	世田谷区上用賀5丁目	世田谷区用賀4丁目5	11.6	1.8
4	高速11号台場線	港区海岸2丁目	江東区有明2丁目	港区海岸3丁目	4.4	3.2
5	高速都心環状線	港区東麻布3丁目	千代田区隼町	港区六本木5丁目18	3.7	2.0
		港区海岸一丁目	港区東麻布3丁目	港区芝3丁目2	2.2	2.2
		中央区日本橋兜町	港区海岸1丁目	中央区八丁堀3丁目2	3.9	2.1
6	高速湾岸線	大田区昭和島2丁目	江東区辰巳3丁目	品川区八潮3丁目2	10.9	1.2
7	一般国道1号	桜田門交差点	赤羽交差点	千代田区霞が関2-1	2.9	1.9
		赤羽橋交差点	白金一丁目交差点	港区芝3-15	1.9	1.9
		白金1丁目交差点	中原口交差点	品川区東五反田1-10	2.8	1.4
		新橋交差点	芝5丁目交差点	港区浜松町1-10	2.6	2.6
8	一般国道15号	芝5丁目交差点	八ッ山橋交差点	港区高輪3-25	2.8	2.8
		芝5丁目交差点	八ッ山橋交差点	港区高輪3-25	2.8	2.8
9	一般国道130号	港区芝4-8	港区海岸2-4		0.5	0.5
10	一般国道246号	三宅坂交差点	青山一丁目交差点	港区赤坂4-1	2.1	1.3
		青山1丁目交差点	渋谷駅東口交差点	港区南青山2-12	2.5	1.7
11	一般国道357号	東雲交差点	沈埋トンネル東口	江東区東雲2	3.4	1.2
12	環状3号線	港区芝公園4-10	港区南青山1-4	港区東麻布3丁目10	3.3	3.3
		港区麻布台2-3	文京区関口2-23	新宿区左門町13	6.8	2.2
13	芝新宿王子線	港区白金2-3	港区恵比寿1-7	渋谷区恵比寿1丁目22	2.2	2.2
14	日本橋芝浦大森線	中央区銀座4-10	港区新橋2-19	中央区銀座8丁目14	0.7	0.4
		港区東新橋1-5	品川区東品川2-2	品川区東品川2丁目2	4.9	4.9
		港区海岸線3-3	品川区東品川1-25		3.0	2.8
15	白金台町等々力線	港区白金2-5	目黒区目黒1丁目24	目黒区目黒1丁目24	3.2	1.6
16	白山祝田田町線	港区5-25	港区5-29		0.4	0.4
		港区虎ノ門1-4	港区愛宕2丁目3	港区愛宕2丁目3	1.8	1.8
		千代田区大手町1-4	港区西新橋1-6	千代田区霞が関1丁目1	2.6	0.1
17	霞ヶ関渋谷線	千代田区霞ヶ関2-1	渋谷区渋谷2-15	港区六本木6丁目2	4.8	3.1
18	外濠環状線	港区新橋2-19	港区元赤坂1-2	港区西新橋1丁目10	3.2	3.2
		港区元赤坂1-2	新宿区市谷八幡町2		1.9	0.8
19	古川橋二子玉川線	渋谷区広尾1-2	港区白金1-2	渋谷区広尾1丁目4	2.3	1.2
20	高輪麻布線	港区六本木1-3	港区白金1-29	港区南麻布1丁目6	2.4	2.4
		港区三田5-16	港区高輪2-15		1.1	1.1
21	四谷角筈線	新宿区霞岳町5	港区北青山2-1		1.2	0.4
22	新橋日の出頭線	港区海岸1-8	港区海岸2-4		1.3	1.3
		港区東新橋1-2	港区東新橋1-9		0.5	0.5
23	赤坂杉並線	港区赤坂3-5	渋谷区上原1-1	渋谷区富ヶ谷1丁目11	5.5	3.1
24	日比谷芝浦線	港区三田3-5	港区芝浦3-15	港区芝浦3丁目4	0.6	0.6
		千代田区有楽町1-5	港区芝4-4	港区西新橋2丁目8	3.1	2.5
25	品川埠頭線	港区港南1-7	品川区東品川2-4		2.1	1.7
26	北品川四谷線	新宿区新宿1-26	品川区西五反田3-7	渋谷区神宮前2丁目9	8.0	2.6
		港区白金6-18	港区白金台4-8		0.6	0.6
27	台場青海線	江東区台場2	江東区青梅2		2.5	1.3

出典：平成17年度道路交通センサス



図 3-10 交通量算定対象路線

出典:平成 17 年度道路交通センサス

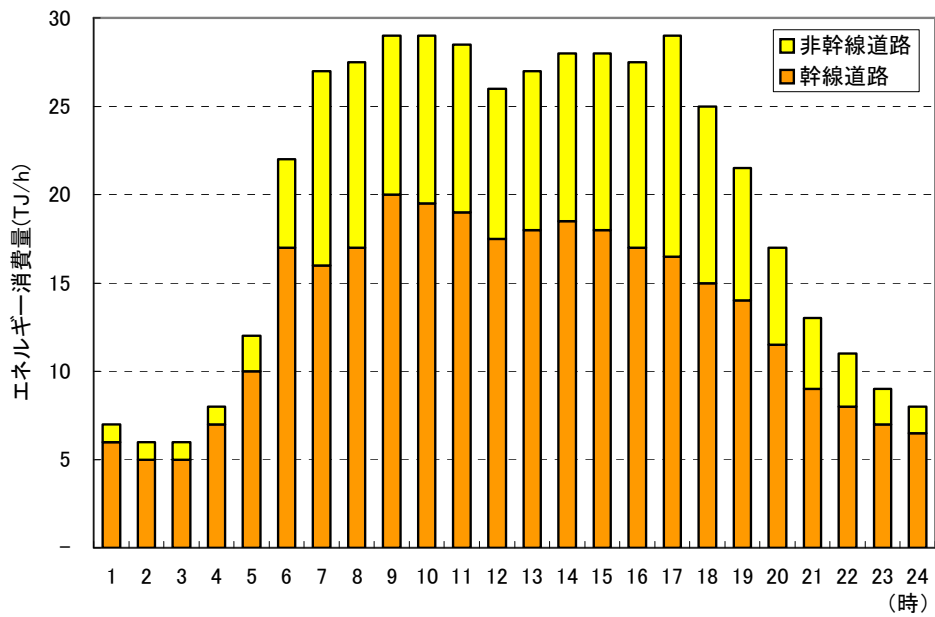


図 3-11 23 区における自動車消費エネルギー量の時間変動<sup>9)</sup>

d) 鉄道（地上走行）

鉄道からの人工排熱量の計算は、平成 18 年 JTB 時刻表をもとに、表 3-15、表 3-16 に示す鉄道駅間における鉄道路線別の列車の運行本数を整理し、「人工排熱調査報告書」<sup>9)</sup>の鉄道各線の消費エネルギー原単位（走行：8月の推定値）による排熱原単位（編成）を乗算して駅間毎の鉄道からの人工排熱量を求めた。

表 3-15 算定対象鉄道路線

区分	路 線 名
J R	東海道新幹線 東海道本線 総武・横須賀線 成田線（成田エクスプレス） 山手線
私鉄	東京モノレール 京浜急行電鉄

表 3-16 算定対象鉄道路線の営業キロ

JR							
東海道新幹線	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川		港区 外駅	
	5.5(km)	0.0(km)		0.5(km)	5.0(km)		
東海道本線	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川		新橋	港区 外駅
	5.6(km)	0.0(km)	0.5(km)	4.9(km)			0.2(km)
総武・横須賀線	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川		新橋	港区 外駅
	5.6(km)	4.5(km)	0.5(km)	4.9(km)			0.2(km)
成田線(成田エクスプレス)	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川			港区 外駅
	5.5(km)	0.0(km)		0.5(km)	5.0(km)		
山手線・京浜東北線	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川	田町	浜松町	新橋
	5.6(km)	0.0(km)	0.5(km)	2.2(km)	1.5(km)	1.2(km)	0.2(km)
私鉄							
東京モノレール	港区内 全走行距離	地下 走行距離	始発駅のみ				
	3.7(km)	0.0(km)	3.7(km)				
京浜急行電鉄	港区内 全走行距離	地下 走行距離	港区 外駅	品川		泉岳寺	港区 外駅
	5.7(km)	4.8(km)	0.45(km)	0.45(km)			4.80(km)

出典：JTB 時刻表

#### e) メッシュ割付

次に、50mメッシュへの各要因データの割り付けについて述べる。

建物からの排熱は、各 50mメッシュに含まれる建物を GIS にて抽出し、各建物からの人工排熱量を合算することで、各メッシュ単位の人工排熱量を求める。このとき、メッシュをまたぐ建築物については分割し、分割した建物面積の比率をもとに、分割後の建物延べ床面積を按分で求め、これをもとに人工排熱量を算定している。ただし、建物属性（建物用途・ランク）は分割前の属性を踏襲した。

車両や鉄道からの人工排熱は、各区間単位で計算した人工排熱量を距離あたりの人工排熱量に置き換え（区間別人工排熱量/区間距離）、GIS 上で国土地理院発行の数値地図 2500 に収録されている道路・鉄道の polyline（GIS 上に描かれた直線、又は線分）の属性に割り当てる。次に、各 50mメッシュに含まれる道路・鉄道の区間を GIS にて抽出し、各道路・鉄道の距離と距離あたりの人工排熱量を乗算するとともに、メッシュ内に含まれる道路・鉄道の人工排熱量を合算することで、各メッシュ単位の人工排熱量を求めた。

#### (3) 建物延床面積

建物延床面積については、東京都都市計画基礎調査 GIS データを活用して建物別に建物面積×階数で算出した上で、メッシュ単位で集計を行った。

#### (4) 標高

標高データについては、数値地図 50mメッシュ標高（国土地理院）のデータを引用した。

### 3-2-4 解析の方法

本章では、気温への影響度合いを分析する各要因データについては、今回採用した最小のメッシュ単位が  $50\text{m} \times 50\text{m}$ であることを考慮して、気温測定地点を中心とした3つの規模（ $50\text{m}$ 区域、 $150\text{m}$ 区域、 $250\text{m}$ 区域）を便宜的に設定し、各区域別に集計した値を用いた。なお、 $150\text{m}$ 区域、 $250\text{m}$ 区域の各要因データの集計は、図 3-12 に示すように気温の観測地点を含む基本となる  $50\text{m}$ メッシュ（基本メッシュ）に該当する各要因データを、 $150\text{m}$ 区域であれば基本メッシュに隣接する8つの  $50\text{m}$ メッシュの各要因データを集計することで求めた。 $250\text{m}$ 区域についても同様の手法で各要因データを集計している。

その上で、27箇所各の観測地点において、 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 区域、 $150\text{m} \times 150\text{m}$ 区域、 $250\text{m} \times 250\text{m}$ 区域毎に緑地面積、人工排熱量、建物延床面積、標高の再計算を行った。これらの区域規模毎のデータ群に気温データを加え相関分析を実施した。次に、この相関分析の結果を吟味し、気温形成への影響が高い要因に着目し、区域規模別に重回帰分析を実施した。

なお、本章で回帰分析に用いる気温データについては、いずれの区域規模においても、 $50\text{m} \times 50\text{m}$ の基本メッシュ内の27箇所での観測値のみを用いている。

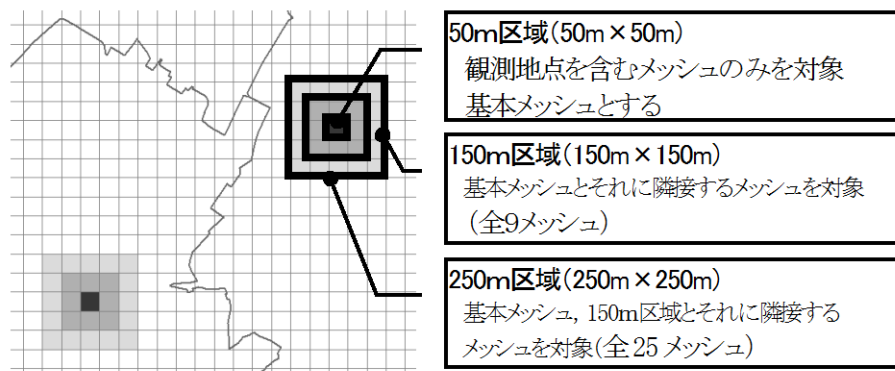


図 3-12 区域規模の考え方の概念



### 3-3 各種データの算出結果

#### 3-3-1 夏季の昼間における冷却効果

##### (1) 気温・要因データの収集とメッシュデータの整理

本章で用いた気温データの一部を以下に紹介する。図 3-13 より、33℃以上の高い気温を示している地区は、麻布地区北部の六本木周辺を中心に、芝地区の北部から赤坂地区にかけての地区に見られる。次いで、気温の高い地区は、高輪地区の白金、芝浦港南地区の高輪となっている。

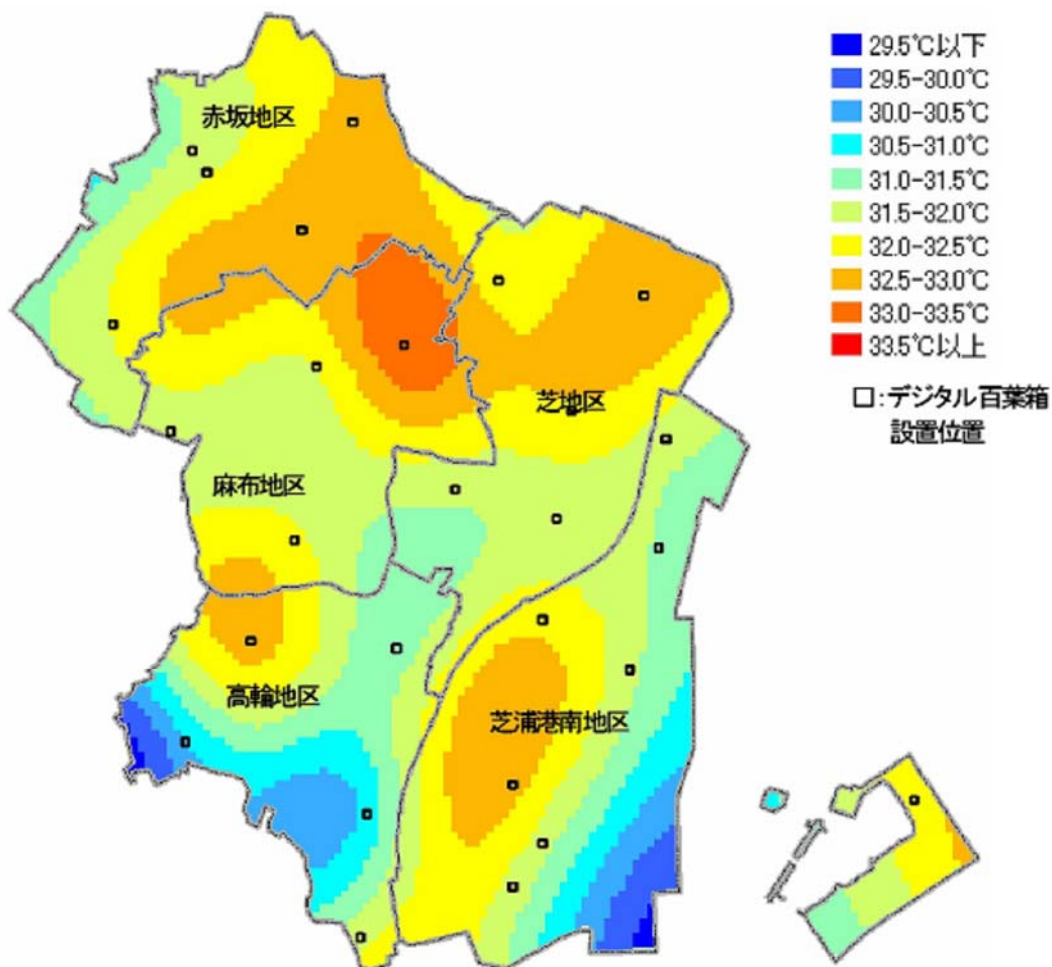


図 3-13 8月の日最高気温平均値

次に、港区の緑地の分布状況を図 3-14 に示す。凡例は、50m×50m (2,500 m<sup>2</sup>) あたりの緑地面積を示している。面的に多く緑が広がっている地区は、北部の赤坂御用地や青山霊園、西部の国立科学博物館附属自然教育園、区中央部の芝公園周辺であり、大規模公園などが主要な緑を形成している。その他の区域の緑は、2,500 m<sup>2</sup>あたり 500 m<sup>2</sup>未満 (緑被率 20%未満) と緑が少ない。

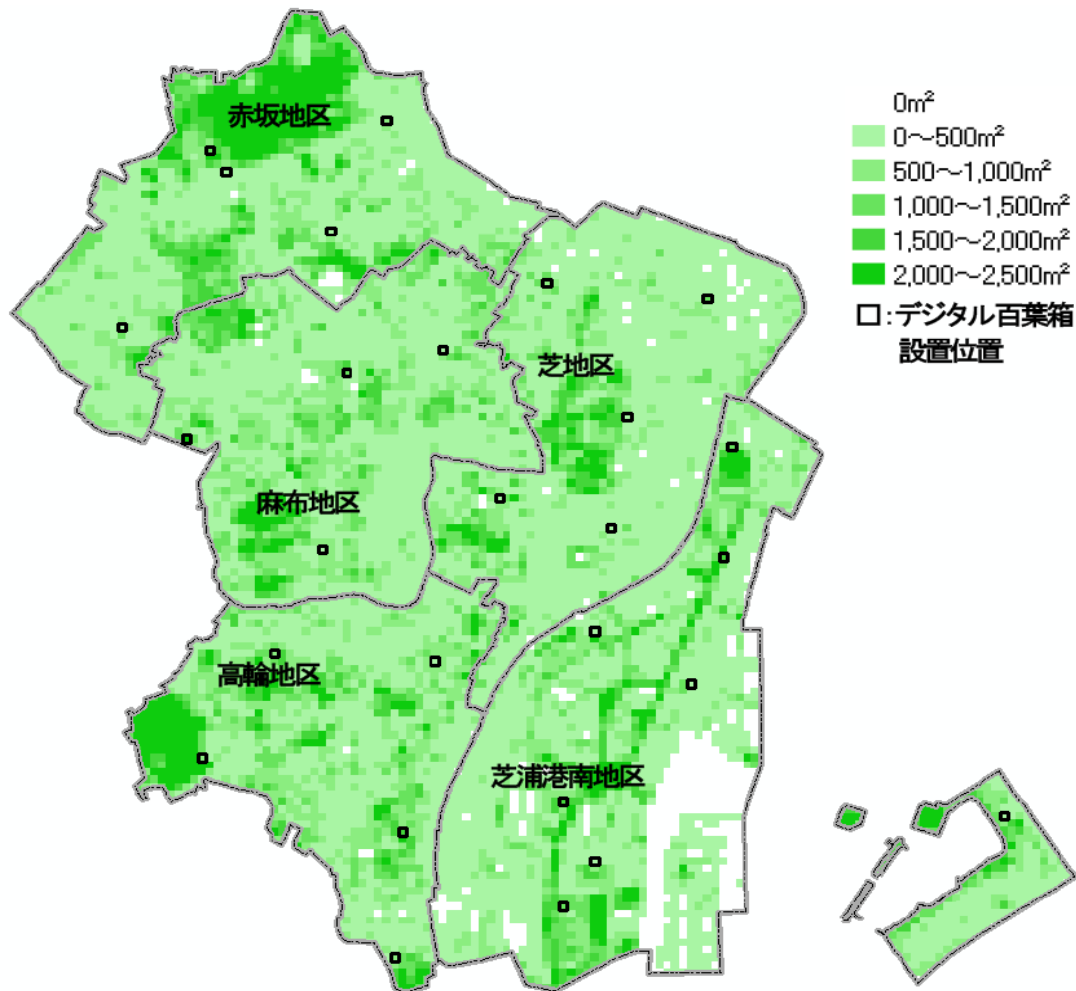


図 3-14 緑地の分布状況

港区の人工排熱の分布状況を図 3-15 に示す。凡例は、50m×50m (2,500 m<sup>2</sup>) あたりの人工排熱量を示している。業務系のビルが集積する新橋・六本木周辺から浜松町にかけての地域と、多くの交通量を担う首都高速道路や国道などの幹線道路及びその沿道地域が多い。

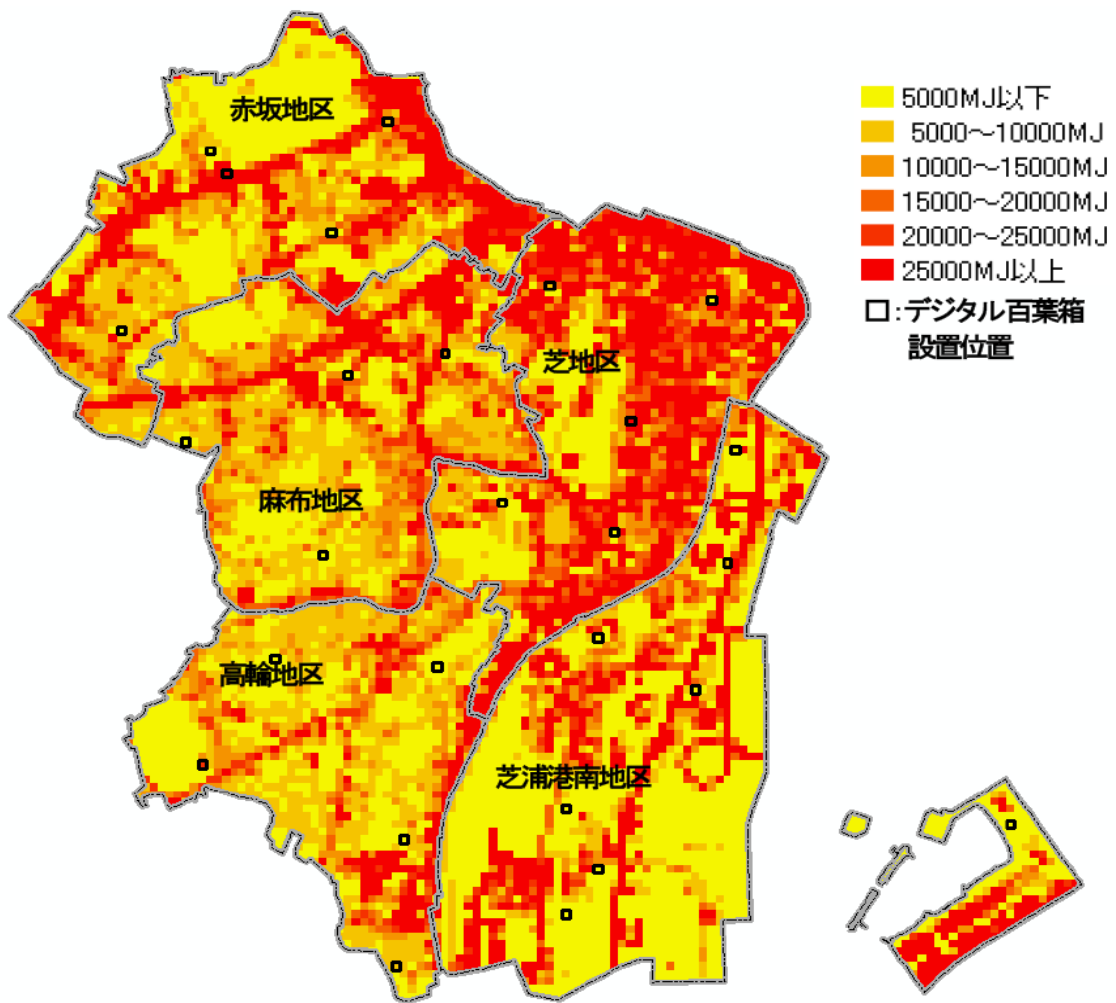


図 3-15 人工排熱量の分布状況

(2) 区域規模別・気温別の要因データの整理

解析の方法で示した手順に従い算出した区域規模別・気温別の要因データを表 3-17 に示す。ただし、表 3-17 は、港区内 27 箇所の観測地点のうち、海風や交通機関（自動車・鉄道）等の存在により、気温に対して常に影響を及ぼして異常値が記録される可能性が高い、海岸に近い観測地点（2 地点）、交通量が多い主要幹線道路（国道 246 号、国道 1 号）に隣接する観測地点（2 地点）、及び鉄道（JR）に近接する観測地点（1 地点）、計 5 地点を除外した 22 の観測地点について記載したものである。

なお、各要因データは、各観測地点を包括する区域の大きさ（50m, 150m, 250m）に応じてメッシュデータを集計した値である。

表 3-17 区域規模別の各観測地点の要因データ

8月最高気温 平均値 ℃	50m×50m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 m <sup>2</sup>	緑地面積 m <sup>2</sup>	人工排熱量 GJ/day	延床面積 m <sup>2</sup>	標高 m	
30.44	397	581	23.8	6,205	27	17
30.74	1,635	1,932	2.7	634	13	18
31.33	2	397	0.9	2,882	21	16
31.63	480	495	0.9	3,076	10	14
31.65	639	1,185	1.4	5,102	30	2
31.67	0	173	0.0	32	2	23
31.69	0	344	4.6	5,747	4	13
31.73	337	2,498	0.0	0	26	8
31.76	0	44	3.7	5,937	2	25
31.77	299	1,385	2.0	90	2	20
31.80	673	807	5.2	1,889	17	19
31.82	538	1,034	3.3	3,328	2	26
32.02	209	446	2.0	3,697	31	5
32.02	197	1,199	0.9	3,300	20	7
32.12	240	393	2.3	4,429	20	9
32.36	0	148	0.2	563	3	22
32.44	14	334	59.8	13,278	4	12
32.63	380	568	5.7	4,218	20	1
32.69	346	766	0.8	2,753	19	15
32.74	0	156	4.2	5,902	19	4
32.87	166	1,306	1.7	321	3	11
33.41	0	200	14.5	5,229	24	6
計	6,552	16,391	140.4	78,612.0	--	--

表 3-17 区域規模別の各観測地点の要因データ (つづき)

8月最高気温 平均値 ℃	150m×150m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 m <sup>2</sup>	緑地面積 m <sup>2</sup>	人工排熱量 GJ/day	延床面積 m <sup>2</sup>	標高 m	
30.44	10,152	14,009	54.5	16,780	28	17
30.74	10,705	12,365	35.8	12,319	13	18
31.33	4,325	7,309	14.9	15,614	21	16
31.63	5,596	7,268	55.5	27,131	10	14
31.65	4,936	13,199	44.0	25,294	30	2
31.67	900	4,183	133.8	33,607	2	23
31.69	211	1,995	174.0	61,315	4	13
31.73	4,608	8,705	28.5	17,863	26	8
31.76	405	4,982	77.5	50,675	2	25
31.77	2,425	8,847	44.1	3,788	2	20
31.80	3,951	6,276	52.4	22,837	17	19
31.82	3,020	11,312	17.4	11,489	2	26
32.02	2,087	4,792	92.1	34,277	31	5
32.02	2,352	7,013	98.8	35,883	21	7
32.12	3,207	5,237	40.1	24,618	21	9
32.36	1,264	7,069	80.9	27,410	3	22
32.44	4,634	7,087	293.3	68,344	4	12
32.63	951	2,487	190.6	56,438	19	1
32.69	6,859	10,057	24.5	17,733	20	15
32.74	538	2,758	99.2	39,974	19	4
32.87	318	2,958	220.6	40,785	3	11
33.41	1,390	4,281	298.1	35,568	25	6
計	74,834	154,189	2,170.8	679,742	--	--

表 3-17 区域規模別の各観測地点の要因データ (つづき)

8月最高気 温平均値 ℃	250m×250m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 ㎡	緑地面積 ㎡	人工排熱量 GJ/day	延床面積 ㎡	標高 m	
30.44	29,118	36,496	168.9	57,145	28	17
30.74	19,907	24,599	363.1	67,824	14	18
31.33	7,169	16,443	123.7	61,447	19	16
31.63	8,184	17,138	287.2	91,276	9	14
31.65	15,502	33,419	181.6	93,276	30	2
31.67	900	8,194	441.8	119,949	2	23
31.69	959	7,210	906.2	258,285	4	13
31.73	10,141	20,481	137.6	84,101	25	8
31.76	408	15,451	369.3	262,256	2	25
31.77	5,629	19,859	320.1	60,120	2	20
31.80	13,182	17,925	137.2	57,860	16	19
31.82	8,534	29,767	57.3	30,277	2	26
32.02	3,888	11,210	286.9	115,340	30	5
32.02	8,593	16,499	470.4	126,267	22	7
32.12	7,218	13,931	146.9	72,258	21	9
32.36	2,366	17,991	338.5	93,573	3	22
32.44	13,815	20,273	647.0	149,346	4	12
32.63	1,789	6,260	650.0	172,644	19	1
32.69	14,626	21,122	103.1	67,061	19	15
32.74	5,387	12,012	264.9	124,193	20	4
32.87	399	6,184	728.5	134,066	3	11
33.41	2,458	10,739	577.6	115,158	25	6
計	180,172	383,203	7,707.7	2,413,722	--	--

(3) 気温データ・各要因データの相関分析結果

気温データと各要因データの相関分析の結果を、表 3-18 に示す。8月の日最高気温平均値との相関が高い要因データは、150m 区域と 250m区域ともに樹林地面積が最も高く、次いで緑地面積となった。また、50m 区域では相関係数が概ね低い。一方、150m区域では、8月の日最高気温平均値と樹林地面積との相関が一番高く、人工排熱量との相関が緑地面積に次いで高い値を示した。また、標高を除き、日最高気温平均値と要因データとの相関係数が最も高い区域のは 150m区域である。

表 3-18 区域規模別の気温データ・各要因データの単相関分析結果

50m区域	最高気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最高気温	1					
樹林地面積	-0.492	1				
緑地面積	-0.281	0.609	1			
人工排熱量	0.072	-0.158	-0.223	1		
延床面積	0.142	-0.288	-0.473	0.804	1	
標高	-0.057	0.160	0.165	-0.084	0.082	1

150m区域	最高気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最高気温	1					
樹林地面積	-0.627	1				
緑地面積	-0.603	0.821	1			
人工排熱量	0.602	-0.429	-0.565	1		
延床面積	0.425	-0.514	-0.665	0.761	1	
標高	-0.051	0.349	0.239	-0.186	-0.217	1

250m区域	最高気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最高気温	1					
樹林地面積	-0.583	1				
緑地面積	-0.573	0.831	1			
人工排熱量	0.354	-0.464	-0.615	1		
延床面積	0.228	-0.529	-0.549	0.731	1	
標高	-0.047	0.414	0.236	-0.367	-0.290	1

(4) 日最高気温平均値を目的変数とした重回帰分析の結果

表 3-18 の結果を踏まえ、150m 区域を対象に、8月の日最高気温平均値を目的変数とし、樹林地面積、緑地面積、人工排熱量、延床面積、標高の全ての説明変数を用いて重回帰分析を行い、 $p$  値の高い変数を減らし説明変数の絞り込みを行った。

表 3-19 に示すように、説明変数の  $p$  値から樹林地面積と人工排熱量の組み合わせが最も妥当と判断した。

表 3-19 説明変数群別の重回帰分析結果

【説明変数：樹林地面積・緑地面積・人工排熱量・延床面積・標高】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0001 0.0001	0.084
緑地面積 (m <sup>2</sup> )	0.0000 0.0001	0.793
人工排熱量 (GJ/day)	0.0049 0.0019	0.023
延床面積 (m <sup>2</sup> )	0.0000 0.0000	0.240
標高 (m)	0.0130 0.0111	0.260
切片	32.24 0.56	—
重相関係数	0.778	
決定係数	0.605	
<i>p</i> 値	0.007	
観測数	22	

緑地面積の *p* 値が最も高い (>0.05)

【説明変数：樹林地面積・人工排熱量・延床面積・標高】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0001 0.0000	0.006
人工排熱量 (GJ/day)	0.0049 0.0019	0.018
延床面積 (m <sup>2</sup> )	0.0000 0.0000	0.234
標高 (m)	0.0134 0.0107	0.229
切片	32.13 0.35	—
重相関係数	0.777	
決定係数	0.603	
<i>p</i> 値	0.002	
観測数	22	

延床面積の *p* 値が最も高く、次いで標高の *p* 値が高い (>0.05)



表 3-19 説明変数群別の重回帰分析結果（つづき）

【説明変数：樹林地面積・人工排熱量・標高】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0001 0.0000	0.010
人工排熱量 (GJ/day)	0.0033 0.0014	0.026
標 高 (m)	0.0137 0.0109	0.224
切片	31.85 0.28	—
重相関係数	0.753	
決定係数	0.567	
<i>p</i> 値	0.001	
観測数	22	

標高の *p* 値が最も高い (>0.05)

【説明変数：樹林地面積・人工排熱量・延床面積】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0001 0.0000	0.010 0.010
人工排熱量 (GJ/day)	0.0049 0.0019	0.019 0.019
延床面積 (m <sup>2</sup> )	0.0000 0.0000	0.229
切片	32.28 0.34	—
重相関係数	0.753	
決定係数	0.567	
<i>p</i> 値	0.001	
観測数	22	

延床面積の *p* 値が最も高い (>0.05)

表 3-19 説明変数群別の重回帰分析結果（つづき）

【説明変数：樹林地面積・人工排熱量】

	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0001 0.0000	0.018
人工排熱量 (GJ/day)	0.0033 0.0014	0.030
切片	32.00 0.25	—
重相関係数	0.728	
決定係数	0.529	
<i>p</i> 値	0.001	
観測数	22	

上記の結果を踏まえ、樹林地面積と人工排熱量を説明変数に用いて、区域規模別の重回帰分析を行った。表 3-20 に示すように *p* 値と決定係数、即ちモデルの妥当性と説明力、及び説明変数の *p* 値が共に有意なのは B:150m 区域のみであった。

樹林地の冷却効果については、永谷らなどの研究<sup>10),11)</sup>によると、大規模緑地の場合周辺およそ 200 m までに及び、冷気の到達範囲として確認されている。この冷気は、無風条件の場合、重力流的に流出するものであり、ほとんど上下動せずゆっくり水平移動していく<sup>12)</sup>。一方、人工排熱の暖気については、排出位置が地表面とは限らないこと、気体の拡散係数は温度に依存し高温ほど大きいこと、人工排熱は周辺の空気塊より比重が軽く浮力により上昇する<sup>13)</sup>ことから、水平方向への影響範囲が冷気よりも狭くなるものと考えられる。

表 3-20 区域規模別の重回帰分析結果

説明変数	データ集計範囲					
	A : 50m区域		B : 150m区域		C : 250m区域	
	係数	<i>p</i> 値	係数	<i>p</i> 値	係数	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.0009	0.025	-0.0001	0.018	-0.0001	0.019
人工排熱量 (GJ/day)	-0.0003	0.979	0.0033	0.030	0.0003	0.618
切片	32.24	—	32.00	—	32.27	—
重相関係数	0.492		0.728		0.591	
決定係数	0.242		0.529		0.349	
<i>p</i> 値	0.071		0.001		0.017	
観測数	22		22		22	

この結果から式（１）に示す重回帰モデルが求められた。

$$Y = 32.0 - 0.0001 (X_1) + 0.0033 (X_2) \dots \text{式 (1)}$$

ここで、 $Y$ ：8月の日最高気温平均値（℃）、 $X_1$ ：樹林地面積（㎡）、 $X_2$ ：人工排熱量（GJ/day）である。ただし、本章で得た重回帰モデルは、実際にデータを取得した8月の日最高気温平均値30.4～33.4℃において有効であることに留意する必要がある。

また、日最高気温平均値に対する説明変数の相対的な寄与の程度を標準回帰係数により求めると、その値の高いのは樹林地面積(-0.452)で、次いで人工排熱量(0.408)の順となる。したがって、日最高気温平均値を下げるためには、樹林地面積の拡大が都市の快適性向上に重要なポイントであり、さらに人工排熱量の抑制が重要であることが示唆された。

#### (5) 緑地が有する冷却効果の評価

次に、式（１）から樹林地面積と人工排熱量が気温形成に寄与する割合を導き出すため、 $Y$ の値が切片と等しい場合を考えて、式（２）を得る。ただし、 $X_1$ ：樹林地面積（㎡）、 $X_2$ ：人工排熱量（GJ/day）である。

$$0.0001 (X_1) = 0.0033 (X_2) \dots \text{式 (2)}$$

式（２）より1区域（150m×150m=22,500㎡）あたりの樹林地が有する冷却効果は、1日当たりの人工排熱量681.8GJ/dayを相殺するに等しいと言える。このことについて吟味する。今、この681.8GJ/dayが港区の典型的な建物用途・建物規模<sup>[注4]</sup>である事業所建物からの人工排熱量に置き換えると何㎡の延床面積の事業所建物に相当するかを考察してみる。「人工排熱調査報告書」に記載されている「事業所建物の排熱原単位（8月の推計値）」のうち、2,000㎡～5,000㎡未満のランクに該当する事業所建物から1日あたりに排出される人工排熱の原単位が、顕熱：2,925.66kJ/㎡/day、潜熱：270.87kJ/㎡/day、下水排熱：23.76kJ/㎡/day、計：3,220.29kJ/㎡/dayとして示されているため、これらの原単位を用いることにより、上記で想定した複数の事業所建物の合計延床面積が逆算される形で導出され、211,726㎡という値が得られる。即ち、681.8GJ/dayの熱量は、延床面積が3,000㎡程度の事業所建物<sup>[注4]</sup>の約70棟分から排出される1日当たり人工排熱量に相当すると言することができる。ただし、この人工排熱量681.8GJ/dayは、上述の報告書に詳述されているように、照明器具、OA機器、空調機器、換気装置、厨房機器、給湯施設などの各種熱源が稼動している状況に対して、主に空調排熱、換気排熱として室外機等から屋外に排出される熱量と、

下水から排出される熱量の総量を示している。

従って式(2)より、22,500 m<sup>2</sup>の樹林地が存在することは、3,000 m<sup>2</sup>程度の延床面積を有する約 70 棟の事業所に具備された諸々の設備機器等から排出される 681.8GJ/day の熱量によって、気温が 2.25℃だけ上昇する増分を、抑制・相殺する効果があると言える。

ただし、本章で得た 150m×150m 区域や重回帰モデルは、実際にデータを取得した東京都港区における 2005 年～2006 年の 50m メッシュデータ（樹林地面積・人工排熱量）、および 2007 年 8 月の日最高気温平均値 30.4～33.4℃において有効であることに留意する必要がある。

### 3-3-2 夏季の夜間における冷却効果

#### (1) 日最低気温平均値の分布特性

図 3-16 より、8月の日最低気温平均値が 23°C以上の比較的高い気温を示している地区は、麻布地区中部から赤坂地区の南部にかけての六本木を中心とした高層ビルが比較的多く林立する地域、芝地区の北部の新橋を中心とするビジネス街、芝浦港南地区の北部に位置する芝浦埠頭周辺の工場・倉庫群の地域となっている。

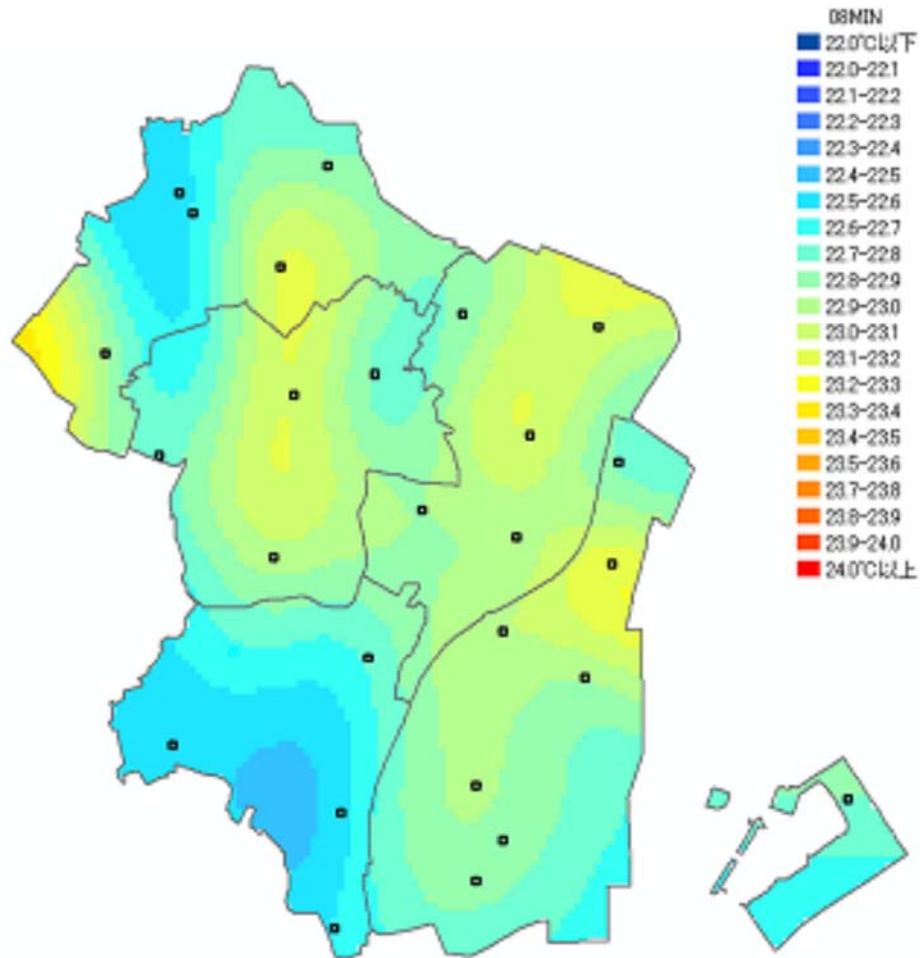


図 3-16 8月の日最低気温平均値

(2) 区域規模別・気温別の各要因データの整理

日最低気温平均値と区域別・気温別の要因データを表 3-21 に示す。なお、27 箇所の観測地点のうち、海風や自動車・鉄道等の影響を常に受けて異常値が記録される可能性が高い 6 地点を除外した 21 の観測地点を記載している。

表 3-21 区域規模別の各観測地点の要因データ

8月最低気温平均値 ℃	50m×50m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 ㎡	緑地面積 ㎡	人工排熱量 GJ/day	延床面積 ㎡	標高 m	
22.53	397	581	23.8	6,205	27	17
22.57	1,635	1,932	2.7	634	13	18
22.72	2	397	0.9	2,882	21	16
22.90	480	495	0.9	3,076	10	14
22.56	639	1,185	1.4	5,102	30	2
22.91	0	173	0.0	32	2	23
22.95	0	344	4.6	5,747	4	13
22.77	337	2,498	0.0	0	26	8
22.87	0	44	3.7	5,937	2	25
22.79	299	1,385	2.0	90	2	20
22.60	673	807	5.2	1,889	17	19
22.84	538	1,034	3.3	3,328	2	26
22.92	209	446	2.0	3,697	31	5
23.09	197	1,199	0.9	3,300	20	7
22.96	240	393	2.3	4,429	20	9
22.99	0	148	0.2	563	3	22
23.09	14	334	59.8	13,278	4	12
22.83	380	568	5.7	4,218	20	1
22.68	346	766	0.8	2,753	19	15
23.11	0	156	4.2	5,902	19	4
23.08	166	1,306	1.7	321	3	11
計	6,552	16,391	140.4	78,612	--	--

表 3-21 区域規模別の各観測地点の要因データ（つづき）

8月最低気 温平均値 ℃	150m×150m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 ㎡	緑地面積 ㎡	人工排熱量 GJ/day	延床面積 ㎡	標高 m	
22.53	10,152	14,009	54.5	16,780	28	17
22.57	10,705	12,365	35.8	12,319	13	18
22.72	4,325	7,309	14.9	15,614	21	16
22.90	5,596	7,268	55.5	27,131	10	14
22.56	4,936	13,199	44.0	25,294	30	2
22.91	900	4,183	133.8	33,607	2	23
22.95	211	1,995	174.0	61,315	4	13
22.77	4,608	8,705	28.5	17,863	26	8
22.87	405	4,982	77.5	50,675	2	25
22.79	2,425	8,847	44.1	3,788	2	20
22.60	3,951	6,276	52.4	22,837	17	19
22.84	3,020	11,312	17.4	11,489	2	26
22.92	2,087	4,792	92.1	34,277	31	5
23.09	2,352	7,013	98.8	35,883	21	7
22.96	3,207	5,237	40.1	24,618	21	9
22.99	1,264	7,069	80.9	27,410	3	22
23.09	4,634	7,087	293.3	68,344	4	12
22.83	951	2,487	190.6	56,438	19	1
22.68	6,859	10,057	24.5	17,733	20	15
23.11	538	2,758	99.2	39,974	19	4
23.08	318	2,958	220.6	40,785	3	11
計	74,834	154,189	2,170.8	679,742	--	--

表 3-21 区域規模別の各観測地点の要因データ（つづき）

8月最低気 温平均値 ℃	250m×250m区域の各要因データ					観測地点 No.
	樹林地面積 m <sup>2</sup>	緑地面積 m <sup>2</sup>	人工排熱量 GJ/day	延床面積 m <sup>2</sup>	標 高 m	
22.53	29,118	36,496	168.9	57,145	28	17
22.57	19,907	24,599	363.1	67,824	14	18
22.72	7,169	16,443	123.7	61,447	19	16
22.90	8,184	17,138	287.2	91,276	9	14
22.56	15,502	33,419	181.6	93,276	30	2
22.91	900	8,194	441.8	119,949	2	23
22.95	959	7,210	906.2	258,285	4	13
22.77	10,141	20,481	137.6	84,101	25	8
22.87	408	15,451	369.3	262,256	2	25
22.79	5,629	19,859	320.1	60,120	2	20
22.60	13,182	17,925	137.2	57,860	16	19
22.84	8,534	29,767	57.3	30,277	2	26
22.92	3,888	11,210	286.9	115,340	30	5
23.09	8,593	16,499	470.4	126,267	22	7
22.96	7,218	13,931	146.9	72,258	21	9
22.99	2,366	17,991	338.5	93,573	3	22
23.09	13,815	20,273	647.0	149,346	4	12
22.83	1,789	6,260	650.0	172,644	19	1
22.68	14,626	21,122	103.1	67,061	19	15
23.11	5,387	12,012	264.9	124,193	20	4
23.08	399	6,184	728.5	134,066	3	11
計	180,172	383,203	7,707.7	2,413,722	--	--



(3) 気温データ・各要因データの相関分析結果

表 3-22 に日最低気温平均値と各要因データとの相関分析した結果を示す。日最低気温平均値の形成に正・負の両側面から影響を及ぼす主たる要因（相関係数が高い）データは区域規模により異なるが、概ね樹林地面積・緑地面積・標高が負に、人工排熱量と延床面積が正に作用している。区域規模別に見ると、50m区域・150m区域・250m区域の全区域で、日最低気温平均値に対する気温低下側の要因として、最も相関が高いのは樹林地面積であり、一方で、日最低気温平均値に対する気温上昇側の要因として、最も相関が高いのは、50m区域では延床面積が、150m区域・250m区域では人工排熱量となっている。

また、日最低気温平均値と各要因データとの相関係数が最も高い区域規模は 150m 区域である。表 3-18 で示した日最高気温平均値と各要因データとの相関分析の場合と同様の結果となった。蛭田・石川<sup>14)</sup>は、東京 23 区を対象に月別・時間別平均気温と自然的要素の面積との相関分析を行い、最も相関が強くなる距離範囲は気温測定局から半径 100mであったと報告しており、分析方法は異なるものの上記とほぼ同様の結果となっている。

表 3-22 日最低気温平均値と各要因データの単相関分析結果

50m区域	最低気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最低気温	1					
樹林地面積	-0.639	1				
緑地面積	-0.352	0.595	1			
人工排熱量	0.140	-0.136	-0.202	1		
延床面積	0.212	-0.272	-0.462	0.801	1	
標高	-0.408	0.205	0.214	-0.116	0.058	1

150m区域	最低気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最低気温	1.0					
樹林地面積	-0.704	1				
緑地面積	-0.705	0.817	1			
人工排熱量	0.596	-0.415	-0.565	1		
延床面積	0.583	-0.511	-0.666	0.857	1	
標高	-0.411	0.398	0.289	-0.365	-0.237	1

250m区域	最低気温	樹林地面積	緑地面積	人工排熱量	延床面積	標高
最低気温	1					
樹林地面積	-0.664	1				
緑地面積	-0.640	0.825	1			
人工排熱量	0.518	-0.443	-0.600	1		
延床面積	0.435	-0.534	-0.555	0.745	1	
標高	-0.386	0.474	0.290	-0.440	-0.303	1

(4) 日最低気温平均値を目的変数とした重回帰分析の結果

表 3-22 の結果を踏まえ、150m 区域を対象に、8 月の日最低気温平均値を目的変数とし、樹林地面積、緑地面積、人工排熱量、延床面積、標高の全ての説明変数を用いて重回帰分析を行い、 $p$  値の高い変数を減らし説明変数の絞り込みを行った。

表 3-23 に示すように、説明変数の  $p$  値から樹林地面積と人工排熱量の組み合わせが最も妥当と判断した。

表 3-23 説明変数群別の重回帰分析結果

【説明変数：樹林地面積・緑地面積・人工排熱量・延床面積・標高】

説明変数	上段：係数	$p$ 値
	下段：標準誤差	
樹林地面積 ( $m^2$ )	-0.00002 0.00002	0.211
緑地面積 ( $m^2$ )	-0.00001 0.00002	0.494
人工排熱量 (GJ/day)	0.00086 0.00082	0.309
延床面積 ( $m^2$ )	0.00000 0.00000	0.819
標 高 (m)	-0.00152 0.00332	0.653
切片	22.98 0.15	—
重相関係数	0.789	
決定係数	0.623	
$p$ 値	0.007	
観測数	21	

え s 延床面積の  $p$  値が最も高い ( $>0.05$ )

表 3-23 説明変数群別の重回帰分析結果（つづき）

【説明変数（樹林地面積・緑地面積・人工排熱量・標高）】

説明変数	上段：係数	<i>p</i> 値
	下段：標準誤差	
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00002 0.00002	0.202
緑地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00001 0.00002	0.503
人工排熱量 (GJ/day)	0.00071 0.00048	0.162
標 高 (m)	-0.00171 0.00312	0.592
切片	22.96 0.12	—
重相関係数	0.789	
決定係数	0.622	
<i>p</i> 値	0.002	
観測数	21	

標高の *p* 値が最も高く、次いで緑地面積の *p* 値が高い (>0.05)

【説明変数（樹林地面積・緑地面積・人工排熱量）】

説明変数	上段：係数	<i>p</i> 値
	下段：標準誤差	
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00003 0.00002	0.12
緑地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00001 0.00001	0.55
人工排熱量 (GJ/day)	0.00079 0.00045	0.10
切片	22.93 0.10	—
重相関係数	0.784	
決定係数	0.615	
<i>p</i> 値	0.001	
観測数	21	

緑地面積の *p* 値が最も高い (>0.05)

表 3-23 説明変数群別の重回帰分析結果（つづき）

【説明変数（樹林地面積・緑地面積・標高）】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00003 0.00001	0.007
人工排熱量 (GJ/day)	0.00086 0.00042	0.057
標 高 (m)	-0.00129 0.00302	0.673
切片	22.90 0.08	—
重相関係数	0.782	
決定係数	0.611	
<i>p</i> 値	0.001	
観測数	21	

標高の *p* 値が最も高い (>0.05)

【説明変数（樹林地面積・人工排熱量）】

説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	<i>p</i> 値
樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	-0.00003 0.00001	0.003
人工排熱量 (GJ/day)	0.00090 0.00040	0.036
切片	22.88 0.06	—
重相関係数	0.779	
決定係数	0.607	
<i>p</i> 値	0.000	
観測数	21	

上記の結果を踏まえ、樹林地面積と人工排熱量を説明変数に用いて、区域規模別の重回帰分析を行った。表 3-24 に示すように  $p$  値と決定係数、即ちモデルの妥当性と説明力、及び説明変数の  $p$  値が共に有意なのは B:150m 区域のみであった。

表 3-24 区域規模別の重回帰分析結果

説明変数	データ集計範囲					
	A : 50m区域		B : 150m区域		C : 250m区域	
	係数	$p$ 値	係数	$p$ 値	係数	$p$ 値
樹林地面積 ( $\text{m}^2$ )	-0.00031	0.003	-0.00003	0.003	-0.00001	0.009
人工排熱量 (GJ/day)	0.00074	0.771	0.00090	0.036	0.00022	0.150
切片	22.94	—	22.88	—	22.88	—
重相関係数	0.641		0.779		0.709	
決定係数	0.411		0.607		0.503	
$p$ 値	0.009		0.000		0.002	
観測数	21		21		21	

以上を踏まえ、150m 区域における重回帰モデルを式(3)に示す。

$$Y = 22.9 - 0.00003 (X_1) + 0.00090 (X_2) \cdots \text{式 (3)}$$

ここで、 $Y$  : 8月の日最低気温平均値 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $X_1$  : 樹林地面積 ( $\text{m}^2$ )、 $X_2$  : 人工排熱量 (GJ/day) である。

また、説明変数の日最低気温平均値に対する相対的な寄与の程度を標準回帰係数により求めると、その値の高いのは樹林地面積(-0.551)で、次いで人工排熱量(0.367)の順となる。したがって、日最低気温平均値を下げるためには、樹林地面積の拡大が都市の快適性向上に重要なポイントであり、さらに人工排熱量の抑制が重要であることが示唆された。

また、表 3-25 に示すように、樹林地の日最低気温平均値に対する標準回帰係数が、日最高気温平均値に対す係数よりも高いことから、樹林地面積の拡大が日最低気温平均値を下げるのに、より有効であることが示唆された。

表 3-25 樹林地面積と人工排熱量の寄与度

	標準回帰係数	
	樹林地面積	人工排熱量
日最高気温平均値	-0.452	0.408
日最低気温平均値	-0.551	0.367

(5) 緑地が有する冷却効果の評価

次に、式(3)から樹林地面積と人工排熱量が気温形成に寄与する割合を導き出すため、Yの値が切片と等しい場合を考えて、式(4)を得る。ただし、 $X_1$ ：樹林地面積 ( $m^2$ )、 $X_2$ ：人工排熱量 (GJ/day) である。

$$0.00003 (X_1) = 0.00090 (X_2) \dots \dots \dots \text{式(4)}$$

式(4)より1区域 ( $150m \times 150m = 22,500 m^2$ ) あたりの樹林地が有する冷却効果は、1日当たりの人工排熱量 837GJ/day を相殺するに等しいと言える。3-1-1(5)に準じて検討を行うと、港区の樹林地 22,500  $m^2$  が有する冷却効果は、同区の平均的な延床面積を有する事業所建物の約 90 棟分から排出される1日当たりの人工排熱量に相当する。

### 3-4 まとめ

一連の調査・分析により得られた結果を次にまとめる。

- 1) 日最高気温平均値と各要因データと単相関分析を行った結果、50m メッシュ、150m メッシュ、250m メッシュの各区域ともに樹林地面積と緑地面積が負の相関、人工排熱と延床面積が正の相関を示した。標高を除き、日最高気温平均値との相関係数が最も高い区域規模は 150m 区域であった。
- 2) 日最高気温平均値を目的変数、樹林地面積と人工排熱量等を説明変数とする重回帰分析の結果、樹林地面積が気温降下に、人工排熱量の気温上昇に最も寄与することの分析結果が得られた。分析範囲については、重回帰式の  $p$  値、決定係数及び説明変数の  $p$  値から、150m 区域が最も有意であった。これには、人工排熱の比重が周辺大気より軽く浮力により上昇することにより、水平方向への影響が冷気より狭くなることに起因しているものと考えられる。
- 3) 上記より推計した港区の樹林地 22,500  $\text{m}^2$  が有する冷却効果は、681.8GJ/day の人工排熱量を相殺するに値し、これは、同区の平均的な規模・用途である 3,000  $\text{m}^2$  程度の延床面積を有する事業所建物の約 70 棟分から一日に排出される総熱量を相殺・抑制するに等しい。
- 4) 日最低気温平均値を用いて検討した場合も、1)、2)、3) とほぼ同様の結果となった。
- 5) 重回帰分析における樹林地面積の標準回帰係数を検討した結果、日最高気温平均値に対す係数よりも、日最低気温平均値に対する係数の方が大きいことから、樹林地による冷却効果は夜間が特に大きいことが示唆された。

## 【補注】

- [1] 2007年8月16日、日本列島は、勢力の強い太平洋高気圧などの影響で、中部や関東地方を中心に猛烈な暑さとなり、岐阜県多治見市と埼玉県熊谷市で国内観測史上最高の40.9℃に達し、山形市で1933年に観測した40.8℃を74年ぶりに更新した。このほか、各地で40℃以上を記録するなど最高気温の記録が塗り替えられ、歴史的な猛暑日となった。熱中症が原因とみられる死者は全国で12人に上った。
- [2] 港区内27箇所に設置されているデジタル百葉箱による2007年8月の観測データより日最高気温・日最低気温の平均値を求め、この27箇所のデータをもとに、クリギング(kriging)法によるポイント間の補間を行い、メッシュ単位(50m×50m)での気温分布図を作成した。クリギング法とは、観測された空間属性に対する未知の空間属性の推定値を求めるのに、その周辺の観測値の重みつき移動平均を利用する方法で、地球統計学の分野でよく用いられている手法である。
- [3] 国土交通省・環境省(2004)平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書では、人工排熱を供給段階、消費段階、排出段階の3つの段階に分けて整理している。この3つの捉え方は、目的によって使い分けることが考えられ、例えば、都市に持ち込まれるエネルギーを総量としてマクロに捉えるのであれば供給段階の把握が適し、省エネルギー政策など個々の需要家のエネルギー消費の状態も含めて捉えるためには消費段階の把握が必要になる。また、ヒートアイランド対策を検討する場合は、都市の気温等に直接影響を与える排出段階での把握が有効であり、本章では排出段階の人工排熱に着目している。
- [4] 平成18年度における港区都市計画基礎調査データによると、港区における合計建物延床面積の7割を事業所建物の延床面積が占め、これらの事業所における建物延床面積の平均値を求めると約3,000㎡となる。これを踏まえ本章では、約3,000㎡の事業所建物を港区における典型的な建物とした。



【引用文献】

- 1) 気象庁（2012）ヒートアイランド監視報告（平成 23 年度）  
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2012/index.html>, 2015.11.3  
閲覧
- 2) IPCC（2013）Climate Change 2013: The Physical Science Basis  
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> 2015.11.3 閲覧
- 3) IPCC（2012）IPCC, 2012 Special Report on Managing the Risks of Extreme  
Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Cambridge  
University Press
- 4) 港区（2007）港区みどりの実態調査〈第 7 次〉報告書, 222pp, p143-161
- 5) 東京都ヒートアイランド対策推進会議（2003）ヒートアイランド対策取り組み方  
針, 1-43
- 6) 森山正和（2004）ヒートアイランドの対策と技術, 学芸出版社, 206pp, p25-86
- 7) 尾島俊雄（2002）ヒートアイランド, 東洋経済新報社, 157pp, p33-84
- 8) 気象庁（2013）気候変動監視レポート 2013  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/>, 2015.11.15 閲覧
- 9) 国土交通省・環境省（2004）平成 15 年度都市における人工排熱抑制によるヒート  
アイランド対策調査報告書  
<http://www.env.go.jp/air/report/h16-05/index.html>, 2015.7.29 閲覧
- 10) 浜田修子・田中隆文・大田岳史（2011）, ASTER を用いた都市緑地における周  
辺市街地への冷却効果に関する解析, 日本森林学会大会発表データベース 122,  
670-670
- 11) 永谷結・梅木清・本條毅・菅原広史・成田健一・三上岳彦（2008）新宿御苑にお  
ける冷気移動の解析, 農業気象, 64, 281-288
- 12) 成田健一（2010）緑地からの「冷気のにじみ出し」現象, 地球温暖化, 7, 26-27
- 13) 神成陽容・三上岳彦・泉岳樹（2004）人工排熱による首都圏大気の気温上昇, 地  
学雑誌, 113(6), 802-815
- 14) 蛭田有希・石川幹子（2012）緑地の持つ気温低減効果の評価に向けた緑地指標に  
関する研究, 都市計画論文集, 47, 259-264

## 第4章 都市の夏季夜間における樹林地の冷却効果に与える風速と雲量の影響

### 4-1 背景と目的

近年、大都市を中心として顕著となっているヒートアイランド現象は、地球温暖化の影響と相まって、気温の上昇による生活上の不快感を増大させるのみならず、夏季を中心として熱中症等の健康への被害を生じさせている。気象庁のヒートアイランド監視報告（平成25年度）<sup>1)</sup>によると、各都市では、都市化による気温の長期的な上昇傾向がみられ、特に日最低気温で顕著である、気温の長期的な上昇は、日最高気温が冬季、日最低気温が秋季に最大となる都市が多い、各都市では、冬日の減少、熱帯夜や猛暑日、真夏日の増加が顕著に現れている。これに対して、都市緑化はヒートアイランド対策としてその有効性が期待されている。

樹林地による冷却効果の周辺大気への影響については、神田ほかの研究など<sup>2),3),4),5),6)</sup>により樹林地の規模（23.5 ha～170 ha）に比して微弱であり、道路や地形等の影響もあり数10 m～200 m程度であることが分かっている。また、入江<sup>7)</sup>はランドサットデータによる土地利用データ、アメダスデータによる気温データを用いた解析により、夜間から早朝にかけての最低気温時は、緑地の効果が最も顕著に現れる時間帯であることを示している。したがって、都市緑化は、都市全体というよりはより小さいスケールにおいて、昼間よりは夜間のヒートアイランド対策に有効であると考えられる。

夜間の温度降下量は、主に放射冷却に起因するものであり、一般に雲量や地上付近の風速といった気象要素と、観測点周辺の比較的狭い範囲の地形が冷気を蓄積しやすいかどうかという地形要素等に影響されていることが知られている<sup>8),9),10)</sup>。したがって、緑地の冷却効果も風速などの気象条件に影響されると考えられる。一方で都市緑化による緩和が期待されるヒートアイランド現象自体も気象条件に左右される。例えば、夜間のヒートアイランド強度については、風速2.0 m/s前後で最も強くなる傾向があるとの報告がある<sup>11),12)</sup>。

したがって、緑化によるヒートアイランド現象の緩和効果を検討する際には、そもそも都市の特に緑地による冷却が大きくなるとされる夜間の温度降下量が、気象条件の影響をどのように受けているかを、まず把握する必要がある。その上で、緑地の冷却効果の大きさやその気象条件への依存性を議論する必要がある。既往研究ではそのような視点は不足しており、緑地のみの気温あるいは緑地と市街地との気温差のみに着目した研究が多かった<sup>6),13),14),15),16)</sup>。

本研究では、都市の樹林地が有する夏季夜間の冷却効果に対する風速と雲量の影響について検討することを目的とする。議論の進め方として、まず樹林地の有無にかかわらず調査地域全体での温度降下量について検討する。続いて調査地域から樹林地面積の大きい区域と小さい区域を抽出して、温度降下量の違いや気象条件への依存性を検討する。さらに、温度降下量に対する樹林地面積、風速、雲量の影響について重回帰分析により検討する。

#### 4-2 調査方法の概要と使用データ

調査対象地域は、第3章と同じ東京都港区である。地形は図4-1に示すように、大きくは東側に広がる低地と西側の台地に分けられる<sup>17)</sup>。調査対象期間は2005年8月、2006年8月、2007年8月の計3か月とした。まず、2005年8月を対象に風向風速の概況を把握するとともに、風向出現頻度と天候を考慮し調査対象日を選定した。さらに、人工排熱等の影響が少なく、雲量データが取得できる午前3時を含む午前2時から午前4時の時間帯を対象に、温度低下量と風速・雲量との関係等を検討した。その結果を踏まえ、2005年8月、2006年8月、2007年8月の計3か月のデータを用いさらに検討を加えた。

風向風速については、表4-1に示す気象庁の東京アメダス局<sup>18)</sup>(以下では「大手町」と記す)、東京都の大気環境測定局<sup>19)</sup>である東京タワー(以下では「芝」と記す)、「高輪」、「台場」、港区の自動車排出ガス測定局<sup>20)</sup>である「一の橋」、「麻布」、「港南」のデータを用いた。雲量については、全天を10として雲の占める面積の割合を0~10の数値で示したものであり、大手町のデータを用いた。雲量データの0+と10-については、0.5と9.5とした。なお、気象庁では1以下を快晴、2以上8以下を晴れ、9以上を曇りとしている。

気温については、図4-2に示す港区内における学校・公園・その他公共施設など27ヶ所の地上1.5mに設置した百葉箱内にデータロガー(自動記録装置)付温湿度計を設置して10分間隔で観測したものである<sup>21),22),23)</sup>。温湿度計から収集した実測データには、個々の観測機器に固有の誤差が含まれる可能性があるため、これを補正する必要がある。

このため、下記の手順で誤差補正を実施した。

- ① 全てのロガー及び標準温度計を恒温槽<sup>[注1]</sup>(気槽式チャンバー)に入れる。
- ② 恒温槽の温度設定を適宜決めて観測する。
- ③ 標準温度計の示度と記録データにより回帰式をロガー毎に求める。
- ④ 通年のデータに回帰式を当てはめ値を求める。

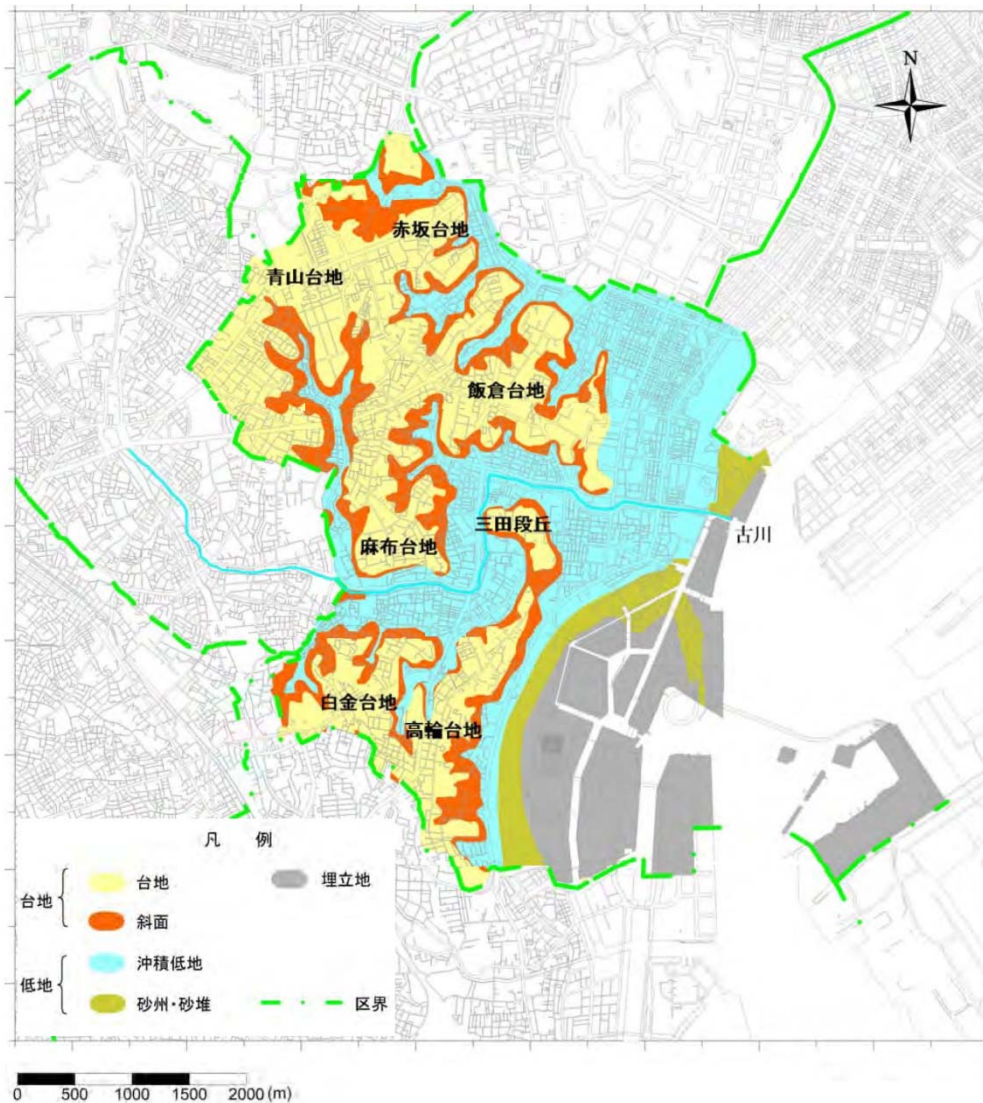


図 4-1 港区の地形<sup>17)</sup>

表 4-1 風向風速の観測点

名称	住所	標高 (m)	風向風速計の高さ (m)
大手町	千代田区北の丸公園	20	35.3
一の橋	港区東麻布	5.2	3
港南	港区港南	3.6	3
麻布	港区西麻布	15.4	5
高輪	港区高輪	27.5	5.3
台場	港区台場	7.5	10
芝	港区芝公園	20.5	25

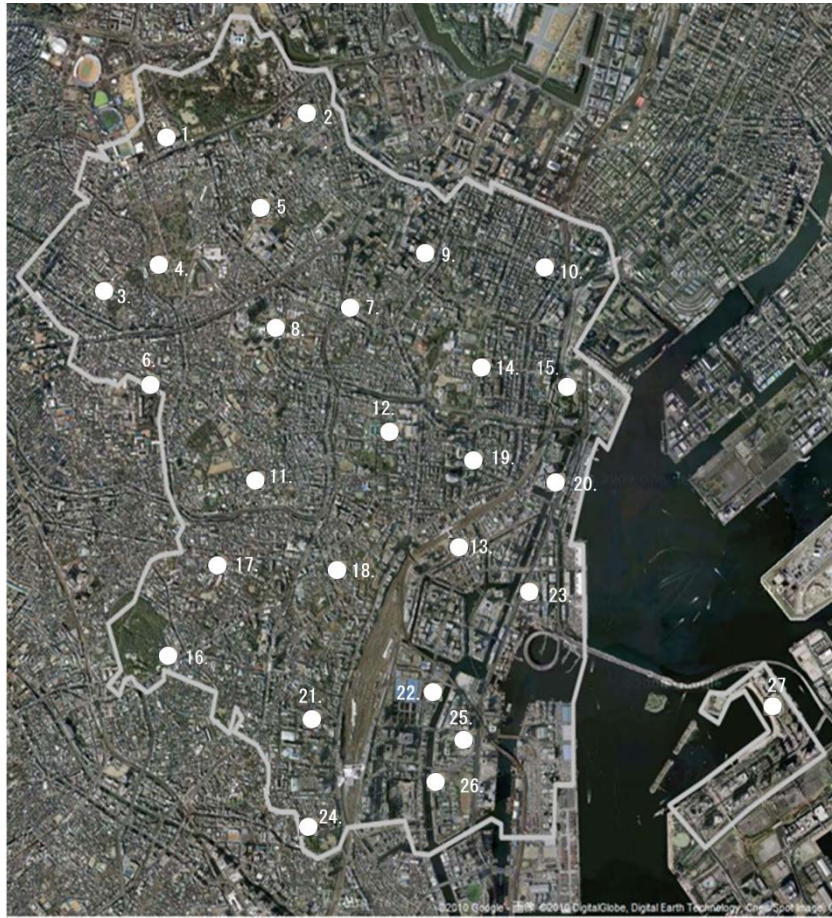


図 4-2 気温観測点

樹林地面積については、「第 7 次港区みどりの実態調査（平成 18 年度）」<sup>17)</sup>の緑被判別 GIS データを用い、第 3 章の結果を踏まえ各気温観測点をほぼ中心とした 150m × 150m 区域を対象に算出し、その値及び樹林地面積率を表 4-2 に示す。

表 4-2 気温観測点の樹林地面積・樹林地面積率

No.	樹林地面積 (㎡)	樹林地面積率 (%)
1	951	4.2
2	4,936	21.9
3	1,019	4.5
4	538	2.4
5	2,087	9.3
6	1,390	6.2
7	2,352	10.5
8	4,608	20.5
9	3,207	14.3
10	4,512	20.1
11	318	1.4
12	4,634	20.6
13	211	0.9
14	5,596	24.9
15	6,859	30.5
16	4,325	19.2
17	10,152	45.1
18	10,705	47.6
19	3,951	17.6
20	2,425	10.8
21	1,059	4.7
22	1,264	5.6
23	900	4.0
24	2,335	10.4
25	405	1.8
26	3,020	13.4
27	1,359	6.0
Mean	3,153	14.0

注) 樹林地面積は 150m×150m メッシュ内の値

### 4-3 夏季の風の出現状況

#### 4-3-1 港区周辺の風向

港区周辺の夏季の風系概要を知るため、2005年8月の時刻別風向出現率を調べた。2005年夏季の関東地方における気温は、7月は平年並みであったが、8月は晴れる日が多く、気温も高めとなった<sup>24)</sup>。梅雨明けが7月18日頃であったことから、太平洋高気圧に覆われる8月を対象とした。

図4-3は、大手町の午前3時における風向出現率を示したものである。なお、風速0.3 m/s未満の場合は静穏（Calm）とした。出現率が最も高い風向（卓越風）は南西（27%）で、南南西（11%）、西南西（3%）と隣接する風向を合計すると40%以上に達する。次に出現率が高いのは北（11%）、北東（11%）、北北西（8%）であるが、午前3時の天気は雨の場合が多い。

この結果を踏まえ、土田・吉門<sup>25)</sup>の方法を参考に、南西・南南西を中心に隣接する南と西南西を加えた4方位をSW系統として、順次NE系統（北、北北東、北東、東北東）、SE系統（東、東南東、南東、南南東）、NW系統（西、西北西、北西、北北西）として、16方位を4方位に統合し以降の検討を進める。

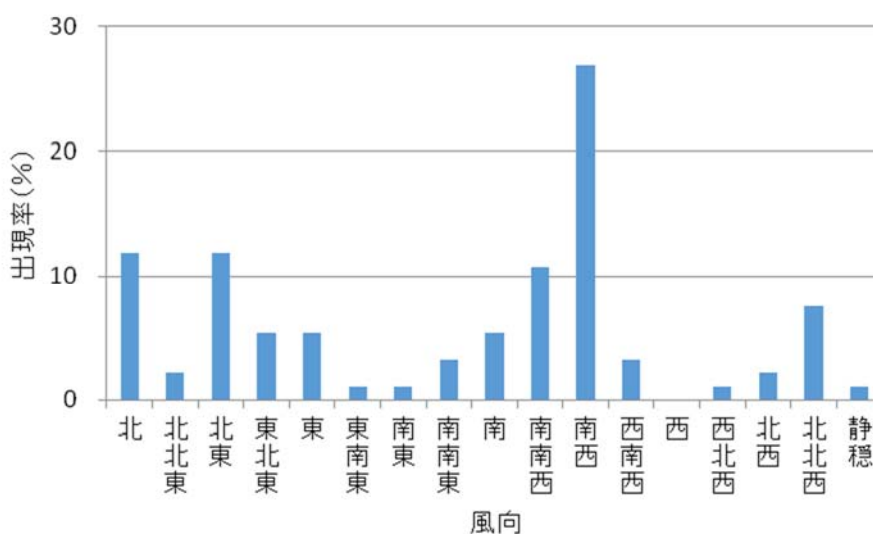


図 4-3 風向出現率（大手町,2005年8月午前3時）

風向風速の各観測点について、2005年8月の31日間の時刻別風向出現率を調べた。図4-4に示すように風向は、一日を通してSW系統の出現率が大きく、特に夜間が大きい。次に、昼間はSE系統、夜間はNE系統の出現率が大きい。午前2時～4時における卓越風は、「麻布」を除きSW系統である。観測点の「麻布」と「一の橋」は同じ麻布地域にあるが、風向出現率は大きく異なる。また、SW系統の出現率を比較すると、「大手町」、「港南」、「一の橋」、「台場」が概ね40～50%、「芝」が40%未満、「高輪」が60%以上と観測点間で異なる。

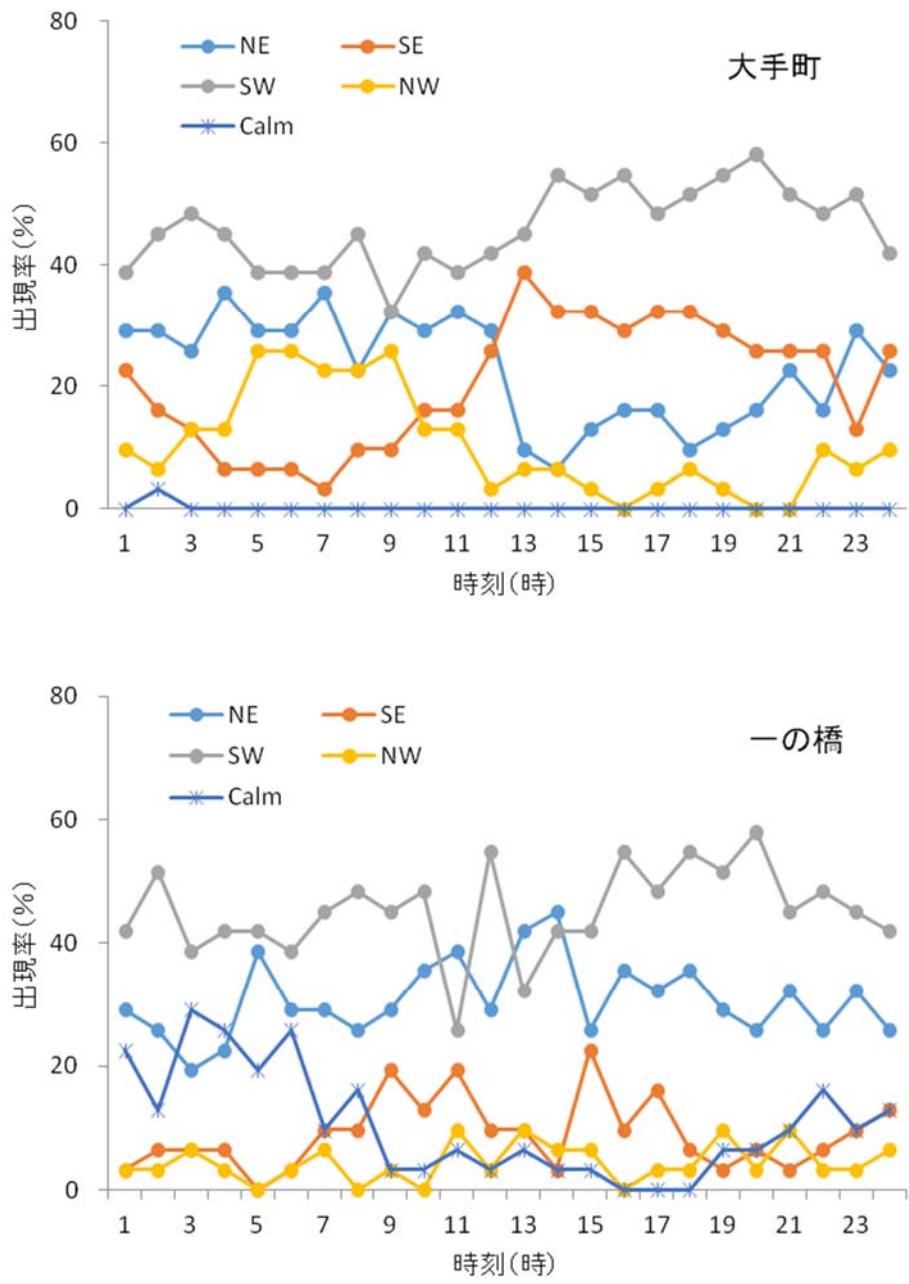


図 4-4 各観測点の時刻別風向分布 (2005年8月,1時間毎平均風向)



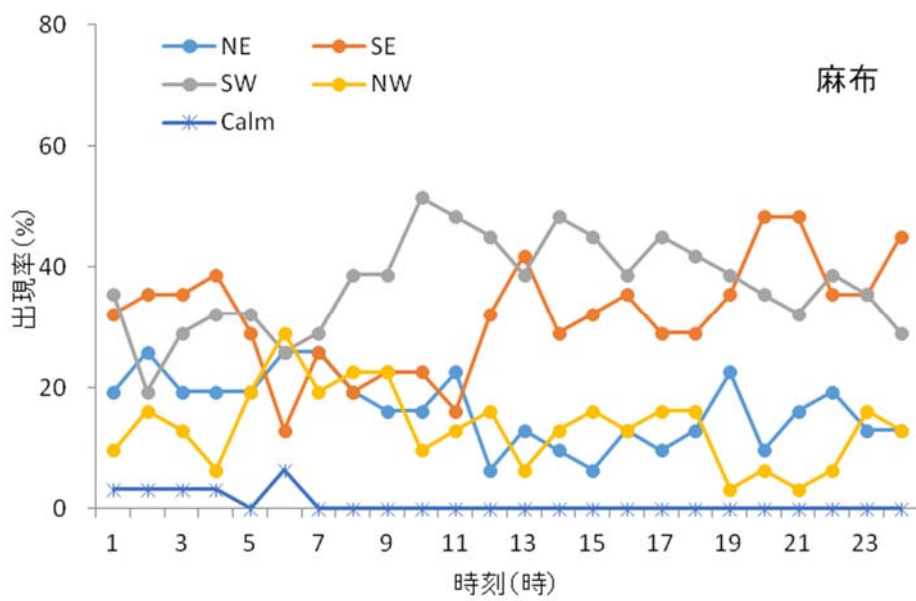
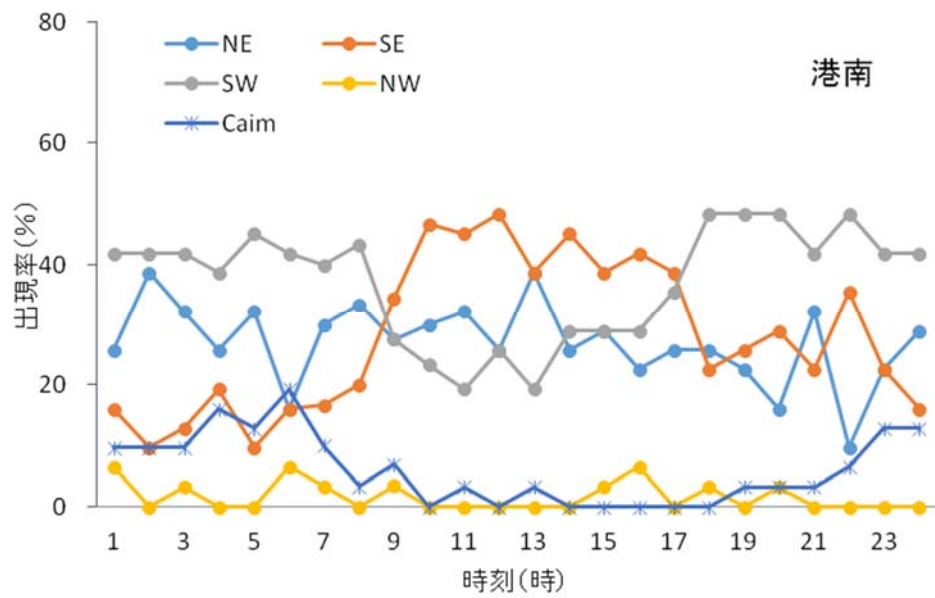


図 4-4 各観測点の時刻別風向分布 (つづき)

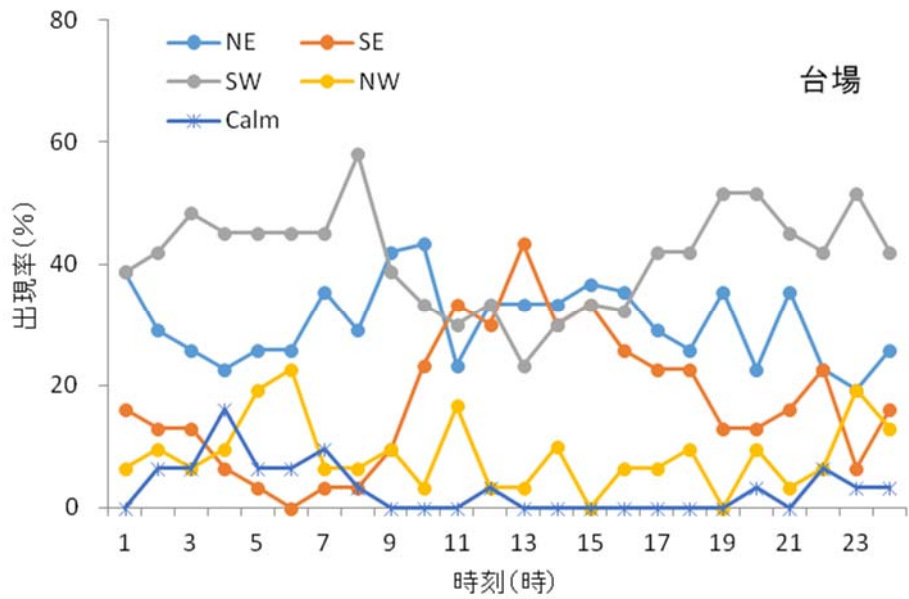
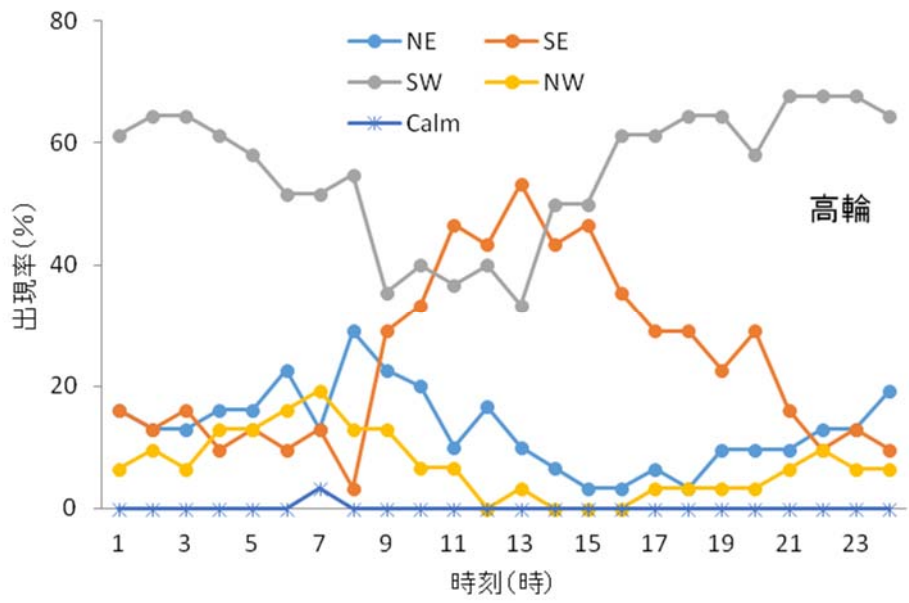


図 4-4 各観測点の時刻別風向分布 (つづき)

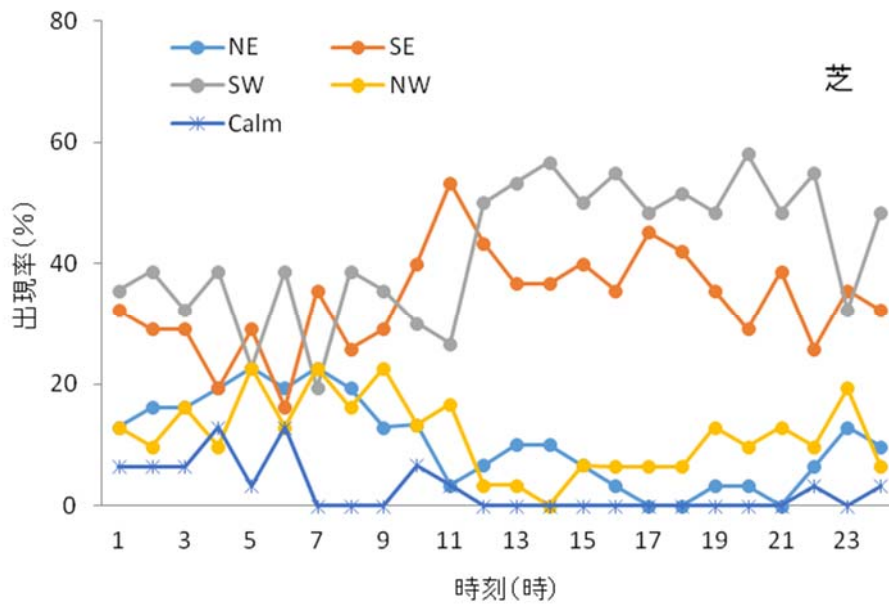


図 4-4 各観測点の時刻別風向分布 (つづき)

比較のため対象地域内にある東京タワー（地上 250 m）における 2005 年 8 月の風向出現率を図 4-5 に示す。各観測点の風向は必ずしも一致しておらず、標高、地形、土地被覆等が風向に影響を与えていることが示唆される。

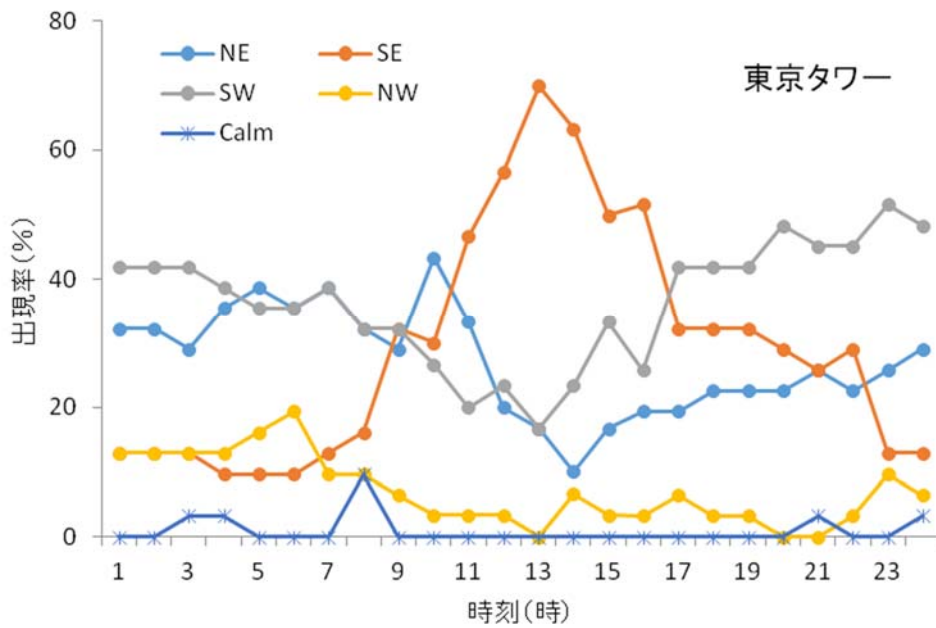


図 4-5 東京タワー（H:250m）の時刻別風向分布（2005 年 8 月）

次に、風向による観測点間の変動を検討するため、風向出現率の変動係数を算出した。表 4-3 に示すように、風向が SW 系統の場合に観測点間の変動係数が最も小さく、その次が NE 系統の時であった。「一の橋」は静穏が 3 割近くあった。また、表 4-4 に示すように「大手町」を規準とした場合、「麻布」と「芝」は、SE 系統の特化係数が特に大きく、「港南」、「一の橋」、「台場」は NW 系統の特化係数が小さかった。また、表 4-5 に示すように 18 時においても SW 系統の変動係数が最も小さかった。

これらのことから、風向が SW 系統の時に最も観測点間の変動が少なく、風向が安定していると考えられる。

表 4-3 風向出現率と変動率 (3 時)

観測点	NE	SE	SW	NW	Calm
大手町	26	13	48	13	0
一の橋	19	6	39	6	29
港南	32	13	42	3	10
麻布	19	35	29	13	3
高輪	29	16	42	13	0
台場	26	13	48	6	6
芝	16	29	32	16	6
平均値(a)	23.9	18.0	40.1	10.1	7.8
標準偏差(b)	5.9	10.3	7.5	4.7	10.0
変動率(b/a)	0.25	0.58	0.19	0.46	1.29

風向出現率・変動率：%

表 4-4 大手町の風向出現率に対する特化係数 (3 時)

観測点	NE	SE	SW	NW
一の橋	0.75	0.50	0.80	0.50
港南	1.25	1.00	0.87	0.25
麻布	0.75	2.75	0.60	1.00
高輪	1.13	1.25	0.87	1.00
台場	1.00	1.00	1.00	0.50
芝	0.63	2.25	0.67	1.25

特化係数=各観測点の風向出現率／大手町の風向出現率

表 4-5 風向出現率と変動率（18時）

観測点	NE	SE	SW	NW	Calm
大手町	10	32	52	6	0
一の橋	26	23	48	3	0
港南	35	6	55	3	0
麻布	13	29	42	16	0
高輪	16	32	45	6	0
台場	26	23	42	10	0
芝	0	42	52	6	0
平均値(a)	18.0	26.7	47.9	7.4	0.0
標準偏差(b)	11.9	11.1	5.1	4.5	0.0
変動率(b/a)	0.66	0.42	0.11	0.60	-

風向出現率・変動率：%

#### 4-3-2 港区周辺の風速

図 4-6 は、2005 年 8 月の時刻別の平均風速を観測点別に示したものである。風速は、8 時頃から上昇し日の入り前後に最大となり、その後徐々に低下し、夜半から日の出頃までは比較的安定している。地点別に見ると、「大手町」や「高輪」に比較して、「一の橋」、「麻布」、「港南」の風速は低い。特に「一の橋」は一日を通して平均風速が 1 m/s 未満である。

表 4-6 に各観測点の日平均風速と風速減衰率（「大手町」の風速に対する割合）を示す。風速減衰率は、「一の橋」で 8 割近くにも達し、風速についても標高、地形、土地被覆等が影響を与えていることが示唆される。

また、図 4-7 に示すように東京タワーの地上 107 m、250 m の平均風速と大手町の平均風速は、1 時から 10 時頃まで安定している。

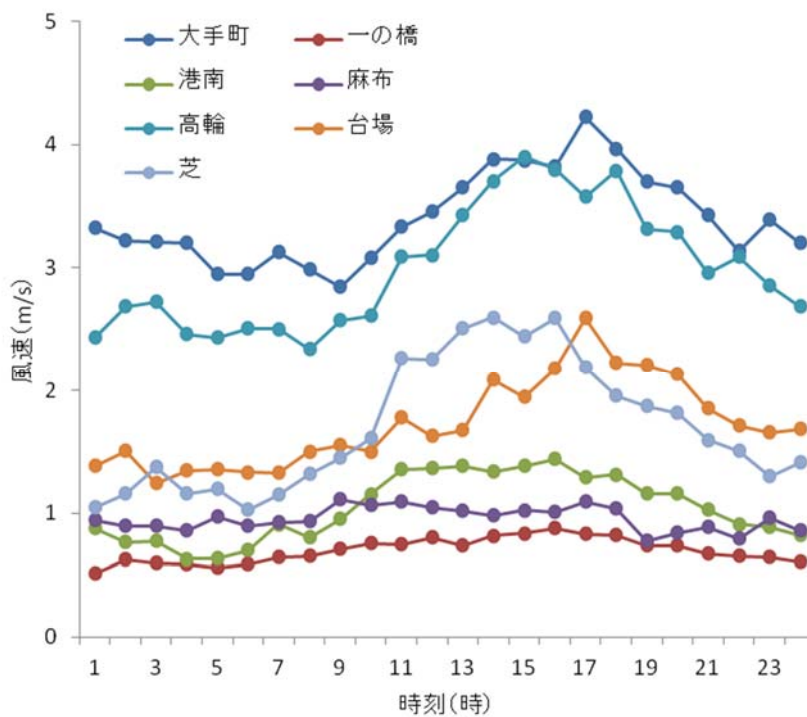


図 4-6 観測点別・時刻別平均風速（2005 年 8 月）

表 4-6 観測点の日平均風速と風速の減衰率（2005年8月）

観測点	日平均風速 (m/s)	減衰率 (%)	標高 (m)	風速計の高さ (m)
大手町	3.40	100	20	35.3
一の橋	0.70	21	5.2	3
港南	1.04	31	3.6	3
麻布	0.95	28	15.4	5
高輪	2.99	88	27.5	5.3
台場	1.72	51	7.5	10
芝	1.70	50	20.5	25

減衰率：大手町の日平均風速に対する割合

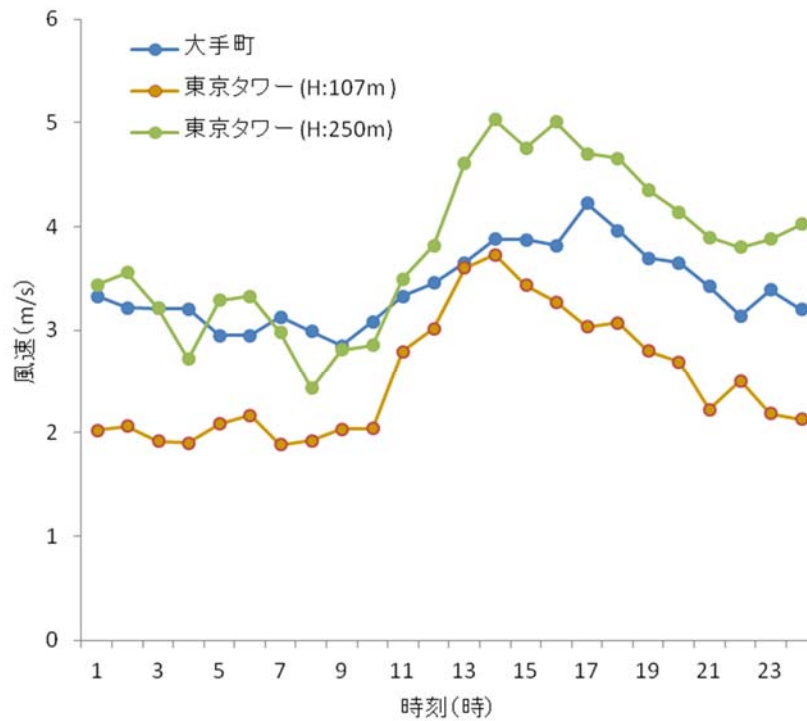


図 4-7 港区上空の時刻別平均風速（2005年8月）

#### 4-4 夜間の温度降下量と風速・雲量の関係

##### 4-4-1 風速・雲量データ等の収集と温度降下量等の算出

港区周辺の夏季夜間における温度降下量と風速・雲量との関係を検討するため、港区内 27 ヶ所に設置した気温観測点の気温データ（10 分間隔）と、東京アメダス局である「大手町」の風速・雲量データを用いた。調査期間は、前項の 3. 夏季の風の出現状況と同様の 2005 年 8 月とした。調査時間帯については、下記の理由により各調査日の 2 時から 4 時までの間とした。

- ① 2005 年のアメダス観測データは、風向風速については 1 時間毎、夜間の天気・雲量については 18 時、21 時、3 時であること。
- ② 萱場ら<sup>26)</sup>による東京中心部の人工排熱推定量時別値（8 月）と足立・木村の分析結果<sup>27)</sup>から、1 時から 5 時までの間が人工排熱量の変動が最も少ないと考えられること。
- ③ 永谷ら<sup>14)</sup>によると、23 時から翌 3 時の時間帯が都市緑地から「にじみ出し現象」の発生頻度の高い時間帯であり、緑地の影響が気温データにより明確に現れると考えられること。
- ④ 高橋・高橋<sup>28),29)</sup>によると、都心部では夏季夜間にヒートアイランド現象の発達に伴い、局地風前線が 6 時前後に東京湾の沿岸付近にまで進行し、港区周辺で急激な気温変化が起こる場合があり、この気温変化は緑地の影響では無いこと。

気温の降下量については、27 ヶ所の気温データを用いて観測時刻毎の平均気温を求め、2 時 00 分から 4 時 00 分まで時系列に散布し、その回帰直線の傾き（ $^{\circ}\text{C}/10$  分）を正負の符号を換え「温度降下量」とした。また、気温観測点間のバラツキについては、27 ヶ所の 10 分間隔の気温観測データ毎に分散を求め、2 時 00 分から 4 時 00 分までの平均分散の平方根を「地点間気温偏差」とした。表 4-7 に 2005 年 8 月の気象データ（3 時 00 分）と温度降下量・地点間気温偏差を示す。

なお、雲量とは、全天を 10 として雲の占める面積の割合を 0~10 の数値で示したものであり、雲量データの 0+ と 10- については、0.5 と 9.5 とした。



表 4-7 気象データと温度降下量・地点間気温偏差

月 日	大手町				温度降下量 (°C/h)	地点間気温 偏差 (°C)
	風速 (m/s)	風向	天気	雲量		
8月1日	3.3	S		2.0	0.23	0.26
" 2日	2.2	SSW		8.0	0.14	0.24
" 3日	3.2	SW		9.5	0.01	0.22
" 4日	0.7	E		9.5	0.12	0.44
" 5日	1.5	SSW		7.0	0.18	0.39
" 6日	1.7	SW		3.0	0.28	0.42
" 7日	4.3	SW		0.5	0.19	0.25
" 8日	0.8	SW		3.0	0.30	0.72
" 9日	2.2	NE		9.5	0.14	0.32
" 10日	2.6	SSW		9.5	0.05	0.24
" 11日	3.0	ENE		9.5	0.14	0.35
" 12日	1.3	SSE	☂	10.0	0.28	0.27
" 13日	5.4	NNW	☂	9.5	0.04	0.17
" 14日	1.3	N		9.0	0.13	0.39
" 15日	2.5	SW		9.0	0.17	0.24
" 16日	3.0	NNE		9.5	-0.12	0.45
" 17日	3.3	NE		3.0	0.20	0.35
" 18日	1.4	E		2.0	0.31	0.27
" 19日	2.9	SW		0.0	0.24	0.43
" 20日	3.3	WSW		1.0	0.34	0.31
" 21日	5.6	SW		3.0	0.18	0.24
" 22日	4.6	SW		7.0	0.03	0.20
" 23日	4.9	SSW		7.0	0.07	0.22
" 24日	3.3	NE	☂	10.0	0.13	0.29
" 25日	4.1	N		10.0	0.34	0.29
" 26日	13.1	NE	☂	10.0	0.03	0.18
" 27日	2.4	SE		9.5	0.24	0.34
" 28日	5.7	NNE	☂	10.0	0.94	0.26
" 29日	2.7	NNE		9.5	0.28	0.25
" 30日	1.7	SW		9.0	0.23	0.59
" 31日	1.5	WNW		9.5	-0.40	0.74

注) 温度降下量は1時間当たりの値に換算し、天気は☂(雨)のみを表記している。

気温観測データ: 3時00分、温度降下量・地点間気温偏差: 2時00分-4時00分

#### 4-4-2 温度低下量・地点間気温偏差と風速・雲量の相関分析結果

温度低下量・地点間気温偏差と風速・雲量の相関分析の結果を表 4-8 に示す。温度低下量と風速・雲量と有意な相関は認められない。地点間気温偏差と風速は、有意なマイナスの相関が認められたが、雲量とは有意な相関は認められない。

天候や風向が温度低下量や地点間気温偏差に影響を与える可能性があることから、表 4-7 の観測日から 5 日間の雨天日を除くとともに、前項の 3. 夏季の風の出現状況の検討結果を踏まえ、観測地点間の風向の変動が最も少ない SW 系統の日を対象に相関分析を行った。

表 4-9、表 4-10 に示すように、天候や風向の影響を除いた結果、温度低下量と雲量は有意なマイナスの相関が認められる。地点間気温偏差と風速は有意な高いマイナスの相関が認められるが、雲量との相関は有意ではない。また表 4-10 より、雨天を除く風向 SW 系統の日では、温度低下量と地点間気温偏差は有意なプラスの相関が認められる。

表 4-8 全データの単相関分析結果

N=31	温度低下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風速 (m/s)	雲量
温度低下量	1			
地点間気温偏差	-0.205	1		
風速	0.018	-0.508**	1	
雲量	-0.189	-0.078	0.086	1

\*\* は 1%有意

表 4-9 雨天日を除くデータによる単相関分析結果

N=26	温度低下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風速 (m/s)	雲量
温度低下量	1			
地点間気温偏差	-0.271	1		
風速	0.007	-0.610**	1	
雲量	-0.434*	0.038	-0.207	1

\*\* は 1%有意, \*は 5%有意

表 4-10 雨天日を除く風向 SW 系統データによる単相関分析結果

N=15	温度降下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
地点間気温偏差	0.629**	1		
風速	-0.417	-0.704**	1	
雲量	-0.681**	-0.191	-0.179	1

\*\* は 1%有意

#### 4-4-3 温度降下量を目的変数とした重回帰分析の結果

表 4-8、表 4-9、表 4-10 の相関分析結果をもとに、温度降下量を目的変数として、風速と雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。

表 4-11 に示すように、有意である結果が得られたのは、 $p$  値と決定係数、即ちモデルの妥当性と説明力が相対的に有意であるのは「雨天の日を除く風向が SW 系統」の日であり、この結果から式 (1) に示す重回帰モデルが求められた。式 (1) より温度降下量に与える影響は、相関分析の結果で得られたように、風速の係数と雲量の係数がマイナスを示していることから、風速が速くなるに従い、そして雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。

$$Y = 0.069 - 0.007 X_1 - 0.004 X_2 \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここで、 $Y$  : 温度降下量 (°C/10 分)、 $X_1$  : 風速 (m/s)、 $X_2$  : 雲量である。

表 4-11 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果

説明変数	データ対象範囲			
	全 期 間		雨天除外, SW 系統	
	係数	$p$ 値	係数	$p$ 値
風速	0.001	0.856	-0.007	0.002
雲量	-0.002	0.311	-0.004	< 0.001
切片	0.041	-	0.069	-
重相関係数	0.192		0.8714	
決定係数	0.037		0.764	
$p$ 値	0.591		< 0.001	
観測数	31		15	

4-4-4 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析の結果

表 4-8、表 4-9、表 4-10 の相関分析結果をもとに、地点間気温偏差を目的変数として、風速と雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。

表 4-12 の重回帰分析の結果が示すように、*p* 値と決定係数が相対的に見て有意であるのは、雨天の日を除く風向が SW 系統の日である。雨天の日を除く風向が SW 系統の日を対象に雲量の有無による二つのケースを設けた。説明変数を風速と雲量にしたケースの方が決定係数は高い。しかし、説明変数の *p* 値を見ると、説明変数が風速のみのケースが良好である。この結果から式 (2) に示す単回帰モデルが求められた。式 (2) より地点間気温偏差に与える影響は、相関分析の結果と同様に風速の係数がマイナスを示していることから、風速が速くなるに従い地点間気温偏差は縮小することが確認された。

$$Y = 0.57 - 0.079 X \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

ここで、Y：地点間気温偏差（℃）、X：風速（m/s）である。

表 4-12 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析結果

	データ対象範囲					
	全期間		雨天除外, SW 系統			
			Case 1		Case 2	
説明変数	係数	<i>p</i> 値	係数	<i>p</i> 値	係数	<i>p</i> 値
風速	-0.031	0.005	-0.085	0.001	-0.079	0.003
雲量	-0.001	0.831	-0.014	0.102		
切片	0.443	-	0.662	-	0.567	-
重相関係数	0.509		0.775		0.705	
決定係数	0.259		0.601		0.496	
<i>p</i> 値	0.015		0.004		0.003	
観測数	31		15		15	

#### 4-4-5 2005 年，2006 年，2007 年のデータによる検討

2005 年 8 月のデータに加えて、港区の気温観測データが揃う 2006 年 8 月、2007 年 8 月の 3 ヶ年のデータを用いて、雨天日を除く風向が SW 系統の日を対象にさらに検討を行った。

2006 年夏季の関東地方における月平均気温は、7 月は梅雨前線等の影響で日照が平年より少なかったため、気温は平年並か平年より低い地点が多かった。8 月は多くの地点で平均、最高、最低気温ともに平年より高かった<sup>30)</sup>。梅雨明けは 7 月 30 日頃であった。また、2007 年 7 月は、太平洋高気圧の張り出しが弱く、梅雨前線が本州付近に停滞した。そのため、気温、日照時間ともに平年を下回った。一方 8 月は、梅雨明け（8 月 1 日頃）以降、本州は太平洋高気圧に覆われ暑い日が続いた、関東地方では日照時間が平年を上回った。気温も平年を大きく上回り、最高気温の高温偏差が顕著であった<sup>31)</sup>。

検討に際しては、2005 年データの検討と同様に、27 ヶ所の気温観測点の気温データ（10 分間隔）、「大手町」の風速・雲量データを用いるとともに、調査時間帯は 2 時から 4 時までの間とした。2005 年 8 月、2006 年 8 月、2007 年 8 月の 3 ヶ年間で、雨天日を除く風向が SW 系統の観測日数は 46 日である。その中から温度降下量がマイナス（気温が上昇した）の日を特異日として 2006 年、2007 年から各 1 日を除外した表 4-13 の 44 日を検討対象とする。

表 4-13 雨天日除外・風向 SW 系統の観測日数

観測期間	日数
2005 年 8 月	15 日
2006 年 8 月	10 日
2007 年 8 月	19 日
計	44 日

温度降下量と風速の散布図を図 4-8 に示す。温度降下量は風速 2m/s 付近に極大があるように見える。温度降下量の最大値は、2006 年 8 月 29 日の 0.06℃/10 分であり、風速 2.2m/s の時に出現した。温度降下量と雲量の散布図を図 4-9 に示す。雲量の増加に伴い温度降下量は減少している。これは、雲量の増加により放射冷却が弱まることに起因すると考えられる。地点間気温偏差と風速の散布図を図 4-10 に示す。地点間気温偏差は風速が強まるに従い急激に縮小するが、風速 2 m/s あたりから一定値に収束するようにも見える。地点間気温偏差と雲量の散布図を図 4-11 に示す。

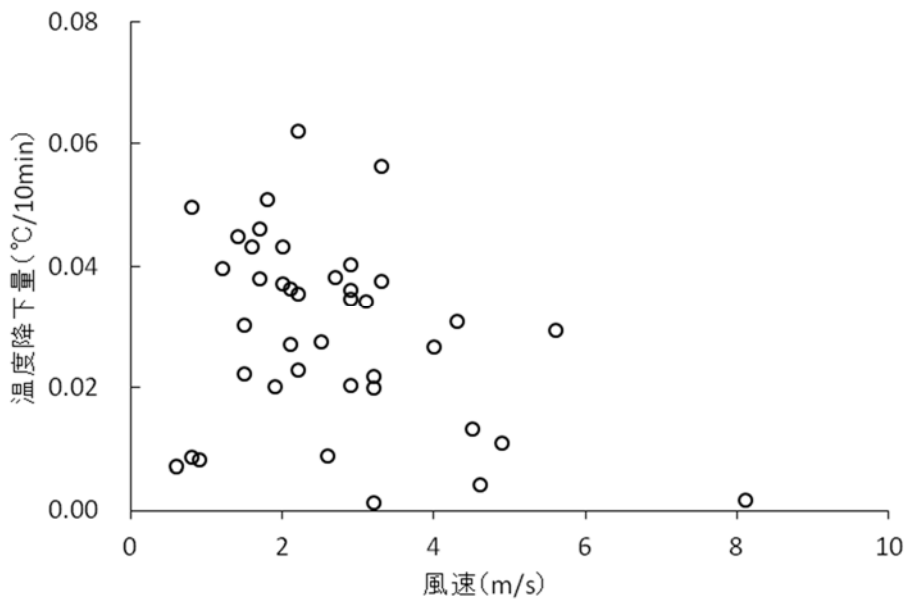


図 4-8 温度降下量と風速

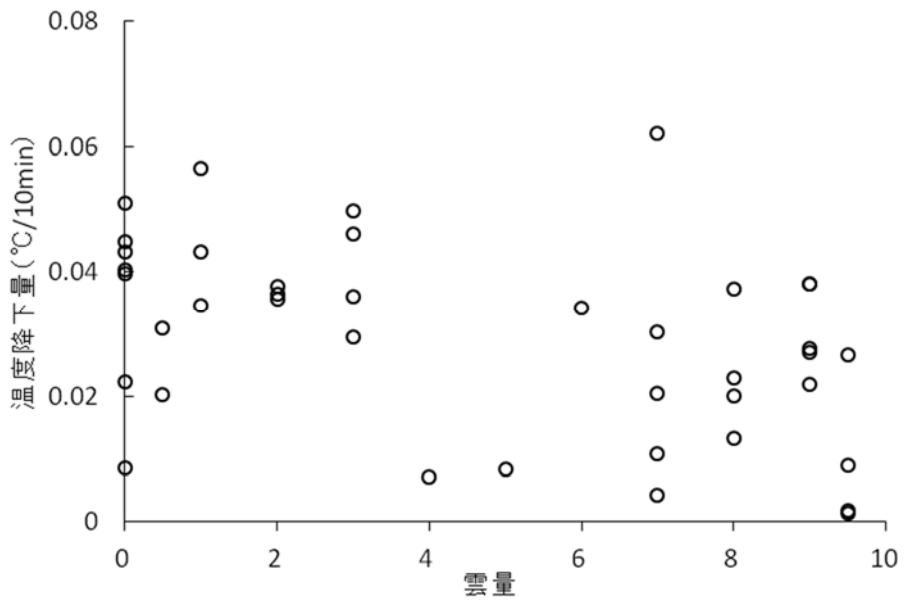


図 4-9 温度降下量と雲量

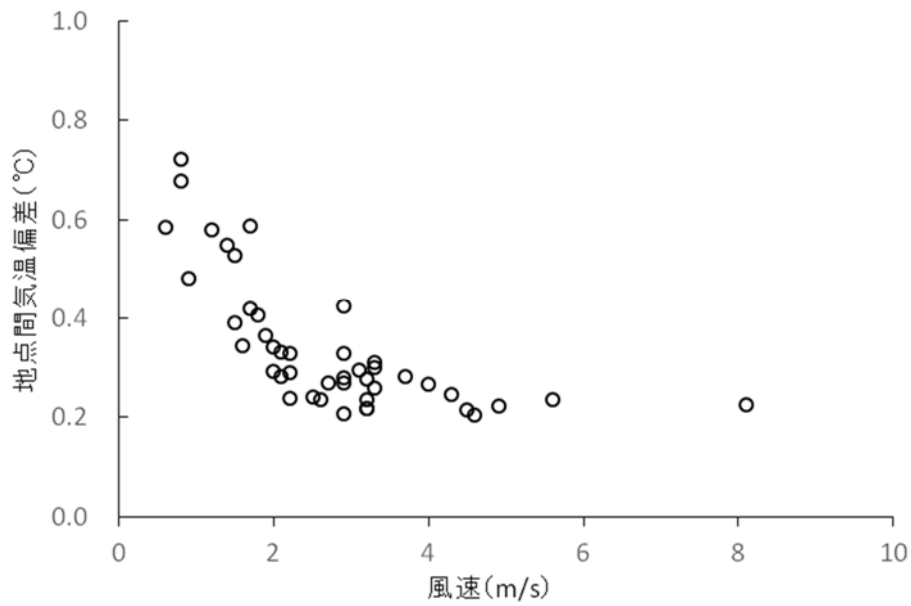


図 4-10 地点間気温偏差と風速

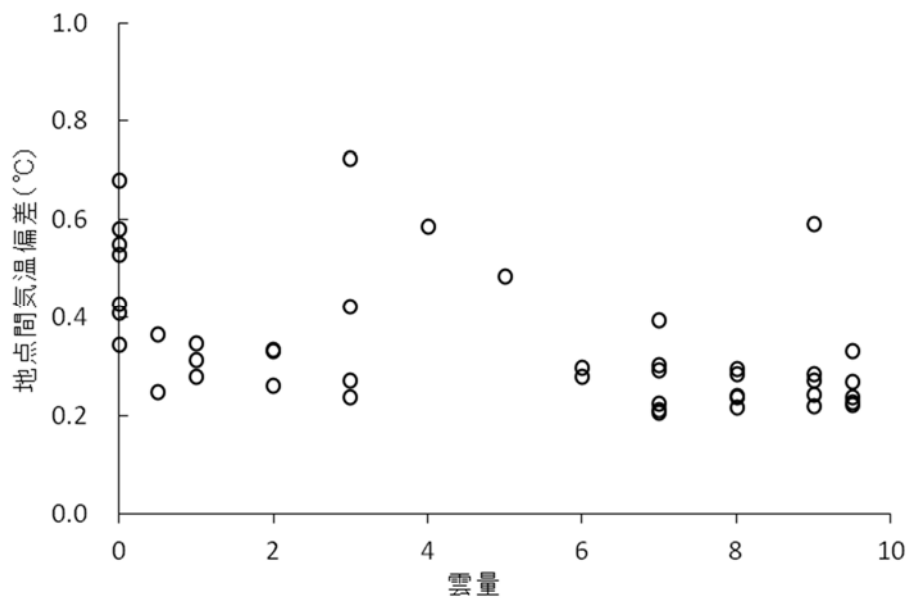


図 4-11 地点間気温偏差と雲量

温度降下量、地点間気温偏差、風速、雲量の相関分析の結果を表 4-14 に示す。温度降下量は、風速と雲量に有意なマイナスの低い相関が認められる。地点間気温偏差も同様に有意なマイナスの相関が認められる。表 4-10 の相関分析の結果とほぼ同様の傾向である。

表 4-14 全データによる単相関分析結果

N=44	温度降下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
地点間気温偏差	0.180	1		
風速	-0.297*	-0.688**	1	
雲量	-0.395**	-0.484**	0.359*	1

\*\* は 1%有意, \*は 5%有意

榊原・三枝<sup>12)</sup>は、都市と郊外の夜間の気温差と風速との関係を示し、風速 2 m/s 付近に気温差の極大が現れることを示した。これは、放射冷却により形成された接地逆転層と上空大気の混合を起こす風速の臨界値が、地上風速 1.5 m/s 程度であること<sup>32),33)</sup>や、平均風速が 1 m/s 以下の微風時においては、冷気流が間欠的に発生するとともに、重力流である冷気流の動きが比較的狭い範囲の地形に左右されること<sup>3),8),9),10)</sup>等に関係していると考えられる。

その物理的メカニズムは未だ明らかにされていないが、本研究の温度降下量においても同様の傾向が見られたことから、この風速を境にして、夜間の冷却メカニズムが変化していることが考えられる。地点間気温偏差に見られた特徴もそれを示唆している。そこで、以下では風速 2 m/s 未満と以上で分けて、解析を行うこととする。なお、風速 2 m/s 以上の出現頻度は、検討対象日 44 日中 31 日の 70%であった。

先ず風速 2 m/s 以上の観測データを対象に相関分析を行うとともに、温度降下量を目的変数として、風速と雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。

相関分析の結果を表 4-15 に示す。温度降下量と風速は有意なマイナスの相関が、雲量とも同様に有意なマイナスの相関が認められる。地点間気温偏差と雲量は有意なマイナスの相関が、風速とは有意なマイナスの低い相関が認められる。なお、温度降下量と地点間気温偏差は有意なプラスの相関が認められる。

表 4-15 風速 2m/s 以上のデータによる単相関分析結果

N=31	温度降下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
地点間気温偏差	0.587**	1		
風速	-0.483**	-0.389*	1	
雲量	-0.529**	-0.521**	0.131	1



次に表 4-15 の相関分析結果をもとに、温度降下量を目的変数として、風速と雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。表 4-16 に重回帰分析の結果を示す。この結果から式 (3) に示す重回帰モデルが求められた。式(3)より温度降下量に与える影響は、相関分析の結果で得られたように、風速の係数と雲量の係数がマイナスを示していることから、風速が速くなるに従い、そして雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。

$$Y = 0.058 - 0.005 X_1 - 0.002 X_2 \quad \dots \text{式 (3)}$$

ここで、Y：温度降下量（℃／10分）、X<sub>1</sub>：風速（m／s）、X<sub>2</sub>：雲量である。

表 4-16 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果

説明変数	係数	標準偏回帰係数	p 値
風速	-0.005	-0.421	0.006
雲量	-0.002	-0.474	0.002
切片	0.058	0.000	—
重相関係数	0.674		
決定係数	0.455		
p 値	< 0.001		
観測数	31		

また、表 4-16 の標準偏回帰係数（変数を標準化して求めた偏回帰係数）から、雲量の方が風速より温度降下量に対する影響力が若干大きいことが確認された。

さらに表 4-15 の相関分析結果をもとに、地点間気温偏差を目的変数として、風速と雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。

表 4-17 に重回帰分析の結果を示す。この結果から式 (4) に示す重回帰モデルが求められた。式 (4) より地点間気温偏差に与える影響は、相関分析の結果で得られたように、風速の係数と雲量の係数がマイナスを示していることから、風速が速くなるに従い、そして雲量が増えるに従い地点間気温偏差は縮小することが確認された。

$$Y = 0.35 - 0.012 X_1 - 0.007 X_2 \quad \dots \text{式 (4)}$$

ここで、Y：地点間気温偏差（℃）、X<sub>1</sub>：風速（m／s）、X<sub>2</sub>：雲量である。

表 4-17 地点間気温偏差を目的変数とした重回帰分析結果

説明変数	係数	標準偏回帰係数	p 値
風速	-0.012	-0.326	0.038
雲量	-0.007	-0.478	0.004
切片	0.353	0.000	—
重相関係数	0.613		
決定係数	0.376		
p 値	0.001		
観測数	31		

また、表 4-17 の標準偏回帰係数から、雲量の方が風速より地点間気温偏差に対する影響力が大きいことが確認された。

次に、風速 0.3m/s 以上 2 m/s 未満の観測データによる相関分析の結果を表 4-18 に示す。温度降下量と風速の相関はプラスだが、統計学的には有意ではない。地点間気温偏差と風速の相関は有意なマイナスである。なお、プロペラ式風速計には起動風速の問題があり<sup>34)</sup>、アメダスでは風速 0.3 m/s 未満は静穏として取り扱われている。また、温度降下量及び地点間気温偏差ともに雲量との相関はない。このことから、風速 2 m/s 未満の無風・微風時における気温の変化は、冷気流の動態にも関連することから<sup>35)</sup>、観測点の比較的狭い範囲の地形、風向風速、土地被覆形態等に大きく左右されることが示唆される。また、にじみ出しによる局所的な冷却効果は期待できるが、その効果は周辺大気には及ばないことが示唆される。

表 4-18 風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満のデータによる単相関分析結果

N=13	温度降下量 (°C/10min)	地点間気温偏差 (°C)	風 速 (m/s)	雲 量
温度降下量	1			
地点間気温偏差	-0.142	1		
風 速	0.494	-0.718**	1	
雲 量	-0.098	0.038	-0.048	1

\*\*は 1%有意

#### 4-5 樹林地の冷却効果と風速・雲量との関係

##### 4-5-1 樹林地面積と気温との関係

###### (1) データの算出

樹林地面積と日最低気温平均値との関係については第 3 章で検討したが、表 4-13 の 44 日間を対象に、樹林地面積と午前 3 時の気温との関係を検討する。分析に際しては、樹林地面積の 150m×150m メッシュに対する比率である樹林地面積率(表 4-2)を用いる。また、気温そのものと樹林地面積を比較する場合、日による気温の値の変動が大きく明確な関係が判断しづらいことから、各観測日の平均気温との温度差(以下、「気温偏差」という。)を用いる。樹林地面積率と気温偏差の散布図を図 4-12 に示す。

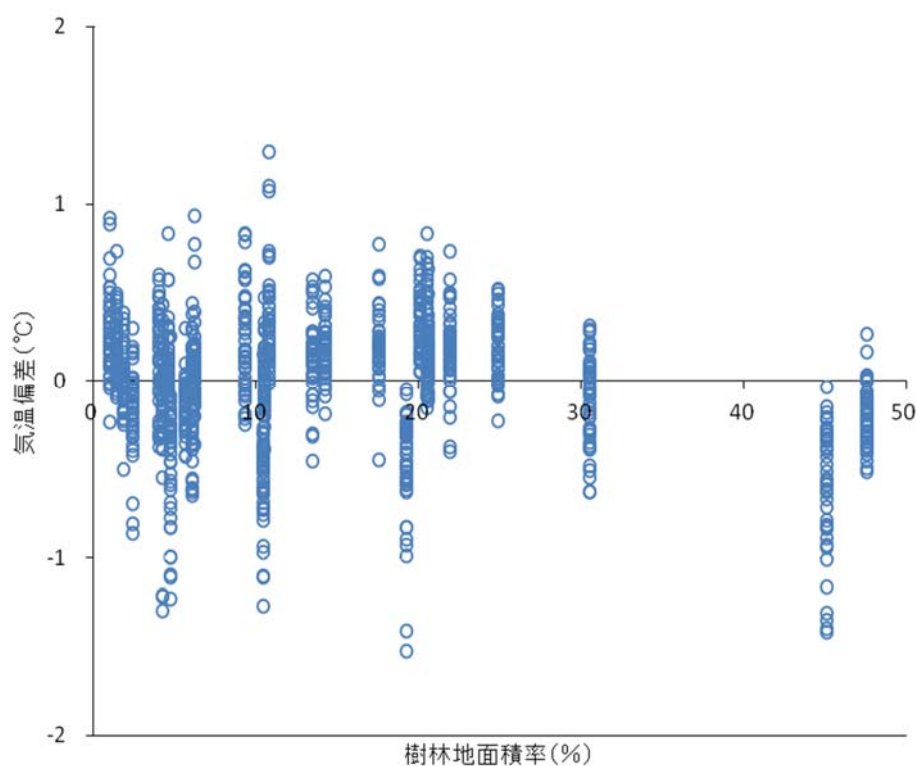


図 4-12 樹林地面積率と気温偏差

###### (2) 気温偏差と樹林地面積率による回帰分析

気温偏差を目的変数として、樹林地面積率を説明変数に用いて回帰分析を行った。表 4-19 より樹林地面積率の係数がマイナスを示していることから、樹林地面積率が増加するに従い、気温偏差がマイナス方向に拡大し、気温は低下することが確認された。

また、温度低下量がマイナス(気温が上昇)になる日があることが 4-4 で確認されたことから、気温観測点 27 ヶ所の 44 日間のデータ(N=1,188)における発生状況を表 4-20 に示す。

表 4-19 気温偏差を目的変数とした単回帰分析結果 (27ヶ所)

説明変数	係数	p 値
樹林地面積率 (%)	-0.005	< 0.001
切片	0.078	
単相関係数	0.174	
決定係数	0.030	
p 値	< 0.001	
観測数	1,188	

表 4-20 温度低下量がマイナス (気温が上昇) の日数

気温観測点 No.	発生日数	発生率 (%)
1	1	2.3
2	3	6.8
3	2	4.5
4	4	9.1
5	2	4.5
6	5	11.4
7	4	9.1
8	2	4.5
9	1	2.3
10	3	6.8
11	3	6.8
12	0	0.0
13	2	4.5
14	2	4.5
15	4	9.1
16	5	11.4
17	3	6.8
18	3	6.8
19	3	6.8
20	2	4.5
21	8	18.2
22	4	9.1
23	5	11.4
24	2	4.5
25	7	15.9
26	3	6.8
27	6	13.6
計	89	—
平均	3.3	7.5

温度低下量がマイナスになる日の発生率が顕著に高い地点が見られ、これらの地点では他の要因が関係していることが疑われる。そのため、気温低下量がマイナスになる日の発生率が 12.5% (8分の1) 以上である 3ヶ所を除外し、24ヶ所のデータで回帰分析を行った。表 4-21 に示すように表 4-19 とほぼ同様の結果となった。

表 4-21 気温偏差を目的変数とした単回帰分析結果 (24ヶ所)

説明変数	係数	p 値
樹林地面積率 (%)	-0.005	<0.001
切片	0.078	
単相関係数	0.254	
決定係数	0.064	
p 値	<0.001	
観測数	1,056	

#### 4-5-2 樹林地面積率の上位・下位 2 群比較による検討

##### (1) データの算出

4-4 の結果を踏まえ、樹林地の冷却効果に与える風速と雲量の影響について検討するため、表-4-2 より樹林地面積率の上位 3ヶ所 (以下、「上位群」という。) と下位 3ヶ所 (以下、「下位群」という。) の観測時刻毎の平均気温を求め、4.4.1 と同様の方法で上位群と下位群の温度低下量を算出した。その中から温度低下量がマイナスの日を、2005 年から 2 日、2007 年から 3 日除外した 39 日を検討対象とした。温度低下量と風速・雲量の散布図を図 4-13、図 4-14 に示す。

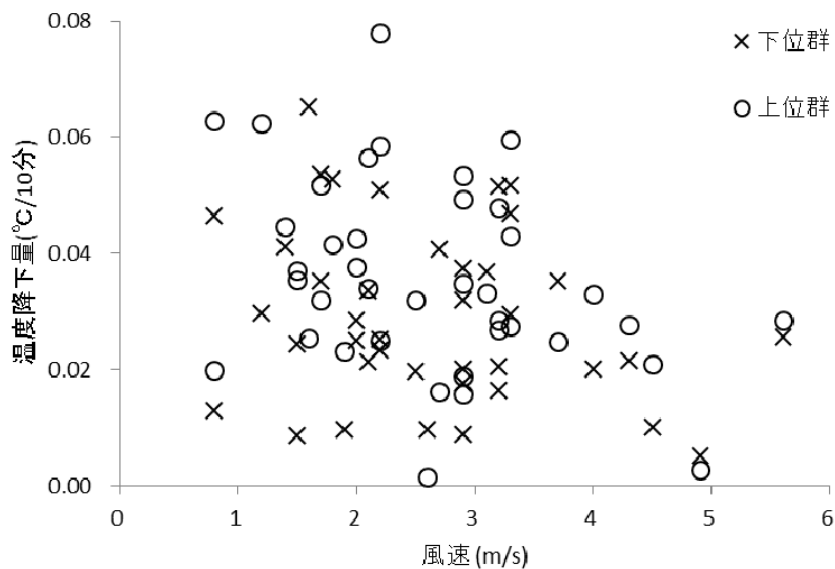


図 4-13 樹林地面積率別の温度低下量と風速

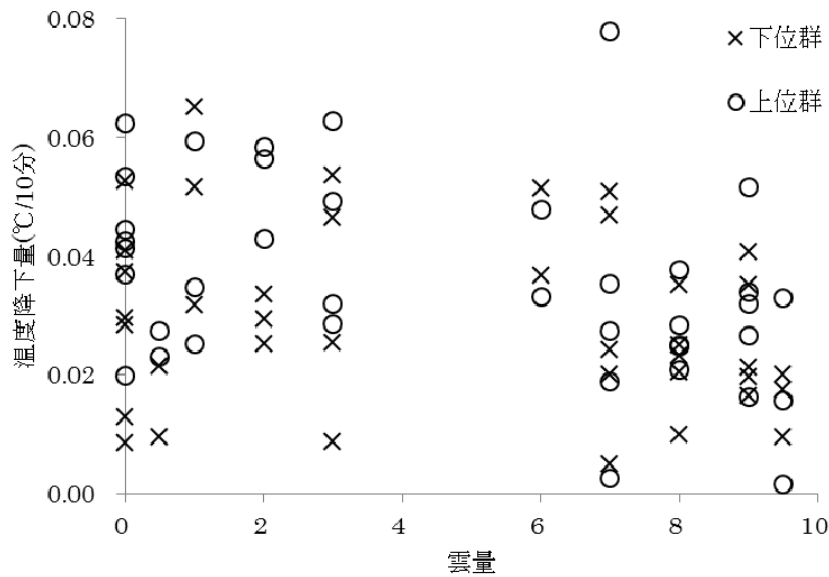


図 4-14 樹林地面積率別の温度降下量と雲量

図 4-13 より温度降下量は、ほとんどのケースで樹林地面積率の上位群の方が大きい。上位群と下位群での温度降下量の差は強風側で小さいように見え、特に風速 5～6m/s 付近では上位群と下位群の温度降下量の差は弱風側と比べて小さい。図 4-14 より、樹林地面積率の上位群と下位群の温度降下量の差は、全体としては雲量 5 以下より雲量 6 以上の方が小さいように見える。

## (2) 2群の平均値による有意差の検定

温度降下量の最大値が 4.2 の結果と同様に上位群の風速 2.2 m/s で出現したことから、風速 2m/s を境界値として分析を行う。風速 2m/s 以上 3m/s 未満の日と風速 3m/s 以上の日に分けて、上位群と下位群の温度降下量について対応のある t 検定を行った。

表 4-22 に示すように風速 2m/s 以上 3m/s 未満の場合両群に有意な差が認められたが、風速 3m/s 以上の場合有意な差は認められなかった。この結果から樹林地の冷却効果は風速の増加とともに低減することが示唆された。また、表 4-22 に示すように風速 2m/s 未満の場合は両群の冷却効果に有意な差は認められなかった。ちなみに風速 2m/s 以上 3m/s 未満における両群の温度降下量の差 (0.011°C/10min) を樹林地の冷却効果とし、同一条件で 8 月における日の入から日の出までの約 10 時間、温度降下量が累積されると仮定すると、気温は平均で約 0.7°C 低下することになる。

上記で樹林地の冷却効果があった風速 2m/s 以上 3m/s 未満の日を対象に、雲量 5 以下の日と雲量 6 以上の日に分けて、上位群と下位群の温度降下量について対応のある t 検定を行った。表 4-22 に示すように雲量 5 以下の場合、両群の冷却効果に有意な差が認められたが、雲量 6 以上の場合には有意な差は認められなかった。この結果より、樹林地の冷却効果は雲量の増加とともに低減することが示唆された。

表 4-22 樹林地面積率別の温度降下量と風速

【風速 2m/s 以上, 3m/s 未満】

	平均値(°C/10min)	標準偏差	$P(T<t)=\text{両側}$	N
下位群	0.026	0.011	0.03 < 0.05	15
上位群	0.037	0.020		

【風速 3m/s 以上】

	平均値(°C/10min)	標準偏差	$P(T<t)=\text{両側}$	N
下位群	0.029	0.015	0.38 > 0.05	13
上位群	0.031	0.014		

【風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満】(参考)

	平均値(°C/10min)	標準偏差	$P(T<t)=\text{両側}$	N
下位群	0.035	0.019	0.45 > 0.05	11
上位群	0.040	0.015		

表 4-23 樹林地面積率別の温度降下量と雲量 (風速 2m/s 以上 3m/s 未満)

【雲量 5 以下】

	平均値(°C/10min)	標準偏差	$P(T<t)=\text{両側}$	N
下位群	0.028	0.010	0.01 < 0.05	6
上位群	0.047	0.011		

【雲量 6 以上】

	平均値(°C/10min)	標準偏差	$P(T<t)=\text{両側}$	N
下位群	0.025	0.013	0.51 > 0.05	9
上位群	0.029	0.022		

#### 4-5-3 温度降下量，樹林地面積，風速，雲量による重回帰分析

##### (1) データの算出

気温観測点 27 地点（図 4-2）の 44 日間（表 4-13）のデータ（N=1,188）を対象に、4.4.1 と同様の方法で温度降下量を算出した。樹林地面積については表 4-2 のデータ、風速、雲量については、東京アメダス（大手町）の午前 3 時のデータを用いた。

温度降下量を目的変数として、樹林地面積、風速、雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。なお、4-5-1 で示したように温度降下量がマイナスのデータ（N=89）は、特異値として分析から除外した。

##### (2) 全データによる相関分析・重回帰分析の結果

温度降下量、樹林地面積、風速、雲量の相関分析の結果を表 4-24 に示す。温度降下量は、風速と雲量に有意なマイナスの低い相関が、風速と雲量は有意なプラスの低い相関が認められる。しかし、温度降下量と樹林地面積と間に相関は認められない。

表 4-24 全データによる単相関分析結果

N=1,099	温度降下量 (°C/10min)	樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
樹林地面積	0.024	1		
風速	-0.276**	-0.002	1	
雲量	-0.317**	0.003	0.319**	1

\*\* は 1%有意

表 4-24 の相関分析結果をもとに、温度降下量を目的変数として、樹林地面積、風速、雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。

表 4-25 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果

説明変数	標準偏回帰係数	p 値
樹林地面積	0.023	0.397
風速	-0.194	<0.001
雲量	-0.253	<0.001
切片	0.006	—
重相関係数	0.367	
決定係数	0.135	
p 値	<0.001	
観測数	1,099	



表 4-25 に示すように、温度降下量に対して、樹林地面積はプラス、風速と雲量はマイナスに寄与する。しかし、説明変数の  $p$  値を見ると、風速と雲量の  $p$  値は有意だが、樹林地面積の  $p$  値は有意ではない。

説明変数から樹林地面積を除き 2 変数で重回帰分析を行った。表 4-26 に示すように温度降下量に対して風速と雲量はマイナスに寄与するとともに、説明変数の  $p$  値はともに有意であった。

表 4-26 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果（風速、雲量の 2 変数）

説明変数	標準偏回帰係数	$p$ 値
風速	-0.194	<0.001
雲量	-0.252	<0.001
切片	0.006	—
重相関係数	0.367	
決定係数	0.134	
$p$ 値	<0.001	
観測数	1,099	

### (3) 風速別データ群による相関分析・重回帰分析の結果

4-5-2 の検討結果を踏まえ、風速 2m/s を境界値に全データを分割して、温度降下量、樹林地面積、風速、雲量の相関分析・重回帰分析を行った。なお、風速は 0.3m/s 未満のデータについては、静穏として当初より分析対象から除外している。4-4-5 の分析結果も参考に、データ群は、風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満、風速 2m/s 以上、風速 2m/s 以上 3m/s 未満、風速 3m/s 以上の 4 つのデータ群に分割した。

風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満においては、表 4-27 に示すように温度降下量と風速とは有意なプラスの相関が、雲量とは有意なマイナスの相関が認められた。表 4-28 に重回帰分析の結果を示す。この結果から温度降下量に与える影響は、相関分析の結果と同様に、風速の係数が有意なプラス、雲量の係数が有意なマイナスを示していることから、風速が速くなるに従い温度降下量は増大し、雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。樹林地面積については、温度降下量との有意な相関は認められず、説明変数の  $p$  値も有意ではなかった。

風速 2m/s 以上において、表 4-29 に示すように温度降下量とは、風速と雲量ともに有意なマイナスの相関が認められた。また、風速と雲量の間にもプラスの相関が認められた。表 4-30 に重回帰分析の結果を示す。この結果から、温度降下量に与える影響は、相関分析の結果と同様に、風速と雲量の係数が有意なマイナスを示していることから、風速は速くなるに従い温度降下量が低減し、雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。樹林地面積については、温度降下量との有意な相関は

認められず、説明変数の  $p$  値も有意ではなかった。風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満の分析結果と異なり、風速 2m/s 以上においては、風速が速くなるに従い温度降下量は低減することが確認された。また、4-5-2 とほぼ同様の結果となった。

表 4-27 風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満のデータによる単相関分析結果

N=309	温度降下量 (°C/10min)	樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
樹林地面積	0.043	1		
風速	0.172**	-0.009	1	
雲量	-0.113*	0.001	-0.018	1

\*\* は 1%有意, \* は 5%有意

表 4-28 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果 (風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満)

説明変数	標準偏回帰係数	$p$ 値
樹林地面積	0.043	0.434
風速	0.169	0.003
雲量	-0.109	0.050
切片	-0.018	—
重相関係数	0.209	
決定係数	0.044	
$p$ 値	0.003	
観測数	309	

表 4-29 風速 2m/s 以上のデータによる単相関分析結果

N=790	温度降下量 (°C/10min)	樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
樹林地面積	0.015	1		
風速	-0.341**	-0.005	1	
雲量	-0.363**	0.003	0.086*	1

\*\* は 1%有意, \* は 5%有意

表 4-30 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果（風速 2m/s 以上）

説明変数	標準偏回帰係数	p 値
樹林地面積	0.015	0.635
風速	-0.312	<0.001
雲量	-0.335	<0.001
切片	0.003	—
重相関係数	0.478	
決定係数	0.229	
p 値	<0.001	
観測数	790	

風速 2m/s 以上 3m/s 未満においては、表 4-31 に示すように温度降下量とは、風速と雲量ともに有意なマイナスの相関が認められた。表 4-32 に重回帰分析の結果を示す。この結果から、温度降下量に与える影響は、樹林地面積の係数が有意なプラス、風速と雲量の係数が有意なマイナスを示していることから、樹林地面積が増えるに従い温度降下量が増大し、風速は速くなるに従い又は雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。樹林地面積については、温度降下量との有意な相関は認められなかったが、説明変数の p 値は有意であった。

風速 3m/s 以上においては、表 4-33 に示すように温度降下量とは、風速が有意なプラスの相関が、雲量が有意なマイナスの相関が認められた。表 4-34 に重回帰分析の結果を示す。この結果から、温度降下量に与える影響は、樹林地面積の係数がプラス、風速と雲量の係数が有意なマイナスを示していることから、風速は速くなるに従い又は雲量が増えるに従い温度降下量は低減することが確認された。樹林地面積については、温度降下量との有意な相関は認められず、説明変数の p 値も有意ではなかった。

以上のことから、4-5-3 の結果と同様に温度降下量に対して樹林地面積は、風速 2m/s 以上 3m/s 未満の条件下において、有意に寄与することが確認された。

表 4-31 風速 2m/s 以上 3m/s 未満のデータによる単相関分析結果

N=393	温度降下量 (°C/10min)	樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	風 速 (m/s)	雲 量
温度降下量	1			
樹林地面積	0.098	1		
風 速	-0.193**	0.003	1	
雲 量	-0.260**	0.006	-0.022	1

\*\* は 1%有意, \* は 5%有意

表 4-32 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果（風速 2m/s 以上 3m/s 未満）

説明変数	標準偏回帰係数	p 値
樹林地面積	0.101	0.036
風速	-0.199	<0.001
雲量	-0.266	<0.001
切片	0.000	—
重相関係数	0.343	
決定係数	0.117	
p 値	<0.001	
観測数	393	

表 4-33 風速 3m/s 以上のデータによる単相関分析結果

N=203	温度降下量 (°C/10min)	樹林地面積 (m <sup>2</sup> )	風速 (m/s)	雲量
温度降下量	1			
樹林地面積	-0.049	1		
風速	0.347**	0.004	1	
雲量	-0.622**	0.003	-0.531**	1

\*\* は 1%有意

表 4-34 温度降下量を目的変数とした重回帰分析結果（風速 3m/s 以上）

説明変数	標準偏回帰係数	p 値
樹林地面積	-0.071	0.073
風速	-0.386	<0.001
雲量	-0.445	<0.001
切片	-0.002	—
重相関係数	0.614	
決定係数	0.378	
p 値	<0.001	
観測数	397	

#### 4-5-4 境界値とした風速 2m/s に関する検討

##### (1) データの算出

これまで境界値として用いてきた風速 2m/s について改めて検討を行う。図 4-15 は、温度降下量と風速の全データによる散布図であり、風速 2m/s を境界値にデータを二群に分けそれぞれの回帰直線を示したものである。

境界値を段階的に移動させて、境界値未満のデータ群と境界値以上のデータ群を対象に温度降下量を目的変数として、風速を説明変数に用いて回帰分析を行う。その上で、境界値毎に相関係数、説明変数の係数、 $p$  値を算出する。

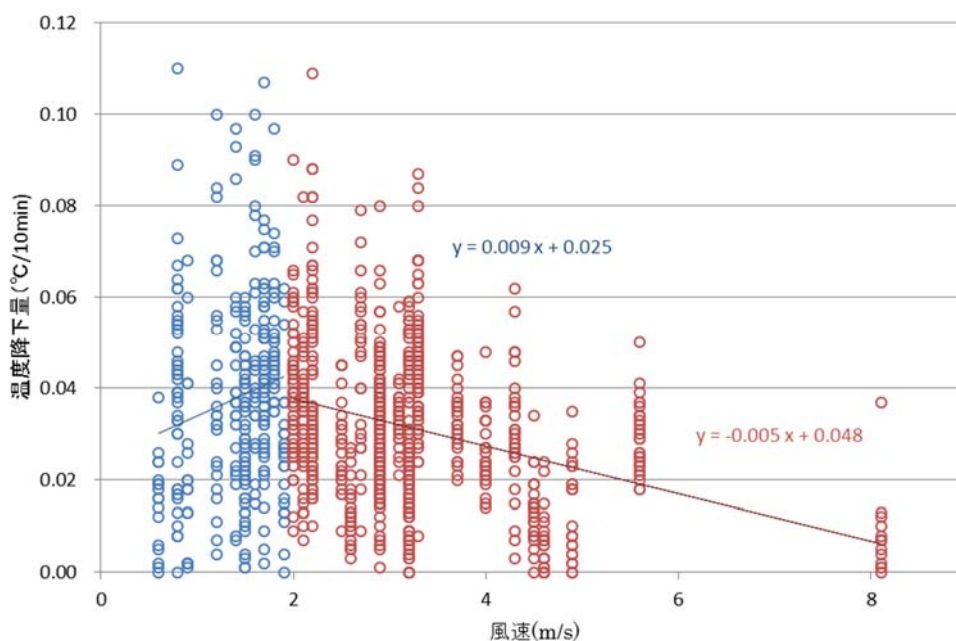


図 4-15 全データと境界値風速 2m/s による回帰直線

##### (2) 境界値別の二群の回帰分析の結果

境界値については、4-4-5 に示したように①温度降下量の最大値が風速約 2 m/s で出現したこと、②地点間気温偏差が風速 2 m/s 以下において急激に拡大することから、風速 2m/s と設定した。

表 4-35 は、風速 2.0m/s を規準に境界値の変更し、境界値未満のデータ群と境界値以上のデータ群の回帰分析結果を示したものである。境界値以上の群については、観測数が多いこともあり、境界値の変更により回帰分析結果に大きな変動はない。しかし、境界値未満の群については、境界値の変更による影響は多く、相関係数が最も高いのは風速 1.9m/s であった。

表 4-35 境界値毎の単回帰分析結果

境界値 風速 (m/s)	境界値未満の群				境界値以上の群			
	観測数	相関係数	説明変数 の係数	p値	観測数	相関係数	説明変数 の係数	p値
1.6	182	0.091	0.006	0.220	917	0.370	-0.006	< 0.001
1.7	206	0.169	0.011	0.015	893	0.360	-0.005	〃
1.8	259	0.201	0.012	0.001	840	0.347	〃	〃
1.9	286	0.251	0.014	< 0.001	813	0.321	〃	〃
2.0	309	0.172	0.009	0.002	790	0.341	〃	〃
2.1	363	0.165	0.008	〃	736	0.325	〃	〃
2.2	415	0.104	0.005	0.035	684	0.337	〃	〃
2.3	496	0.106	〃	0.018	603	0.313	〃	〃
2.4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

#### 4-5-5 考察

上記の結果から、都市の緑地が有する夏季の夜間の冷却効果には、天候、風向風速、雲量が影響することが示唆された。また、風速 2m/s 前後で冷却の仕組みが異なり、風速がこれ以上の場合には接地逆転層と上空大気の混合が起こり、大気から地表への顕熱が供給されるため、周辺大気の温度降下が期待できる。そして、風速が低下するに従いその効果は増加し、風速 2m/s 前後で最大となることが示唆された。

一方、風速がこれ未満の場合は、接地逆転層が強い安定層のため、そこで発生する冷気流の挙動が比較的狭い範囲の気温に大きな影響を与える可能性がある。周辺から流れ込む冷気流が気温を下げる場合があると同時に、丘陵地においては逆に冷気流が流出し、その補償流としての暖気移流が発生し、気温が下がらない場合がある<sup>8)</sup>。

気象条件や地形条件によっては、周辺大気への温度降下が必ずしも期待できないことや、温度降下の空間的広がりが不確実であることが示唆されることから、緑地の配置・計画等の検討に当たっては、効果の不確実性に留意する必要がある。

#### 4-6 まとめ

一連の調査・分析により得られた結果を次にまとめる。

- 1) 港区及びその周辺においては、夜間に内陸から吹く陸風は到達せず、一日を通して SW 系統の風が吹く傾向があることが確認された。7ヶ所の風速観測点間における風向出現率の変動については、風向が SW 系統の時に最も変動係数が小さく、風速観測点間の風向が安定していることが確認された。
- 2) 風速については、風速観測点間で大きく異なり、大手町の風速と比較し最大で 8 割近く減衰する観測点があること、一日を通じて平均風速が 1m/s 未満の観測点が 3ヶ所もあることが確認された。風速については、標高、地形、土地被覆等の影響が大きいことが示唆される。
- 3) 港区内 27ヶ所の気温観測点における平均気温の降下量(2時00分~4時00分、10分間隔)である温度降下量は、雨天日を除く、風向が SW 系統、風速が 2 m/s 以上の場合、風速と雲量に対して有意なマイナスの相関があることが確認された。
- 4) 気温観測点間の気温偏差(2時00分~4時00分の平均偏差)である地点間気温偏差は、雨天日を除く、風向が SW 系統、風速が 2m/s 以上の場合、風速と雲量に対して有意なマイナスの相関があることが確認された。
- 5) 気温観測点を樹林地面積率の上位群と下位群に分けて分析したところ、風速 2m/s 以上 3m/s 未満の場合、樹林地の冷却効果は風速と雲量の増加に伴い低減することが示唆された。また、風速 0.3m/s 以上 2m/s 未満の場合、両群の冷却効果に有意な差は認められなかった。
- 6) 気温観測点 27ヶ所の 44 日間のデータ(N=1,188)を用い、温度降下量を目的変数に、樹林地面積、風速、雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。温度降下量に対しては、雲量の係数が有意なプラス、風速の係数は風速 2.0m/s 以上の場合有意なマイナス、風速 0.3m/s 以上 2.0m/s 未満の場合有意なプラスに寄与することが分かった。また、樹林地面積の係数が有意なプラスであったのは、風速 2m/s 以上 3m/s 未満の区間だけであった。
- 7) 都市の緑地が有する夏季の夜間の冷却効果は、風向風速、雲量等に影響され空間的広がり不確かであることが示唆されることから、緑地の配置・計画に当たっては、効果の不確か性に留意する必要がある。

**【補注】**

- [ 1 ] 恒温槽とは、科学実験で用いられる器具の一種。観測機器を収める槽（気槽又は水槽）にサーモスタットと連動した電熱器やクーラーを取り付け、槽内部の温度を外部の温度と関係なく長時間一定に保つように制御できるようにした容器である。



## 【引用文献】

- 1) 気象庁 (2014) ヒートアイランド監視報告 (平成 25 年), 5-8  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 2) 浜田修子・田中隆文・大田岳史 (2011), ASTER を用いた都市緑地における周辺市街地への冷却効果に関する解析, 日本森林学会大会発表データベース 122, 670-670
- 3) 本條毅・水谷敦司・高倉直 (1998) 都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測, 農業気象, 54, 323-328
- 4) 神田学・森脇亮・高柳百合子・横山仁・浜田崇 (1997), 明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価(1) 1996 年夏季集中観測, 天気, 44, 713-722
- 5) 神田学・森脇亮・横山仁 (1997), 明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価(2) 森林環境気象モデルによるシミュレーション, 天気, 44, 723-731
- 6) 永谷結・梅木清・本條毅・菅原広史・成田健一・三上岳彦 (2008) 新宿御苑における冷氣移動の解析, 農業気象, 64, 281-288
- 7) 入江彰昭 (2003) 気温推計による緑地のヒートアイランドの緩和効果に関する研究, ランドスケープ研究 66, 889-892
- 8) 近藤純正・森洋介 (1982) アメダス (地域気象観測所) データを用いた夜間冷却量の解析と最低気温予報式 (1), 天気, 29, 1221-1233
- 9) 近藤純正・森洋介 (1983) アメダス (地域気象観測所) データを用いた夜間冷却量の解析と最低気温予報式 (2), 天気, 30, 143-150
- 10) 真木雅之・播磨屋敏生 (1984) 北海道地方における夜間冷却量の空間分布, 北海道大学地球物理学研究報告, 43, 1-15
- 11) 野林暁・林陽生 (2009) 小規模なヒートアイランドにおける力学的混合効果に関する観測, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 10, 75-81
- 12) 榊原保志・三枝あかね (2002) 晴天日と曇天日のヒートアイランド強度の違いと夜間ヒートアイランドの成因, 天気, 49, 533-540
- 13) 藤部文昭 (2012) 第 1 章 観測データから見た日本の都市気候, 気象研究ノート 第 224 号 都市の気象と気候, 1-22
- 14) 永谷結・梅木清・本條毅・菅原広史・成田健一・三上岳彦 (2007) 長期観測による新宿御苑のにじみ出し現象の解析, 第 21 回環境情報科学論文集, 507-512
- 15) 中川清隆 (2011) わが国における都市ヒートアイランド形成要因, とくに都市ヒートアイランド強度形成要因に関する研究動向, 地学雑誌, 120, 255-284
- 16) 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條毅・石井康一郎 (2006) 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, 天気, 53, 393-404
- 17) 港区 (2007) 港区みどりの実態調査 (第 7 次) 報告書, 222pp, p-11-24
- 18) 気象庁 (2015) 過去の気象データ検索  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2015.04.01 閲覧

- 19) 東京都 (2015) 大気汚染測定結果ダウンロード  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air\\_pollution/result\\_measurement.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html), 2015.04.01 閲覧
- 20) 港区 (2015) 過去の測定データ  
<http://www.city.minato.tokyo.jp/kankyoushidou/kankyo-machi/kankyo/chosa/taiiki/kako.html>, 2015.04.01 閲覧
- 21) 港区 環境保全部 環境課 (2006) 港区におけるヒートアイランド現象等解析のための基礎資料作成業務報告書, 84pp, p27-67
- 22) 港区 環境・街づくり支援部 環境課 (2007) 平成 18 年度ヒートアイランド現象データ等解析調査業務報告書, 288pp, p29-45
- 23) 港区 環境・街づくり支援部 環境課 (2008) 平成 19 年度ヒートアイランド現象データ等解析調査業務報告書, 305pp, IVp1-45
- 24) 気象庁 (2006) ヒートアイランド監視報告 (平成 17 年夏季・関東地方), 4-6  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 25) 土田誠・吉門洋 (1995) 東京湾岸の冬季の海風, 天気, 42, 283-292
- 26) 萱場互起・青柳暁典・高橋俊二 (2010), 重回帰分析による人工排熱量の推計, 測候時報, 77(4-6), 137-153
- 27) 足立幸穂・木村富士男 (2010) 近年の関東域における夜間を対象とした高温化傾向の要因分析, 気象影響・利用研究会会報, 28, 5-13
- 28) 高橋一之・高橋日出男 (2013) 夏季夜間の局地風系に及ぼす東京都心域のヒートアイランド現象の影響, 天気, 60, 505-519
- 29) 高橋一之・高橋日出男 (2014) 夏季夜間の局地風系に及ぼす東京都心域のヒートアイランド現象の影響 (続報), 天気, 61, 525-540
- 30) 気象庁 (2007) ヒートアイランド監視報告 (平成 18 年夏季-関東・近畿地方), 12-24  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 31) 気象庁 (2008) ヒートアイランド監視報告 (平成 19 年冬・夏-関東・近畿地方), 22  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>, 2015.04.01 閲覧
- 32) Acevedo, O. C. and D. R. Fitzjarrald (2003) In the core of night-effects of intermittent mixing on a horizontally heterogeneous surface. , *Boundary-Layer Meteorology*, 106(1), 1-33.
- 33) 紺野祥平・大久保さゆり・菅野洋光 (2015) 夜間冷却量と気象要素の日々の関係とその季節性について-気象観測データを用いた検証-, 天気, 62, 97-103
- 34) 川村裕志 (2011) 気象庁の地上気象観測測器  
<http://www.metsoc.jp/kyoikuhukyu/resume/2011/Kawamura.pdf>, 2015.04.01 閲覧

- 35) 小島倫直・成田健一・三坂育正・菅原広史・土屋直也 (2014) 都市内の斜面緑地における夜間冷気のにじみ出し現象 その5 理想モデルと GIS を用いた冷気流のパラメーターの地図化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 859-860

## 第5章 新たな緑視率による都市景観の快適性評価

### 5-1 植物の葉の色度領域を用いた緑視率の新たな計測と解析

#### 5-1-1 目的と理論的背景

緑視研究に関しては、三浦<sup>1)</sup>が緑空間の心理的機能と定量的評価についての体系化を試みるとともに、青木<sup>2)</sup>が1974年頃から始まった緑視の研究についての歴史をまとめている。第2章の2-3で示したように、緑視率を用いた景観評価に関する研究事例は数多くある。しかしながら、緑視率については、緑視率に含める緑の範囲又は緑視率の定義、及び計測方法に関する課題があり、これらが密接に関連し一般化・標準化を困難にしており、環境指標化に向けて更に詳しく解析することが必要である。

こうした背景を踏まえ、本章は、植物の葉の色がクロロフィルの反射特性に起因して緑に見えること<sup>3),4)</sup>に着目し、植物の葉の色を定点観測により色度を定量的に測定し、緑に見える範囲（以下、「緑視色度領域」という）を精度よく識別することを試みる。さらにこの識別基準を用い、画像の緑視率を客観的な定量データとして、正確・迅速に計測できる計測方法を提案するものである。

実在するすべての色は、人間の網膜に存在する受容器（3種類の錐体）の性質により、R(赤)、G(緑)、B(青)の色刺激の組合せとして定量化することが可能である。色刺激として、R(赤)に700nm、G(緑)に546.1nm、B(青)に435.8nmの単色を用いた場合の三刺激値がCIERGB表色系と呼ばれている。任意の色光は、その色も強さも、すべて三刺激値の組合せ(R,G,B)値で表現され、この3変数を3次元表示することにより、すべての色を3次元空間で表現することができる。1998年10月IEC(国際電気標準会議)の勧告により、色空間の国際標準規格としてsRGB(standard RGB)が定められ、今日パソコン用ディスプレイやデジタルカメラ、プリンタなどのさまざまなデバイスはこの規格をサポートしている。

しかしながら(R,G,B)値は、物理量としての色刺激を機械的・定量的に表示する手法であり、3種類の錐体の分光感度など色覚メカニズムは反映されておらず、人間が感じる色の差(色差)には対応していない。このため、(R,G,B)値を人工的な等色関数を用いて変換し<sup>[注1]</sup>、人の目による等しい色差感を表したものが、均等色度図(例えば、図5-1のCIE1976UCSu'v'色度図<sup>[注2]</sup>)であり、輝度の等しい色の感覚差が色度図上の幾何学的距離にほぼ比例するように補正されている。

また、色彩学では近年、カテゴリカルカラーという概念が用いられるようになった。人間の色知覚は網膜にある3種類の錐体視細胞の出力比で決まるのが一般原理であるが、大脳中枢では、色はグループを形成して知覚される。たとえば、紫に近い赤も、オレンジに近い赤も「赤」というグループで知覚する。これをカテゴリカル色知覚と呼ぶ。米国のBarlin & Key<sup>5)</sup>により言語学的に発見された色の特性で、発達した言語にはどの言語でも11のカテゴリ(赤、橙、黄、緑、青、紫、茶、桃、白、黒、灰)が存在すると言われている。最近の研究で、チンパンジーの行動特性や、大脳生理学においても、カテゴリの特性が確認されている<sup>6)</sup>。図5-2にCIE1976UCSu'v'色度

図上のカテゴリカルカラー分類を示す。

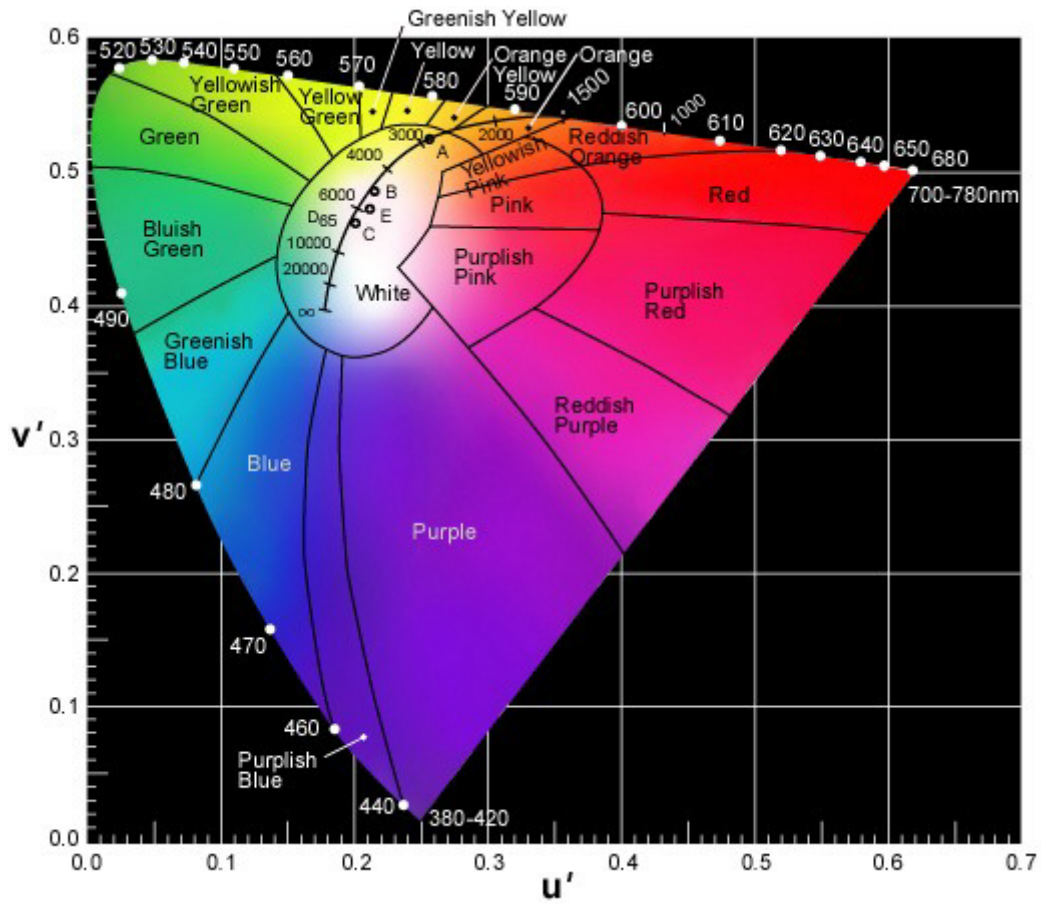
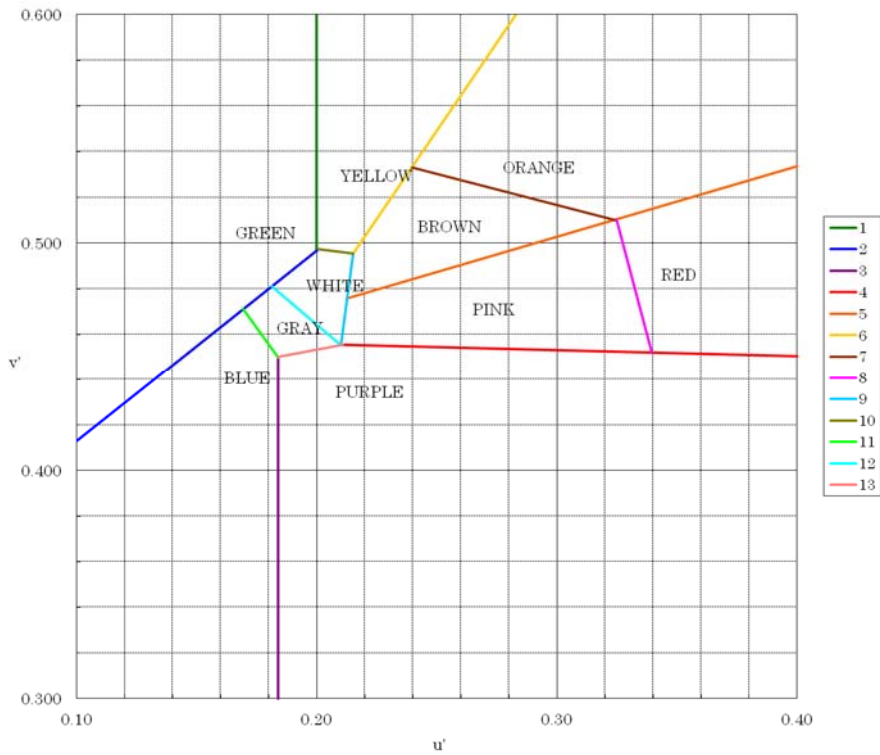


図 5-1 CIE1976UCSu'v'色度図

出典 : <http://www.color-theory-phenomena.nl/10.03.htm>, 2015.11.23



1v	u = 0.2			8v	v = - 4.000 u + 1.710
2v	v = 0.840 u + 0.350			9v	v = 8.000 u - 1.025
3v	u = 0.159			10v	v = - 0.133 u + 0.521
4v	v = - 0.026 u + 0.460			11v	v = - 1.429 u + 0.677
5v	v = 0.309 u + 0.418			12v	v = - 0.893 u + 0.621
6v	v = 1.544u + 0.202			13v	v = 0.192 u + 0.420
7v	v = - 0.271u + 0.591				

図 5-2 CIE1976UCSu'v'色度図上のカテゴリカルカラー領域  
出典：アドバンスシステムズ株式会社

具体的には、撮影した画像を用いて、植物の葉の色が CIE1976UCSu'v'色度図上でどのように変化するかを求め、葉の色度の範囲を CIE1976UCSu'v'色度図上で傾斜楕円形として特定し、これを緑視率の識別基準としようとするものである。CIE1976UCSu'v'色度図は均等色空間であるため色差感覚が色度図内の距離とほぼ等しいので、植物の葉の「緑視色度領域」を楕円形で指定できる。このことから、CIE1976UCSu'v'色度図を用いて「緑視色度領域」を傾斜楕円形で指定すれば、明度に影響されずに植物の葉の部分を画像の中からより正確に特定することが期待できる。

CIE1976UCSu'v'色度図空間における、「緑視色度領域」の範囲は、次の式①となる。なお、u'軸 v'軸の値は無名数である。

$$\begin{aligned}
\alpha &= \cos^2\theta / Ga^2 + \sin^2\theta / Gb^2 \\
\beta &= \sin^2\theta / Ga^2 + \cos^2\theta / Gb^2 \\
\gamma &= \sin\theta \times \cos\theta \times (-1 / Ga^2 + 1 / Gb^2) \\
\alpha Gu'^2 + \beta Gv'^2 + 2\gamma Gu' Gv' &\leq 1 \quad \dots \quad \textcircled{1}
\end{aligned}$$

Gu'は CIE1976UCSu'v'色度図 u'軸上で「緑視色度中心」からの距離、Gv'は CIE1976UCSu'v'色度図 v'軸上で「緑視色度中心」からの距離、Gaは「緑視色度中心」からのu'軸上の距離、Gbは「緑視色度中心」からのv'軸上の距離、θは「緑視色度中心」を軸とした傾斜角度である。

遠景の樹木などの緑は空気中の水分などにより彩度が低くなる(無彩色領域に向かう)ため、その色度は均等色度図(CIE1976UCSu'v'色度図)において、「緑視色度中心」から光源方向へ移動する。この点を考慮し、均等色度図(CIE1976UCSu'v'色度図)空間でカテゴリカルカラー分類のグレイ領域(白、灰、黒)にある「緑視色度領域」を取り除き「緑視率」を計測する。緑視率の算出方法は、デジタル画像処理により、画像からグレイ領域を除いた「緑視色度領域」の画素数を緑視量として抽出し、画像中の全画素数に占める緑視量の割合を緑視率として算出するものである。

なお、この計測方法は画像中の「緑視色度領域」を緑と識別することから、以下の点に留意する必要がある。

(緑と識別しないもの)

ベニカナメモチやクス等赤い若葉の葉、赤や黄色に紅葉した葉、花や樹幹の部分、光が反射しない影の部分、遠景の樹木等

(緑と識別するもの)

水面や鏡等に反射した樹木の緑、樹冠下の道路面等の葉群下部(可視光の内、緑の光がやや多くなる)、「緑視色度領域」内の色で被覆された人工物(塗装、タイル等)等

## 5-1-2 計測と解析の方法

### (1) 対象緑地

国営昭和記念公園（立川市、昭島市）を対象に、葉の活動期で葉の量や色が安定している 6 月～9 月に、定点観測を行なった。定点観測地点及び主な植物は、図 5-3、表 5-1 のとおりである。



図 5-3 定点観測地点（原図：国営昭和記念公園 園内マップ 7）



表 5-1 定点観測地点と主な植物

地点番号	地 点 名	主な植物
①	あけぼの口付近 (3点)	トチノキ
②	みどり橋付近	ケヤキ、イチョウ
③	カナル噴水並木	イチョウ、マメツゲ
④	であいの広場付近 (2点)	イチョウ
⑤	ふれあい橋付近	ヒマラヤスギ、ツツジ
⑥	イチョウ並木 (2点)	イチョウ
⑦	うんどう広場付近	トチノキ
⑧	西立川駅前	トチノキ
⑨	眺めのテラス付近	ケヤキ
⑩	水鳥の池付近 (3点)	ケヤキ、プラタナス
⑪	いちょう橋付近	イチョウ
⑫	みんなの原っぱ	ケヤキ、芝
⑬	桜の園	サクラ、芝
⑭	日本庭園	マツ
⑮	立川口駐車場	マテバシイ
⑯	霧の森	シラカシ、クスノキ
⑰	地底の泉	ケヤキ、シラカシ
⑱	立川口広場	ケヤキ、芝

撮影方法は、緑視率に関する文献に記された知見をもとに、人間が広い場所で全体を見渡す感じのする自然な視野範囲とし、デジタルカメラにより、人の視線に相当する高さ 1.5m で撮影した。詳細は次の通りである。

- ・ 撮影機材：EOS Kiss Digital N
- ・ 撮影日時：2008年 6～9月の毎月中旬 1回、10時～14時
- ・ 天候条件：快晴、薄曇り
- ・ 撮影条件：三脚を使用し水平に、できるだけ順光下で撮影
- ・ 設定条件：①ホワイトバランス：マニュアル (ExpoDisc Filter) ②絞り (Av Mode) : F11 ③レンズ焦点距離：18mm (35mm フィルム換算で焦点距離 29mm 相当、視野角：65.5°[水平画角]×46.4°[垂直画角]×75.4°[対角線画角]) ④ピクチャーモード：忠実設定 ⑤撮影データ：JPEG、sRGB ⑥ISO 感度：200 ⑦オートフォーカス (AF) モード：One Shot ⑧測光モード：評価測光

## (2) 葉の色度領域の特定

次に、これらの画像データを基に葉の色度領域を特定する具体的方法について示す。

定点観測地点で撮影した画像を用いて、1画像当たり約5～10箇所の緑色の葉の測点（大きさ25～100ピクセル相当）を抽出し、各月約200箇所の測点の全画素（R, G, B）からCIE1976UCSu'v'色度を求めた。これを葉の色度データとして取得した。多くの緑の要素が含まれるように目視により枝や幹等の情報ノイズを除去する方法として、樹冠等で属性が同一の部分を円形に測定しその平均値を用いた。

CIE1976UCSu'v'色度の計測には、デジタルカメラ（CANON EOS）装備の色彩環境計測装置（CCOM21;アドバンスシステムズ社製）を用いて、その画像処理データより色度を抽出した。この装置は、デジタルカメラから取り込んだ色彩画像を色度分析し、色彩環境の快適度を数値化するものである。

各月の葉の色度をCIE1976UCSu'v'色度図にプロットした上で、u'v'の最大値、最小値、平均値を求め、6～9月における葉の色度が分布する領域（以下「緑視色度領域」という）を特定した。CIE1976UCSu'v'色度図は均等色空間であり色差感覚が色度図内の距離とほぼ等しいことから、葉の色度領域を楕円形で指定することができる。

## (3) 各種緑視率の算出

次に、緑視率の測定データを取得するため、表5-2の12地点で2008年6月～2009年5月に撮影した画像を用いて、目視による方眼法により緑視率を測定した。一般に緑視率に含める“緑”については、緑被率との関連から植物の属性（樹木の幹・枝・葉・花）や水面等を含めることが多い（属性緑視率）が、本章では心理学的・統計学的に有意と考えられる葉の緑視領域に限定する（色度緑視率）。

具体的には、モニター上で計測用の画像を方眼（45×30）に分割し、各方眼に占める緑（属性が植物の葉であるもの）の割合が50%以上と肉眼で判定できる場合に当該方眼に1を入力し、全て判定後にWord2003（Microsoft社）の文字カウント機能を利用し総数の集計を行い、全方眼数（1,350）に対する割合として緑視率を算定した。方眼の切り方を変更し計3回行い、その平均値を緑視率の測定データとした。以下、「方眼法」という。

上記の画像を用いて、同様にCIE1976UCSu'v'空間の緑視色度領域からグレイ領域を除いた緑視データ（緑視率）を算出した。また、緑視率の計測方法として画像の全画素について、各画素の（R, G, B）値からG>R, Bである画素数を集計し、全画素数に対する割合として緑視率を算定している事例（例えば、特開2001-142393号<sup>8)</sup>）があることから、この方法（以下、「色度G>R,B法」という。）による緑視データも算出した。なお、G>R,Bの測定には前述の色彩環境計測装置を使用した。

その上で、葉の量や色が比較的安定する7月の12地点の画像、及び葉色の変化特性が異なる常緑樹、落葉樹、芝を含む「カナル噴水並木」の12箇月の画像を対象に、肉眼で測定した色度緑視率、CIE1976UCSu'v'空間の緑視色度領域による緑視デ

ータ、(R, G, B) 値の  $G > R, B$  による緑視データで相関分析を実施した。次に、この分析結果を吟味し、7月の「カナル噴水並木」画像の重複を除く全23画像のデータを用いて回帰分析を実施した。

なお、緑視率の年間変動を計測するために、表5-2及び図5-4に示す定点観測地点で撮影を行なった。

表 5-2 緑視率を一年間定点観測した地点

地 点 名	地点番号
カナル噴水並木	③
ふれあい橋付近	⑤
イチョウ並木	⑥
うんどう広場付近	⑦
西立川駅前	⑧
水鳥の池付近 (その1)	⑩
水鳥の池付近 (その2)	⑩
みんなの原っぱ	⑫
桜の園	⑬
立川口駐車場	⑮
霧の森	⑯
地底の泉	⑰

カナル噴水並木



ふれあい橋付近



イチョウ並木



うんどう広場付近



西立川駅前



水鳥の池付近(その1)



水鳥の池付近(その2)



みんなの原っぱケヤキ



桜の園



立川口駐車場



霧の森



地底の泉



図 5-4 緑視率を一年間定点観測した地点の画像

### 5-1-3 結果及び考察

#### (1) 色度データの整理

6月から9月における葉の色度分布を図5-5から図5-12に示す。各月約200箇所の測点の全画素(R, G, B)値から CIE1976UCSu'v'色度を求め、CIE1976UCSu'v'色度空間にプロットしたものである。図5-5は、6月における葉の色度分布をCIE1976UCSu'v'色度図上に示したものであり、色度図上の境界線(区分線)はカテゴリカルカラー分類による11色(白、灰、黒はGray領域)境界線である。緑視データに関連するカテゴリカルカラーの境界線は、Green / Blue、Gray、White ( $v' = 0.840$ ,  $u' = 0.350$ )、Green / Yellow ( $v' = 0.2$ )である。

色度分布が集中する部分を拡大したものが図5-6である。葉の色度がカテゴリカルカラーの概ねGreen領域内に分布し、しかも比較的狭い範囲に集中していた。7月から9月も同様の傾向があった。

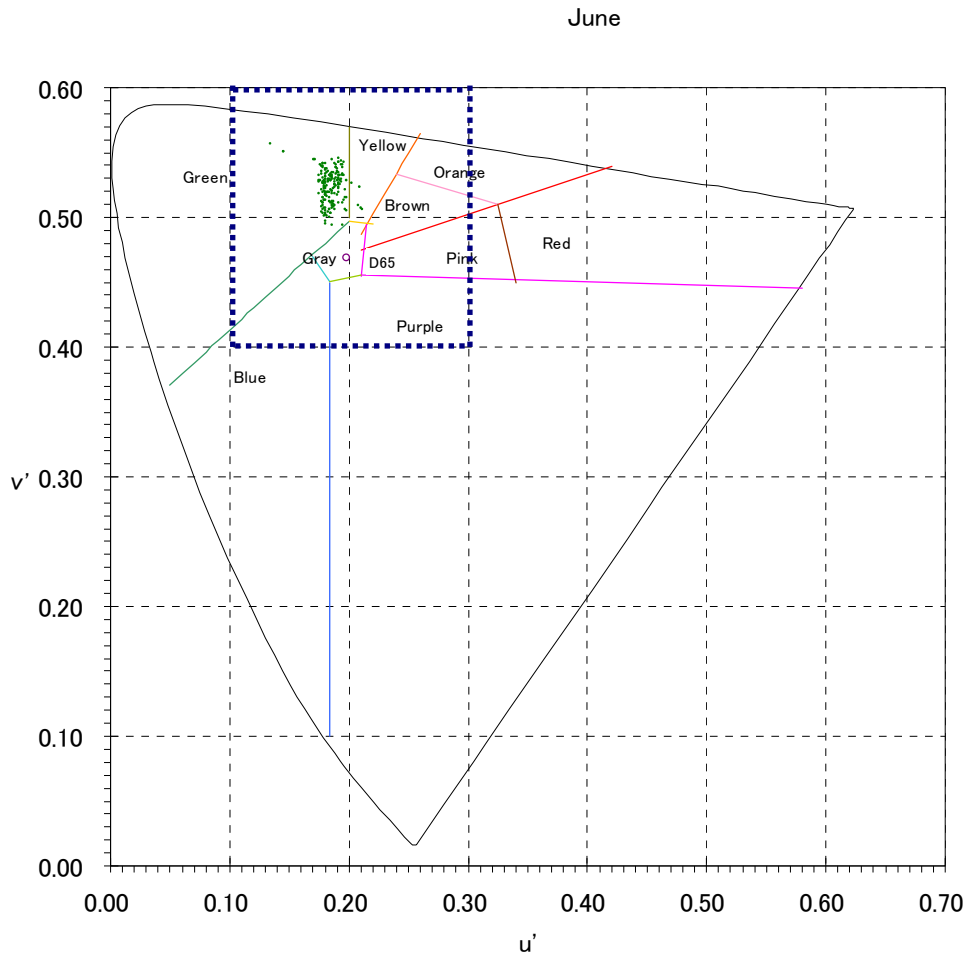


図 5-5 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（6月）

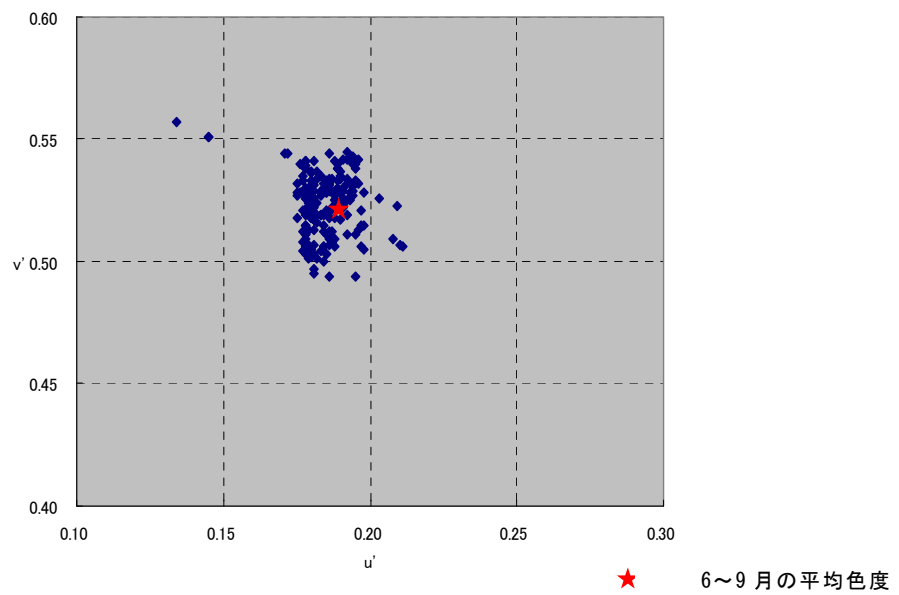


図 5-6 葉の色度分布（6月） 図 5-5 点線内拡大図

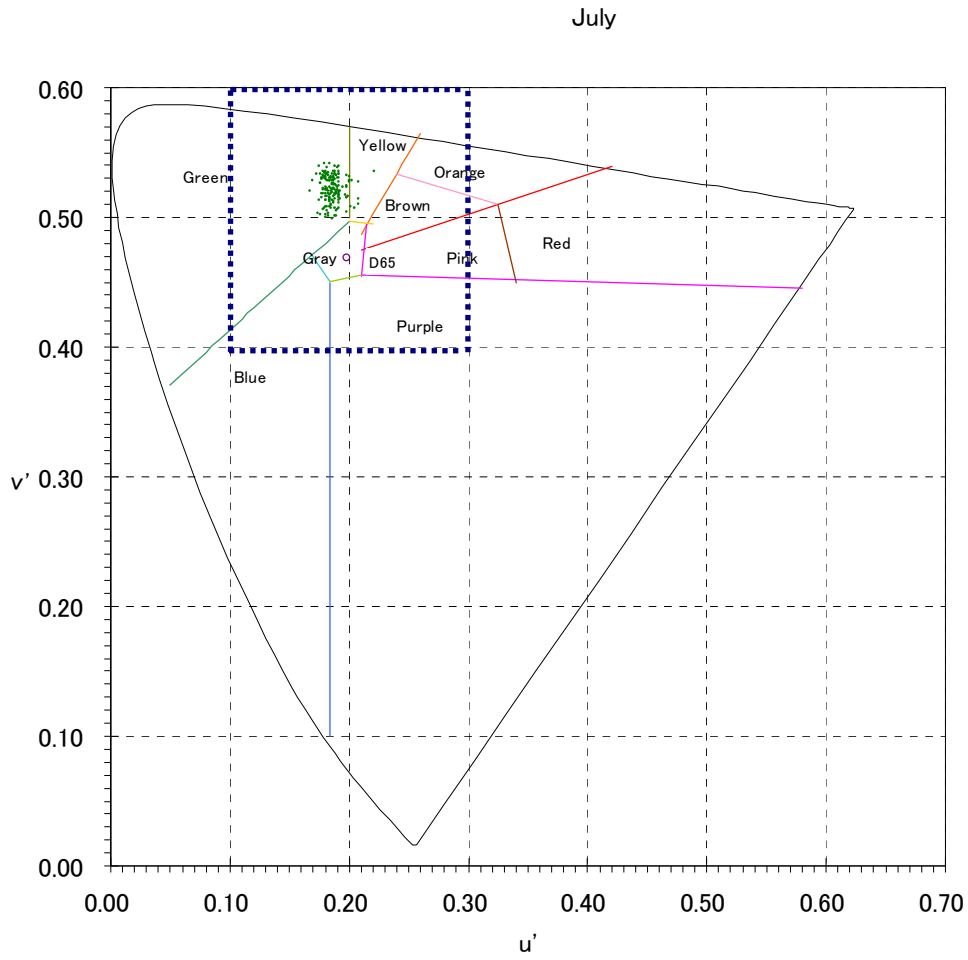


図 5-7 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（7月）

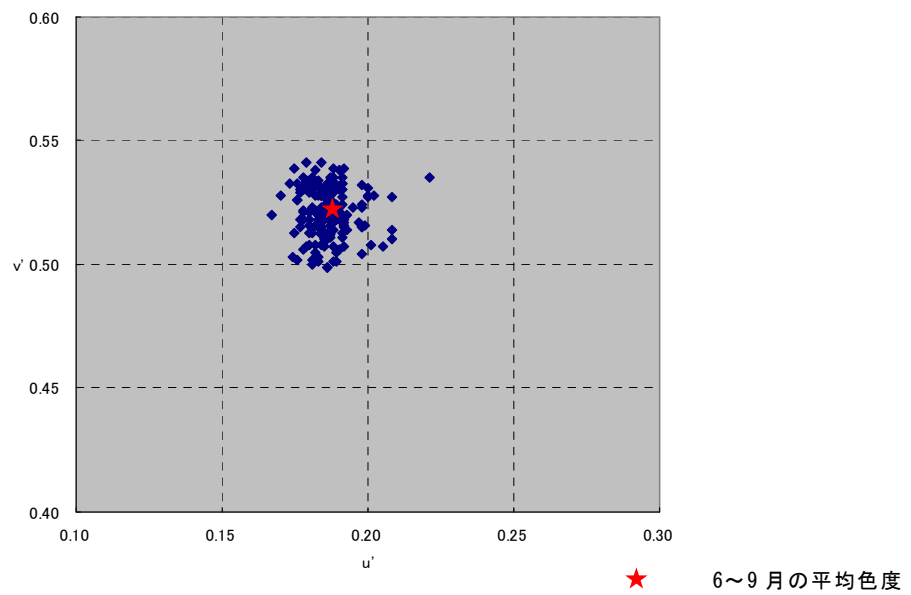


図 5-8 葉の色度分布（7月） 図 5-7 点線内拡大図

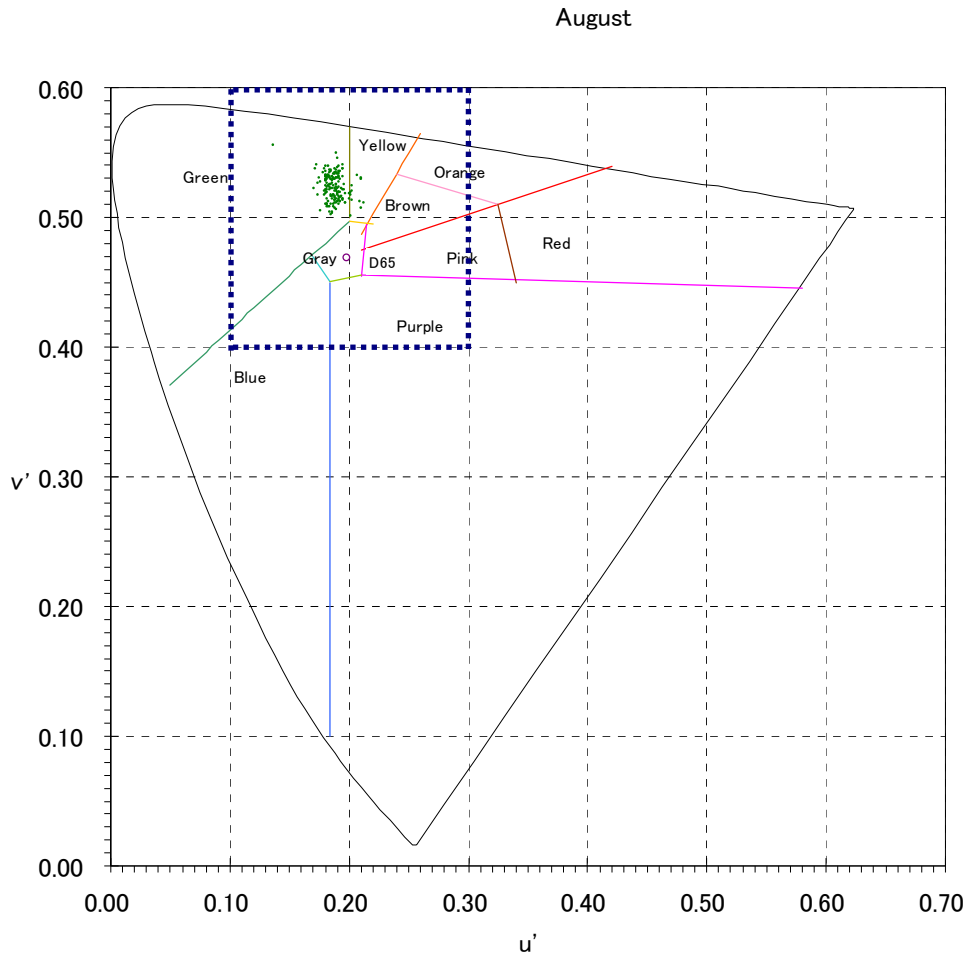


図 5-9 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（8月）

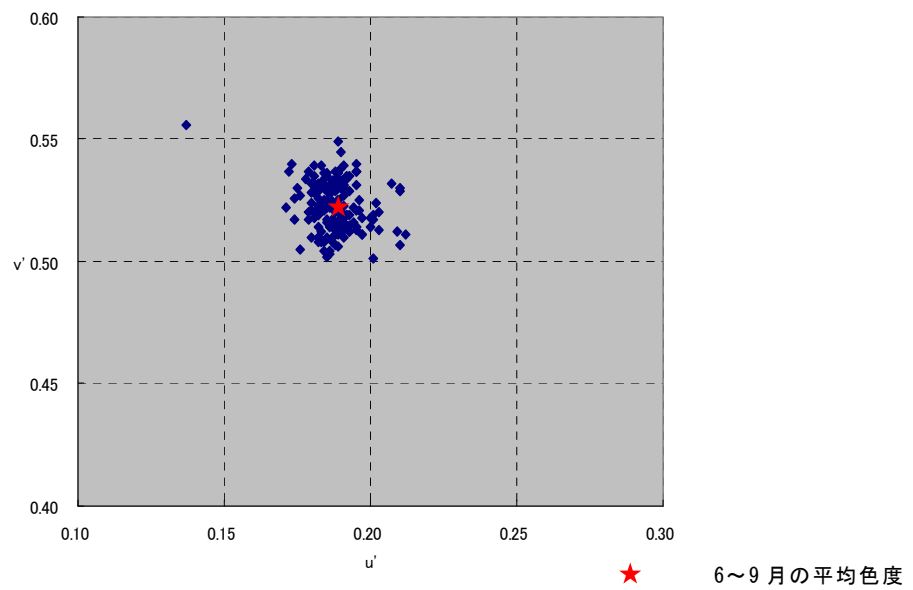


図 5-10 葉の色度分布（8月）図 5-9 点線内拡大図



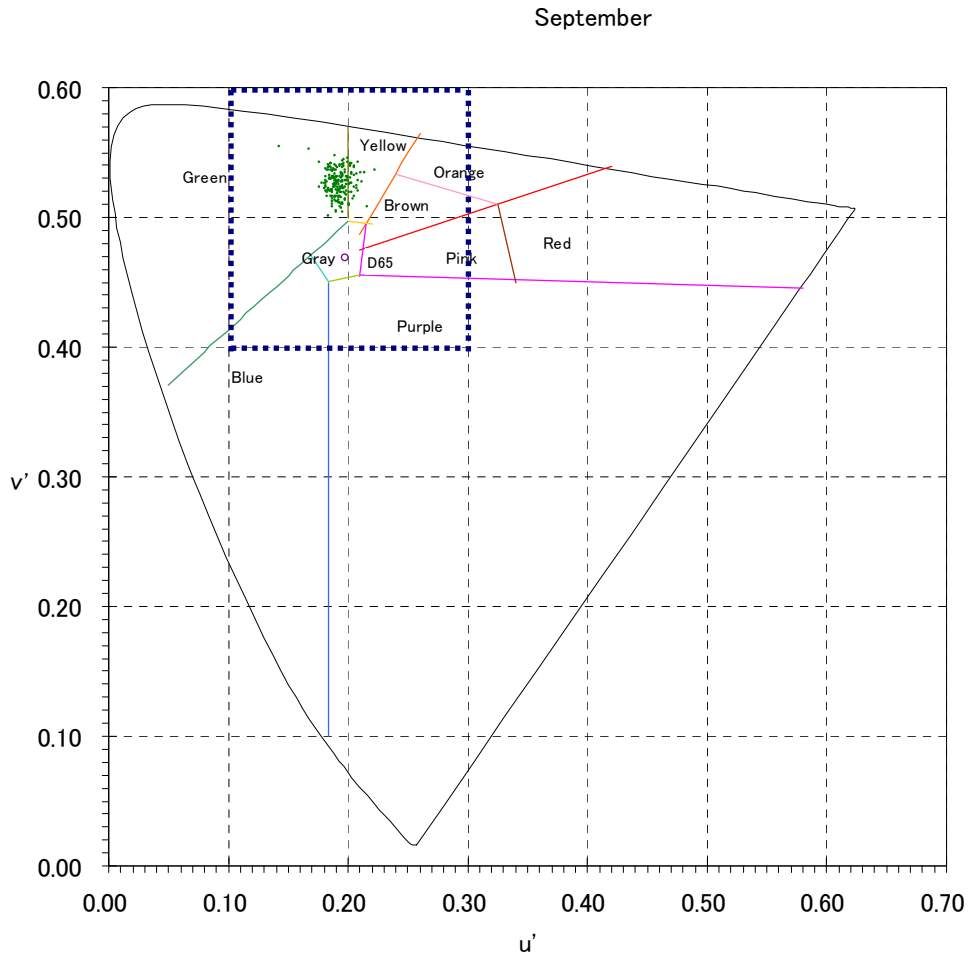


図 5-11 CIE1976UCSu'v'色度図における葉の色度分布（9月）

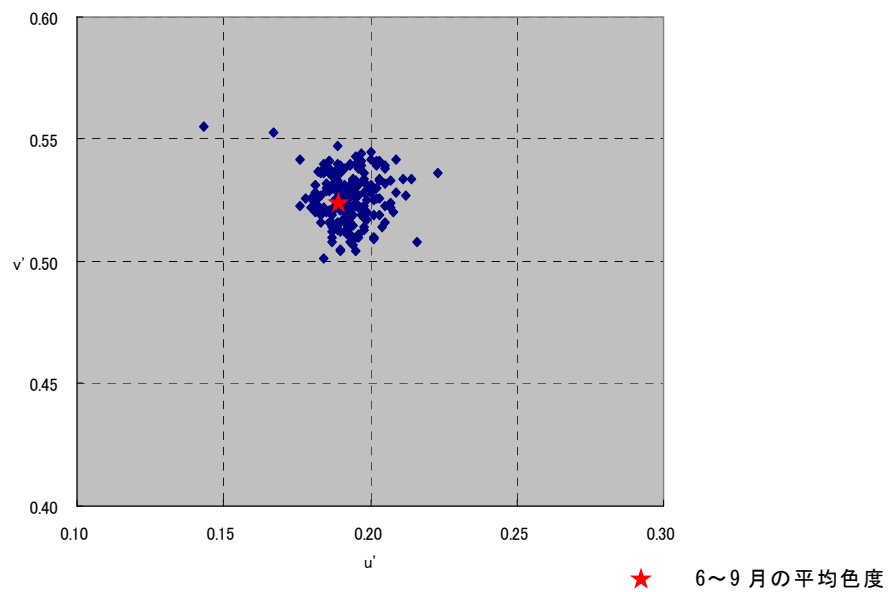


図 5-12 葉の色度分布（9月） 図 5-11 点線内拡大図

表 5-3 に CIE1976UCSu'v'空間における葉の色度の基本統計量を示す。

表 5-3 定点観測地点で撮影した画像中の植物の葉の色度 u'v'値

	6月		7月		8月		9月	
	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'
平均値	0.185	0.523	0.186	0.522	0.188	0.523	0.193	0.526
最頻値	0.178	0.528	0.187	0.530	0.189	0.530	0.189	0.530
標準偏差	0.009	0.013	0.007	0.010	0.008	0.010	0.009	0.010
最小値	0.134	0.494	0.167	0.499	0.137	0.501	0.143	0.501
最大値	0.211	0.557	0.221	0.541	0.212	0.556	0.223	0.555
標本数	185	185	173	173	171	171	198	198

## (2) 緑視色度領域の特定

葉の色度が CIE1976UCSu'v'色度図上でどのように変化するかを求め、葉の色度の範囲を CIE1976UCSu'v'色度図上で傾斜楕円形として特定し、これを緑視率の基準としようとするものである。

表 5-3 より各月の平均色度 u'v'値から、CIE1976UCSu'v'色度図上における色度の中心点（以下、「緑視色度中心」という）を求める。

6～9月の平均色度 u'v'値である①が緑視色度中心である。

$$u'=0.188 \quad v'=0.523 \quad \text{①}$$

緑視色度中心と光源の中心 (u'=0.1978, v'=0.4684) を結ぶ線の傾斜角度は、図 5-13 より約 10°である。

次に、各月の色度 u'v'値の最小値と最大値から、葉の色度の均等色度図上における距離を求め、緑視色度中心からの平均距離を求める。

$$u' : 0.045 \quad v' : 0.032 \quad \text{②}$$

したがって、緑視色度領域は、①を中心とし、②を中心からの平均距離とする楕円に囲まれた③の範囲である。

$$u' : 0.143 \sim 0.233 \quad v' : 0.491 \sim 0.555 \quad \text{③}$$

なお、緑視率の算出にあたっては、緑視色度領域からカテゴリカルカラーのグレイ領域を除いた緑視量を用いる。このため、他の葉などの陰より葉の部分が黒色に見える場合は除外されることになる。

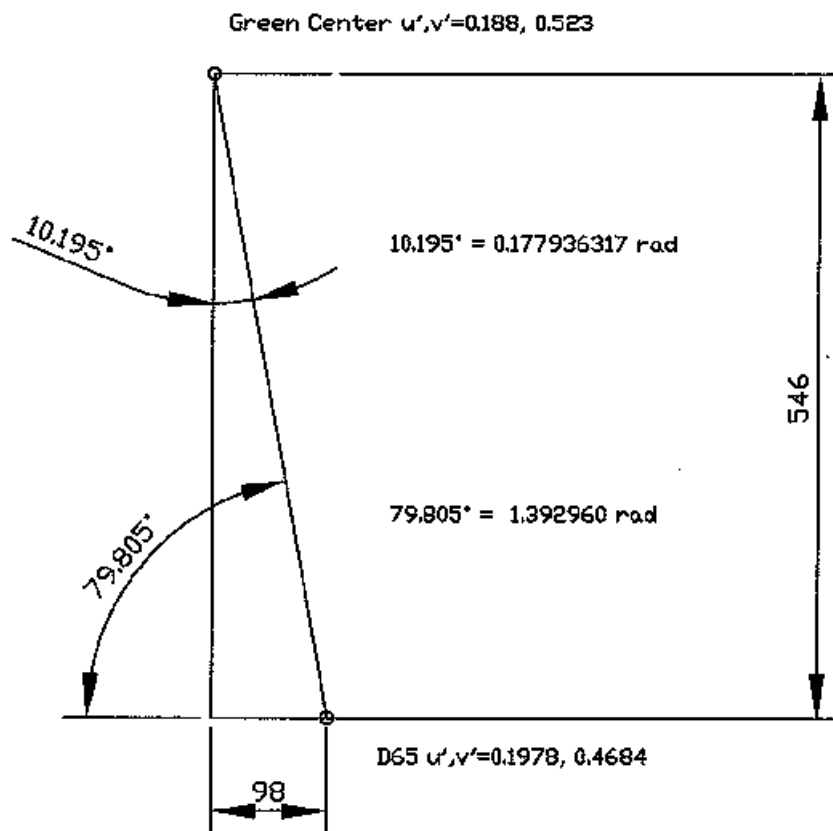


図 5-13 楕円の傾斜角度

### (3) 緑視色度領域による画像分析

次に、定点観測地点で7月に撮影した画像(図5-14、図5-17)を用いて、画像の全画素から緑視色度領域に含まれる画素を抽出し、色度 $u'v'$ 値のヒストグラム(図5-15、図5-16、図5-17)を作成した。画像毎の色度 $u'v'$ 値は、樹種の組合せにより最頻値等は異なるものの、ほぼ同様の分布である。



図 5-14 カナール噴水並木(7月)の画像

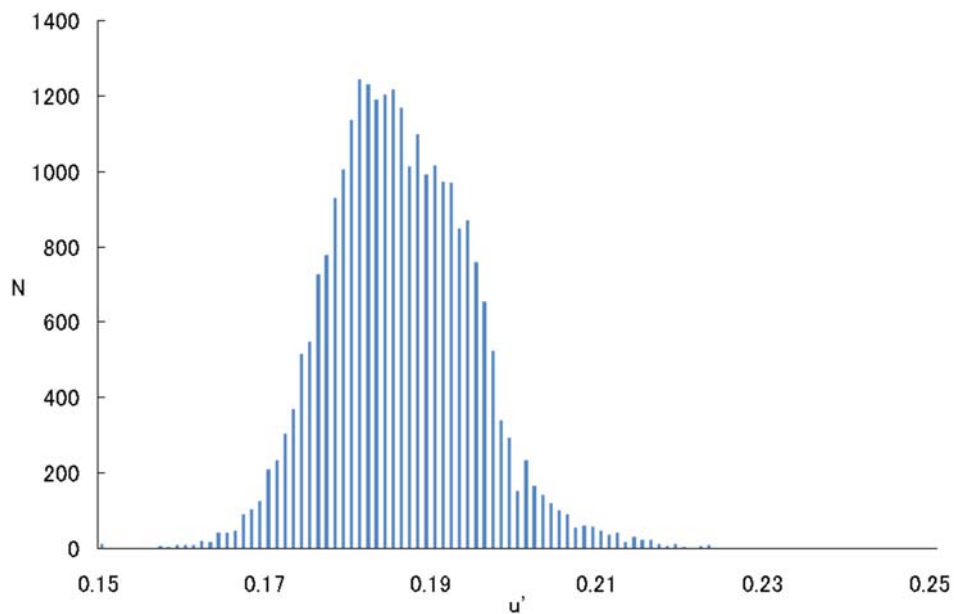


図 5-15 図 5-14 の  $u'$  値のヒストグラム( $N=26,456$ )

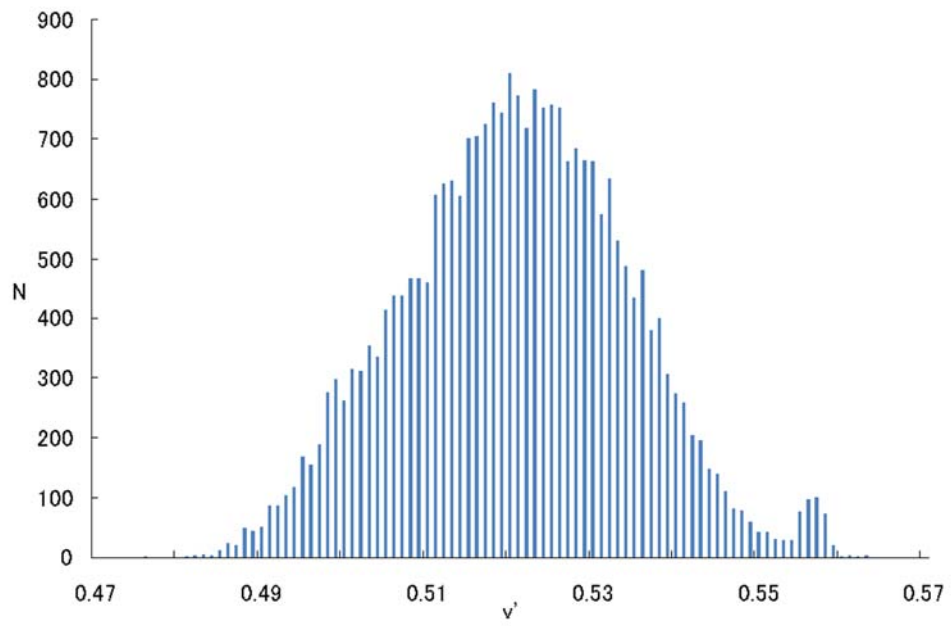


図 5-16 図 5-14 の  $v'$  値のヒストグラム(N=26,456)



図 5-17 ふれあい橋付近（7月）の画像

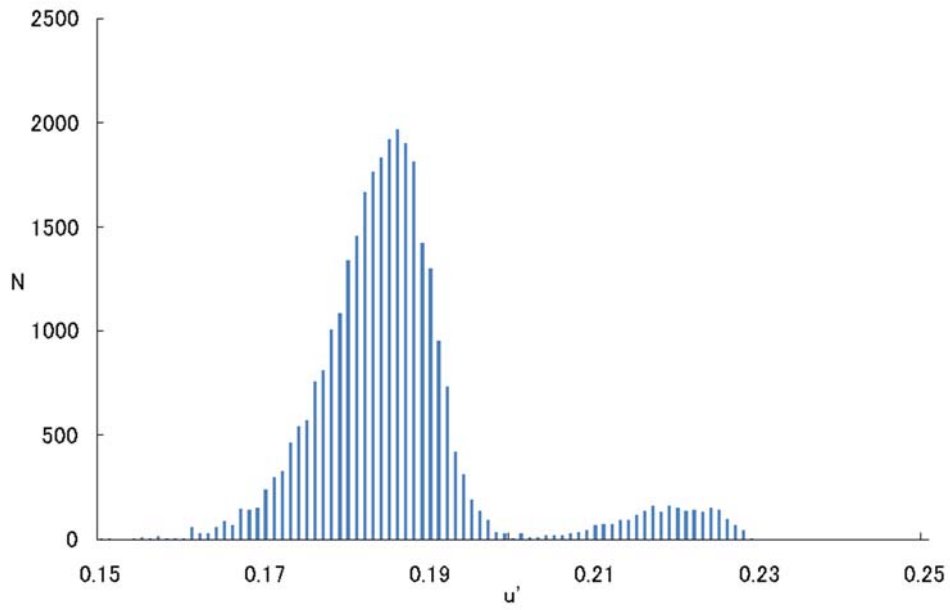


図 5-18 図 5-17 の  $u'$  値のヒストグラム (N=30,698)

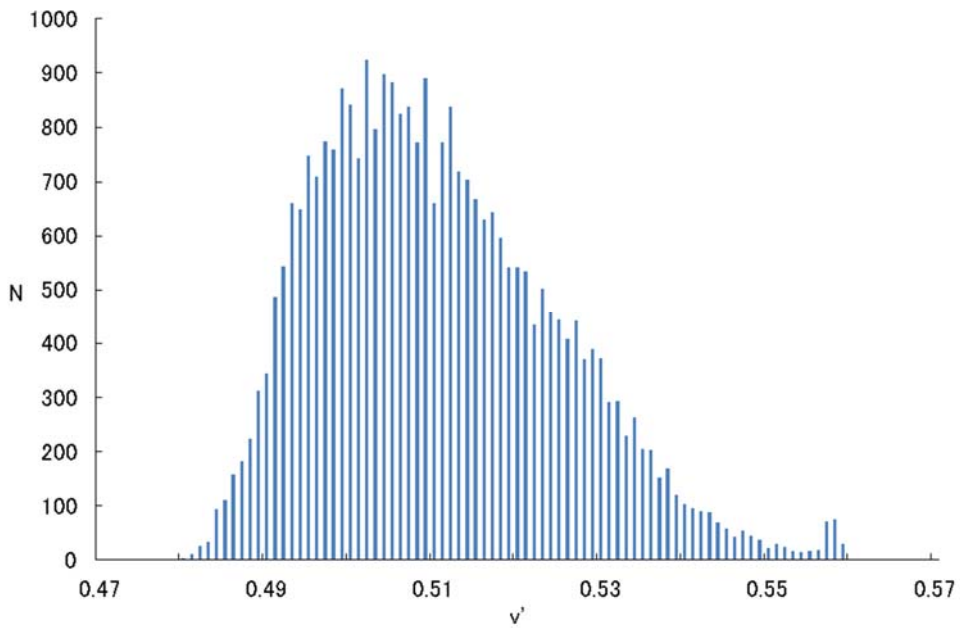


図 5-19 図 5-17 の  $v'$  値のヒストグラム (N=30,698)

#### (4) 緑視率の算出

CIE1976UCSu'v' 空間の緑視色度領域を用いて緑視率を算出する方法は、画像からカテゴリカルカラーのグレイ領域を除いた「緑視色度領域」の画素数を緑視量として抽出し、画像の全画素数に占める緑視量の割合として算出するものである（以下、「緑視色度領域法」という）。

12 地点の定点観測地点で撮影した画像を用いて、「緑視色度領域法」で測定した緑視率と、5-1-(3)で述べた目視による「方眼法」及び画像 RGB 色度の  $G > R, B$  による「色度  $G > R, B$  法」で緑視率を算出した。2008 年 7 月に撮影した 12 画像の緑視率を表 5-4 に、定点観測地点であるカナル噴水並木で 2008 年 6 月から 2009 年 5 月に掛けて撮影した 12 画像の緑視率を表 5-5 に示す。それぞれの散布図を図 5-20、図 5-21 に示す。

表 5-4 定点観測地点の緑視率 (%)

観測地点	緑視色度領域法	方眼法	色度 $G > R, B$ 法
1	34.9	34.9	40.6
2	35.5	36.2	49.1
3	55.2	54.0	63.8
4	55.3	52.2	57.3
5	31.7	31.3	36.1
6	38.8	36.0	40.0
7	40.3	40.4	42.0
8	45.4	43.9	41.7
9	63.4	63.8	65.0
10	10.3	12.5	19.2
11	50.1	37.4	39.2
12	45.4	46.1	59.2

表 5-5 カナール噴水並木の緑視率 (%)

観測時期	緑視色度領域法	方眼法	色度 G>R,B 法
6月	35.8	36.7	41.7
7月	34.9	34.9	40.6
8月	35.4	37.0	40.0
9月	36.5	36.7	37.5
10月	36.2	35.4	35.0
11月	21.5	19.0	18.8
12月	11.8	12.6	15.2
1月	11.5	11.7	9.2
2月	12.1	12.3	9.8
3月	13.5	14.8	11.8
4月	31.4	30.3	22.6
5月	38.4	40.1	35.4

なお、表 5-4 の観測地点 11 (霧の森) では、緑視色度領域法の緑視データ(50.1%)が方眼法の緑視率 (37.4%) と大きく異なることから、画像を注意深く吟味したところ、人工霧によりシラカシ等の幹や枝に苔が生え暗緑色を呈していることが判明した。目視による方眼法では除外した部分である。

(5) 緑視率の相関分析

定点観測地点の緑視率の相関行列を表 5-6 に、カナール噴水の緑視率の相関行列を表 5-7 に示す。いずれの結果も、相関係数は緑視色度領域法が色度 G>R,B 法よりも高かった。

表 5-6 定点観測地点の緑視率の相関行列

	方眼法	緑視色度領域法	色度 G>R,B 法
方眼法	1		
緑視色度領域法	0.961	1	
色度 G>R,B 法	0.936	0.868	1

表 5-7 カナール噴水並木の緑視率の相関行列

	方眼法	緑視色度領域法	色度 G>R,B 法
方眼法	1		
緑視色度領域法	0.994	1	
色度 G>R,B 法	0.955	0.945	1



(6) 緑視率の回帰分析

方眼法による緑視率を目的変数とし、緑視色度領域法または色度 G>R,B 法による緑視率を説明変数にそれぞれ回帰分析を実施した。なお、表 5-4 及び表 5-5 の画像から、重複を排除し 23 画像の緑視率を用いた。

表 5-8 に回帰分析の結果を示す。p 値及び相関係数 (r) から緑視色度領域法の方が色度 G>R,B 法より精度よく再現できることが判明した。回帰式は以下のとおりである。

$$Y = 0.928X + 1.803 \quad (\text{決定係数: } r^2 = 0.962)$$

Y : 方眼法の緑視率 (%), X : 緑視色度領域法の緑視率

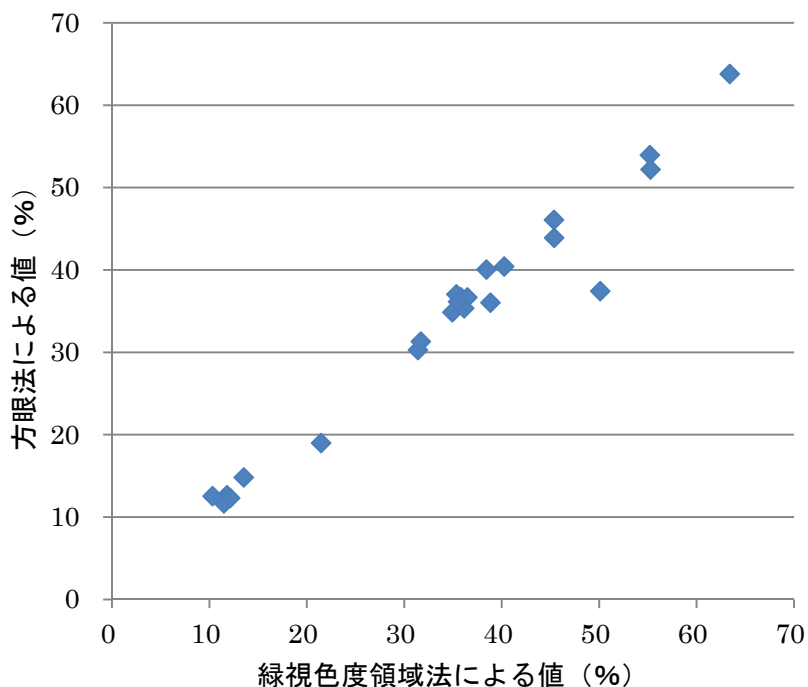


図 5-20 方眼法と緑視色度領域法の比較

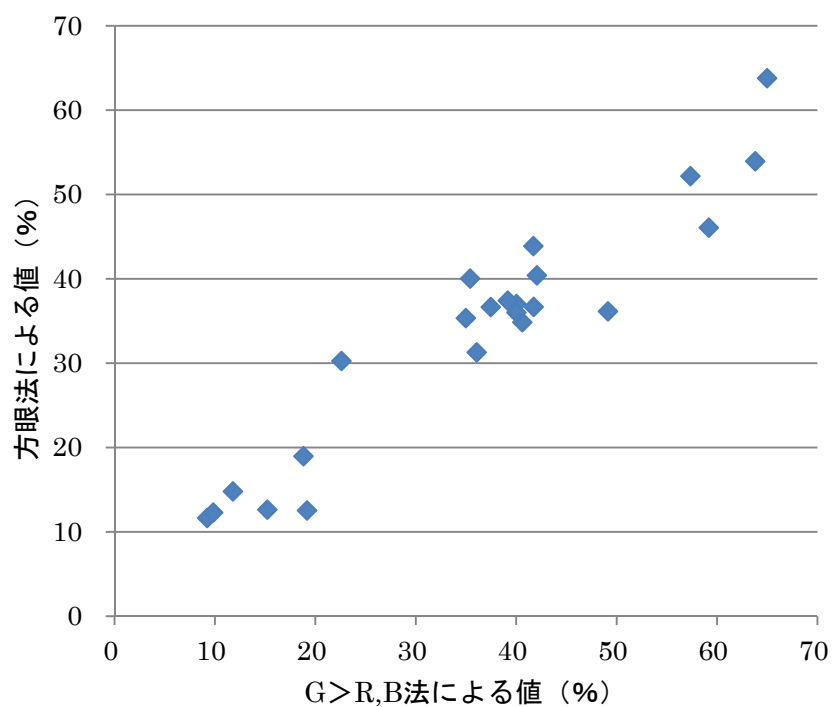


図 5-21 方眼法と G>R,B 法の比較

表 5-8 緑視率の単回帰分析結果

	色度測定方法	
	緑視色度領域法	色度 G>R,B 法
説明変数	係数	係数
緑視データ (%)	0.928	0.817
切片	1.803	4.222
相関係数 (r)	0.981	0.955
決定係数 (r <sup>2</sup> )	0.962	0.912
p 値	2E-16	1.58E-12
観測数	23	23

#### 5-1-4 緑視色度領域法の有効性の確認

##### (1) ホワイトバランスによる差異

ホワイトバランスとは、デジタルカメラ等において、基本的に色温度が異なる光源状態でも白色を正確に白く写し出すように補正する機能である。適正な色温度が設定されていない場合、正確な色が出ないことがある。デジタルカメラでの撮影時は、太陽光の光源にあわせて、白紙の代わりに Expoimaging 社の ExpoDisc を使用してマニュアルでホワイトバランスを設定した。

デジタルカメラでは一般的に、太陽光、電球、蛍光灯などの光源にあわせて、白紙等を使用しマニュアルでホワイトバランスを設定することができ、より正確な色再現が可能である。最近ではいろいろな光源に対して自動的にホワイトバランスを調整してくれる「オートホワイトバランス」機能が付いているものもある。

ホワイトバランスの差異により、緑視率がどのように変化するかを確認するため、平成 21 年 11 月 13 日に定点観測地点で、「マニュアルホワイトバランス (MWB)」と「オートホワイトバランス (AWB)」により画像を 25 地点撮影し、緑視率を計測した (図 5-22)。両緑視率について対応のある t 検定を行ったところ、表 5-9 に示すように有意差は認められなかった。

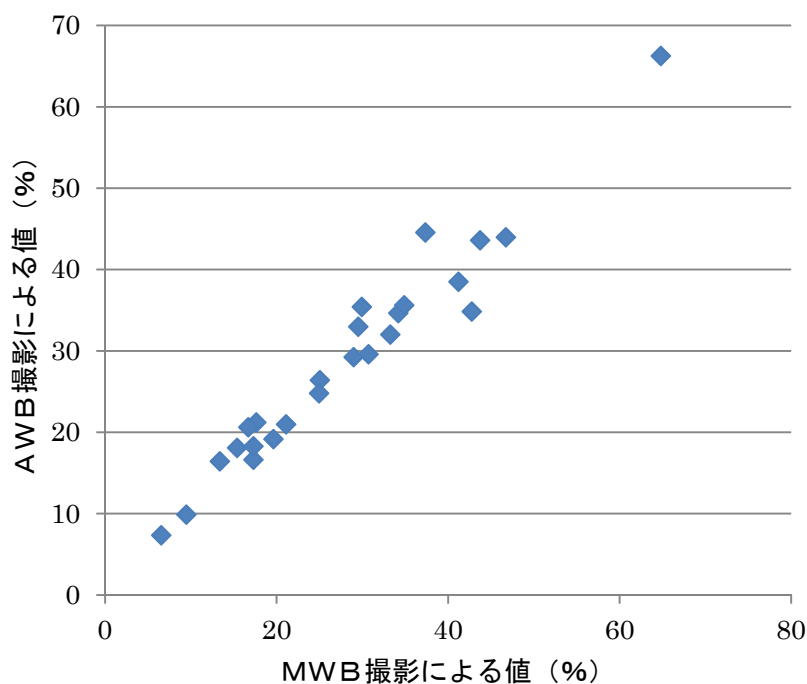


図 5-22 MWB 撮影と AWB 撮影の値

表 5-9 MWB 撮影と AWB 撮影の比較

	緑視率の平均値	標準偏差	$P(T<t)$ 両側
MWB 撮影	28.1%	13.44	0.228>0.05
AWB 撮影	28.8%	12.96	-

(2) 天候による差異

天候による差異により、緑視率がどのように変化するかを確認するため、平成 20 年 11 月 12 日（曇・小雨）、13 日（快晴）の定点観測地点で、「マニュアルホワイトバランス（MWB）」により画像を 23 地点撮影し、緑視率を計測した（図 5-23）。両緑視率について対応のある t 検定を行ったところ、表 5-10 に示すように有意差は認められなかった。

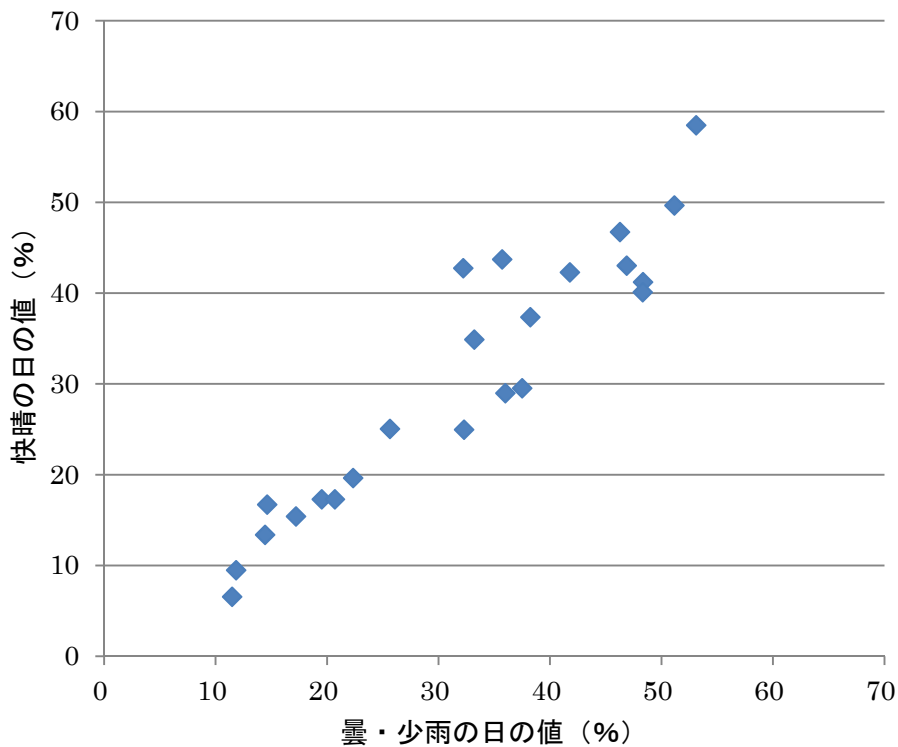


図 5-23 曇・少雨の日と快晴の日の値

表 5-10 曇・少雨の日と快晴の日の比較

	緑視率の平均値	標準偏差	$P(T<t)$ 両側
曇・小雨の日	32.1%	13.55	0.155>0.05
快晴の日	30.6%	14.41	-

(3) 平均色度値の年間変化

図 5-24 は、定点観測地点で計測した植物の葉の色度値が、年間を通じてどのように変化したかを示したものである。植物の葉が1年間を通じてその色度を少しずつ変化させているのが分かる。

1年間の平均色度値                               : ave1  
   u'= 0.196               v'= 0.521  
 6、7、8、9月の平均色度値（前述）: ave2  
   u'= 0.188               v'= 0.523

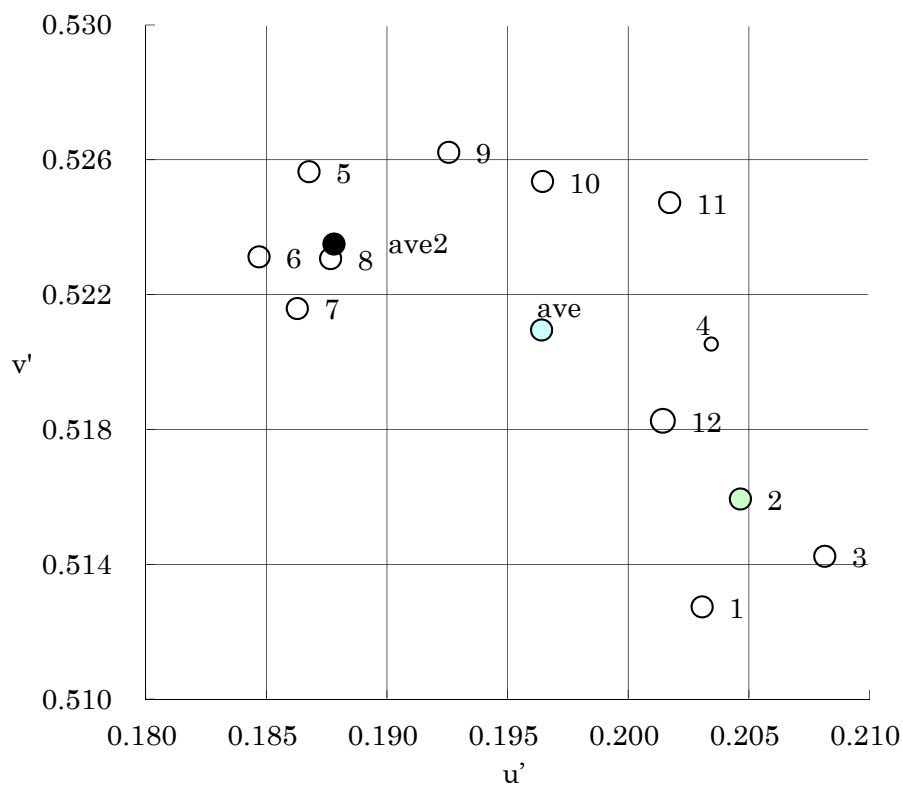


図 5-24 月平均 u'v'と平均値の分布状況

また、定点観測撮影した画像から代表的な樹種を選び、6、7、8、9月における葉の色度を画像中の同一測点で計測した。イチヨウ、ケヤキ、トチノキについては各10測点、ヒマラヤスギ、プラタナス、サクラ、マテバシイについては各5測点で実施した。表 5-11 は、樹種ごとの月平均色度 u'v'値である。葉の活動期で葉の量や色が比較的安定している期間とはいえ、樹種により葉の色度が微妙に変化していることが分かる。

表 5-11 代表的な樹種の月平均  $u'v'$

		6月	7月	8月	9月	平均
イチヨウ	$u'$	0.182	0.184	0.185	0.193	0.186
	$v'$	0.523	0.525	0.526	0.527	0.525
ケヤキ	$u'$	0.187	0.192	0.19	0.197	0.192
	$v'$	0.491	0.519	0.505	0.509	0.506
トチノキ	$u'$	0.187	0.192	0.192	0.197	0.192
	$v'$	0.519	0.52	0.512	0.52	0.518
ヒマラヤスギ	$u'$	0.183	0.188	0.191	0.196	0.190
	$v'$	0.505	0.506	0.501	0.504	0.504
プラタナス	$u'$	0.187	0.186	0.185	0.195	0.188
	$v'$	0.505	0.508	0.505	0.518	0.509
サクラ	$u'$	0.185	0.186	0.186	0.195	0.188
	$v'$	0.517	0.517	0.509	0.515	0.515
マテバシイ	$u'$	0.194	0.191	0.205	0.202	0.198
	$v'$	0.519	0.506	0.518	0.518	0.515

### 5-1-5 緑視色度領域法による緑視率の1年間の変動

植物の葉は季節を通じて量や色が変わることから、6箇所の定点観測地点について、緑視色度領域法で1年間の緑視率を測定した。図 5-25 が示すように、緑視率は6月から9月にかけて安定することが分かった。これは、10月頃から始まる紅葉の影響と11月頃から始まる落葉の影響により緑視率が減少することによるものである。なお、測定に用いた各定点観測地点の画像を図 5-26 から図 5-31 に示した。

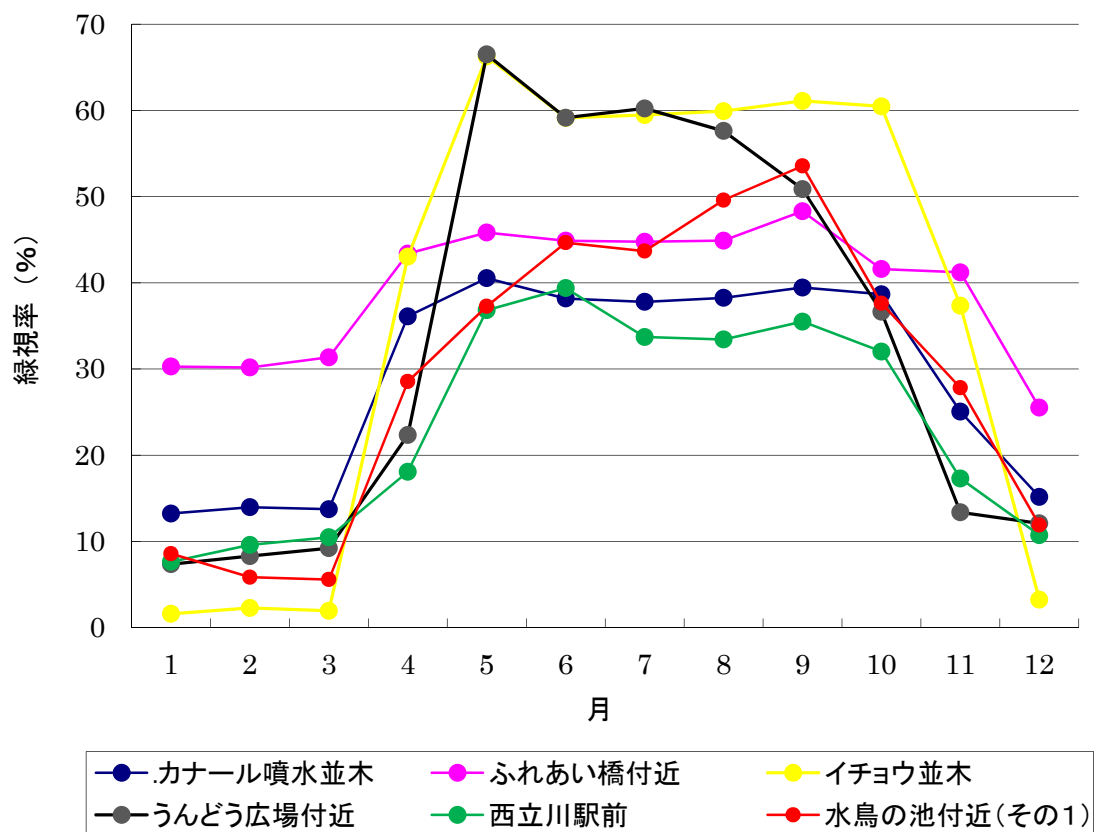


図 5-25 緑視率の年間変動



1月



2月



3月



4月



5月



6月



7月



8月



9月



10月



11月



12月

図 5-26 カナル噴水並木





1月



2月



3月



4月



5月



6月



7月



8月



9月



10月



11月



12月

図 5-27 ふれあい橋付近



1月



2月



3月



4月



5月



6月



7月



8月



9月



10月



11月



12月

図 5-28 イチョウ並木



1月



2月



3月



4月



5月



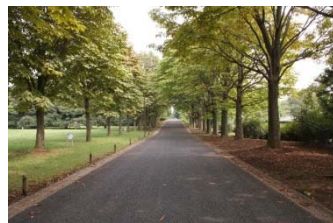
6月



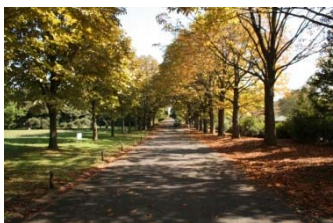
7月



8月



9月



10月



11月



12月

図 5-29 うんどう広場付近



1月



2月



3月



4月



5月



6月



7月



8月



9月



10月



11月



12月

图 5-30 西立川駅前



1月



2月



3月



4月



5月



6月



7月



8月



9月



10月



11月



12月

図 5-31 水鳥の池付近（その1）

## 5-2 色度緑視率等による都市景観の定量的評価

### 5-2-1 目的

京都市が平成 22 年度に行った「緑の満足度に関するアンケート調査」によると「緑視率」の高さと「三山の緑」の存在が緑の満足度に影響するとの報告<sup>9)</sup>や、屋内の緑視率と屋外の緑視率との心理的評価の違いを比較したところ、屋外では緑視率が 80% を超えても快適度が高まる一方、屋内では緑視率が 20% 前後で快適度やリラクセス度のピークを迎えたとの報告<sup>10)</sup>などはあるが、建物などの人工物の色彩環境等と調和する“みどり”のあり方を探る研究は、未だ着手されていないのが現状である。

そこで、本章では、東京区部の都市景観画像を用いて、被験者による景観評価実験を行うとともに、色度緑視率と CIE1976u'v' 空間における彩度（赤、緑、黄、青の 4 成分）、色彩数の画像計測を行う。その結果をもとに、色度緑視率が被験者に与える心理的影響を定量的に明らかにするとともに、都市の色彩環境を改善する緑化のあり方を探ることとした。




### 5-2-2 測定と解析の方法



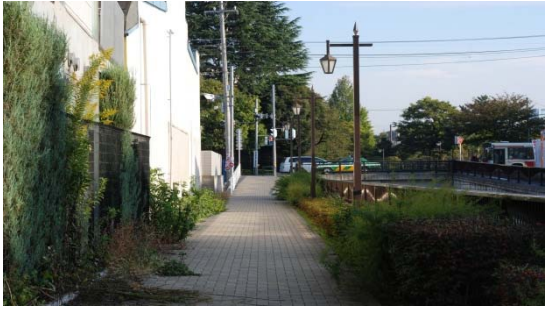





#### (1) 評価画像

景観評価実験用の画像は、デジタルカメラ（Nikon D80, AF-S DX Zoom-Nikkor 18-55mm）を使用し、2010 年 7 月～10 月の日中、日本女子大学構内及び中野・池袋界隈で撮影した画像（1,920×1,080 画素）の中から、緑の配置や量が異なる 27 枚の画像をランダムに選択した。撮影時の色温度は 5,000、シャッタースピードは自動、レンズの焦点距離はほぼ 55 mm に設定した。景観評価実験に使用した画像は図 5-32 のとおりである。



図 5-32 景観評価実験に使用した画像

	
<p>No.3</p>	<p>No.4</p>
	
<p>No.5</p>	<p>No.6</p>
	
<p>No.7</p>	<p>No.8</p>
	
<p>No.9</p>	<p>No.10</p>
<p>図 5-32 景観評価実験に使用した画像 (つづき)</p>	

	
<p>No.11</p>	<p>No.12</p>
	
<p>No.13</p>	<p>No.14</p>
	
<p>No.15</p>	<p>No.16</p>
	
<p>No.17</p>	<p>No.18</p>
<p>図 5-32 景観評価実験に使用した画像 (つづき)</p>	



	
<p>No.19</p>	<p>No.20</p>
	
<p>No.21</p>	<p>No.22</p>
	
<p>No.23</p>	<p>No.24</p>
	
<p>No.25</p>	<p>No.26</p>
<p>図 5-32 景観評価実験に使用した画像 (つづき)</p>	



図 5-32 景観評価実験に使用した画像（つづき）

(2) 評価項目

画像に対する評価項目は先行研究<sup>11),12),13),14)</sup>等を参考にした。景観評価実験は二種類を行った。実験 1 は、画像を見て全体の印象について 5 項目 7 段階で評価させるものであり、評価項目は、快適/不快、嫌い/好き、派手/地味、下品/上品、落ち着く/落ち着かない、とした(図 5-33)。実験 2 は、実験 1 で提示した同じ画像を用いて緑の量の好ましさについて、好ましい/好ましくない、の単一項目として、非常に好ましい、好ましい、普通、好ましくない、非常に好ましくない、の 5 段階に設定した。評価尺度は、等間隔尺度とみなし、各段階をそれぞれ「7. 6. 5. 4. 3. 2. 1」、[5. 4. 3. 2. 1]の整数値をあてはめた。

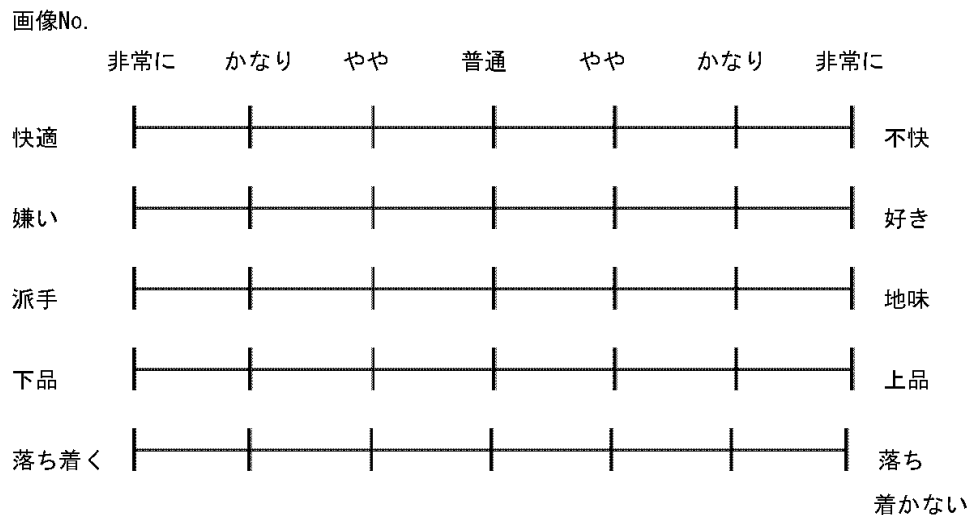


図 5-33 実験 1 の評価用紙

### (3) 実験手順

景観評価実験は2010年11月～2011年1月に、日本女子大学八十年館4階色彩環境学教室で、色彩画像快適度評価装置（図5-34）を用いて行なった。ディスプレイ画面はPanasonicのプラズマディスプレイ（40インチ）、実験コーナーの照度は約60 lx（頭上のランプ1段階/5段階）、被験者と画面の距離は約160 cmでとした。被験者は日本女子大学学生（女性10名、平均年齢21.8歳）、文京区シルバー人材センター登録者（男性8名、女性8名、平均年齢69.8歳）とした。都合により男子学生の確保が困難となり、男女比のバランスを欠く被験者となった。

色彩環境の心理実験と称して実験を行った。正面のディスプレイ画面に、画像を一枚ずつ表示した。被験者には実験2の説明はせず先に実験1の説明をした。また、実験中は正立の姿勢で画面を見てもらうこと、個人の能力を試す実験ではないので結果を気にせず気楽に答えてもらうことを説明した。

実験1は、画像を見て全体の印象について5項目7段階で評価させるものであり、ここでは先入観を排除するため、緑視率に関する実験であることには一切触れず、景観の全体を見た印象で評価させた。実験2では、実験1で提示した同じ画像を用いて、「緑に注目し、緑の量が好ましいか好ましくないか評価して下さい」と説明し、緑に注目させて1項目5段階で評価させた。なお、各実験では27枚の評価画像を図5-32の番号順に提示した。



図 5-34 景観評価実験の装置

#### (4) 評価画像及び評価結果の分析

先に述べたように緑視率には、樹木の葉・花・幹・枝等を含む属性緑視率と葉の色度領域に着目した色度緑視率がある。心理的評価に対する緑視率の影響を計測するため、評価画像の各緑視率を算出した。

属性緑視率は、目視による方眼法により測定した。具体的には、Microsoft Word を用い評価画像に方眼（45×30）を重ね、肉眼で一方眼中に樹木の葉・花・幹・枝等の緑の属性が占める割合が50%以上であると判定できる場合に当該方眼にGを入力し、全て方眼の判定後に文字カウント機能を利用しGの総数を集計し、全方眼数（1,350メッシュ）に対する割合として緑視率を算出した。これを3回行い、その平均値を属性緑視率の測定データとした。

色度緑視率の測定は、緑視率測定器（Urban Greening Meter：アドバンスドシステムズ株式会社製）<sup>15)</sup>を用いて、画像全体に対する葉の色度領域の%として算出した。具体的には、画像の全画素のCIE1976 u'v'色度図上における座標を求め、色度図における特定の領域（葉の色度領域）に属する画素数の割合として自動的に算出するものである。

Sagawa et al. <sup>16)</sup>は、様々な色彩が分布する色彩環境に対する人間の快・不快の主観的評価を行い、環境全体に関係しつつ、かつ快適度に影響を及ぼす要因を探ったところ、環境に含まれる色彩数が多ければ多いほど環境は不快となっていくこと、環境全体の色の平均的な鮮やかさ（平均彩度）も快適度に影響し、鮮やかであればあるほどその環境は不快となることを報告している。色彩数は、カテゴリカルカラーの概念を導入し、環境に分布する様々な色を基本的な11のグループ（赤、橙、黄、緑、青、紫、茶、ピンク、白、黒、灰）の色に分け、ある基準値（5%）以上の量を満たす基本色を抽出して、その環境のカテゴリカルカラーの数としている。また、測色学では彩度はまだ細かく分割できる量であることから、CIE1976 u'v'色度図上において彩度を反対色成分である赤、緑、黄、青の4成分に分解することができる（図5-35）。これらを踏まえ心理的評価に対する建物などの人工物の色彩と緑との関係を検討するため、色彩画像分析ソフト（CCOM21：アドバンスドシステムズ株式会社製）を用いて評価画像の色彩数と赤、緑、黄、青の色成分を算出した。

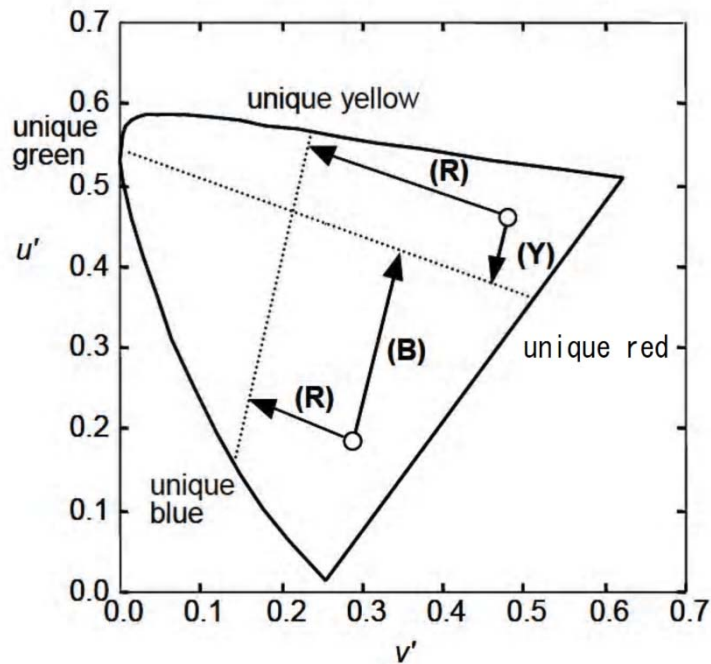


図 5-35 CIE1976  $u'v'$ 色度図上の反対色成分の定義<sup>22)</sup>

### 5-2-3 結果及び考察

#### (1) 実験 1 及び実験 2 の結果

被験者である日本女子大学学生（10 名）、文京区シルバー人材センター登録者（16 名）をそれぞれ若年者、高齢者として、実験 1 及び実験 2 の評価結果の平均値を算出した。なお、景観評価実験の際に、項目をランダムに設定していたので、データや図を統一するために、「快－不快」「派手－地味」「落ち着く－落ち着かない」の 3 項目のデータを逆転させた。

図 5-36 から図 5-41 に示す若年者と高齢者の評価の違いを分析するため、表 5-12 の若年者と高齢者の評価項目の平均値を用いて、相関分析及び一対の標本による平均値の検定（検定）を行なった。実験 1 における 5 項目評価及び実験 2 における 1 項目評価の若年者と高齢者の相関係数は表 5-13 の通りである。また、実験 1 における 5 項目評価及び実験 2 における 1 項目評価の若年者と高齢者の  $t$  検定の結果は表 5-14 の通りである。実験 1 及び実験 2 において、若年者と高齢者の評価結果の平均値は、高い相関があるとともに有意な差は認められなかった。このため、以下の考察は、若年者と高齢者の単純平均値（ $N=26$ ）を用いることとする。

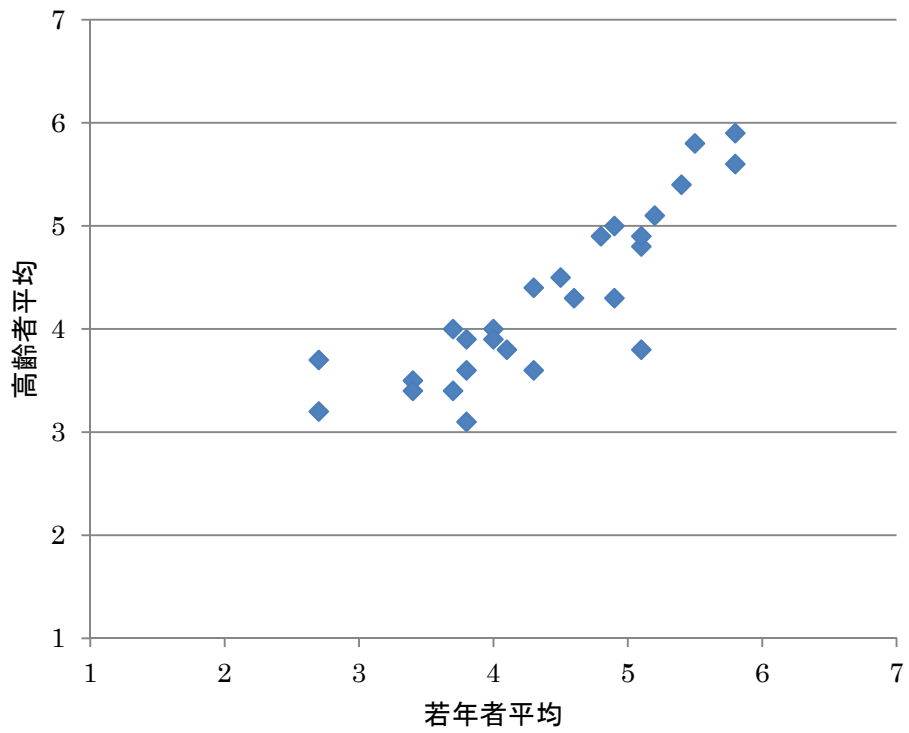


図 5-36 若年者と高齢者の評価（不快－快適）

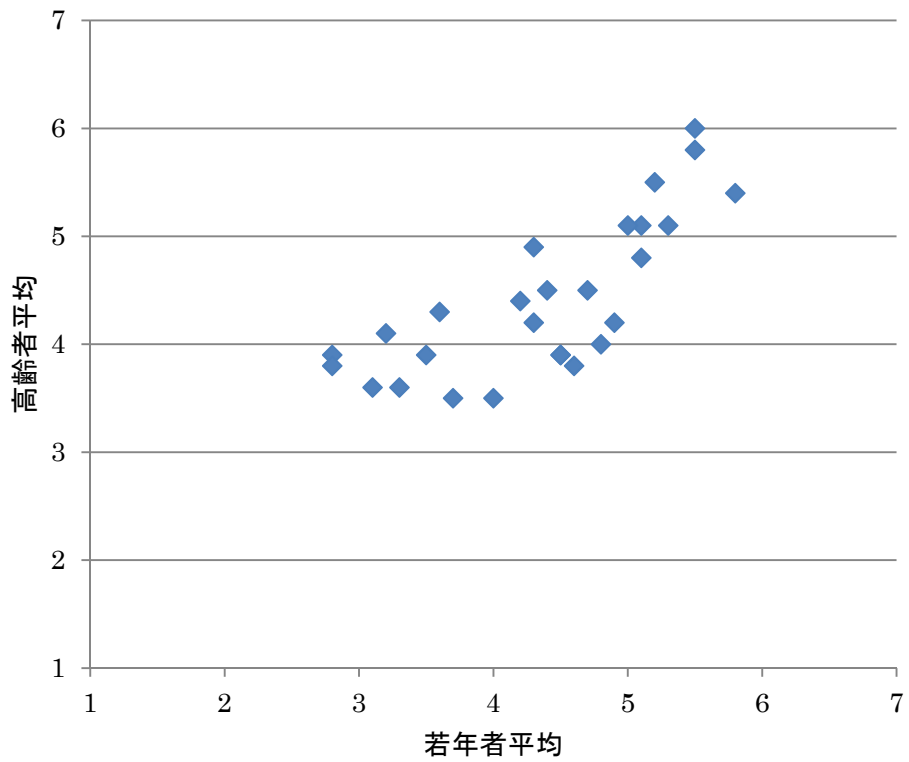


図 5-37 若年者と高齢者の評価（嫌い－好き）

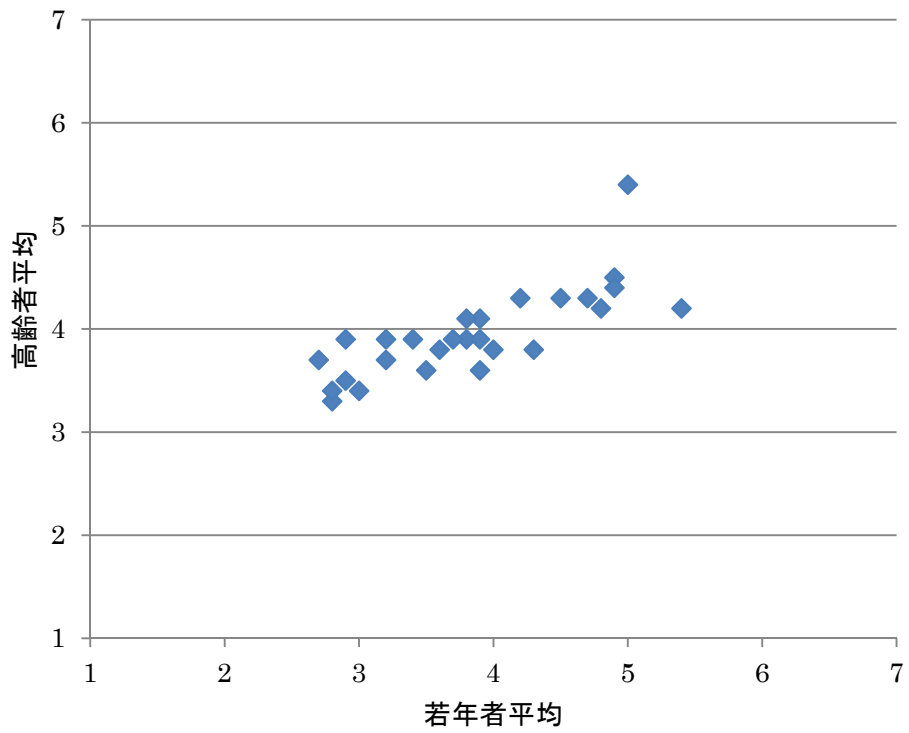


図 5-38 若年者と高齢者の評価（地味-派手）

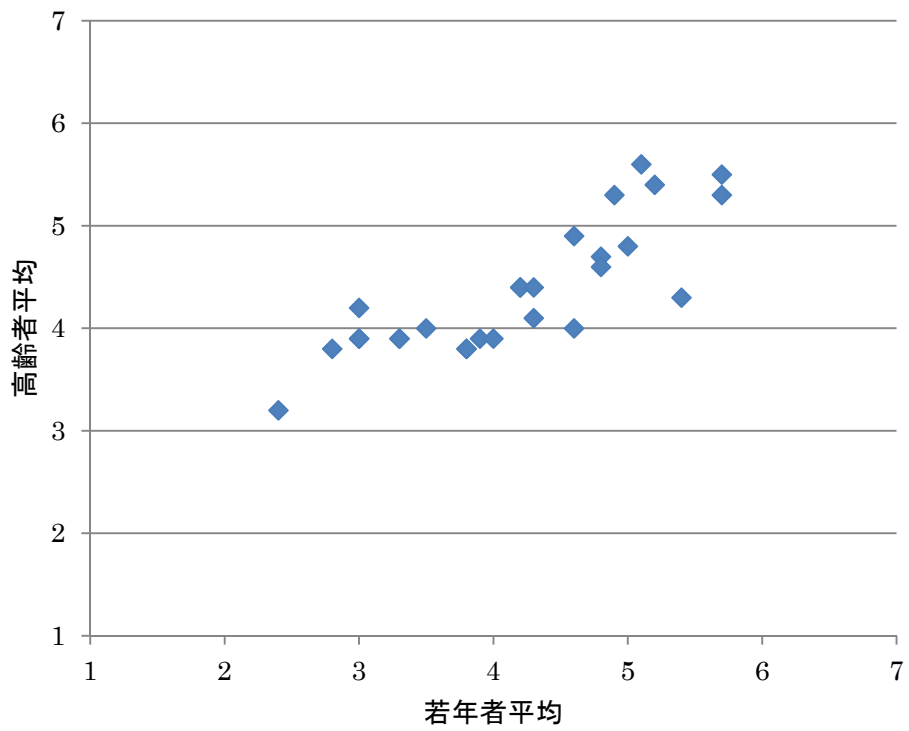


図 5-39 若年者と高齢者の評価（下品-上品）

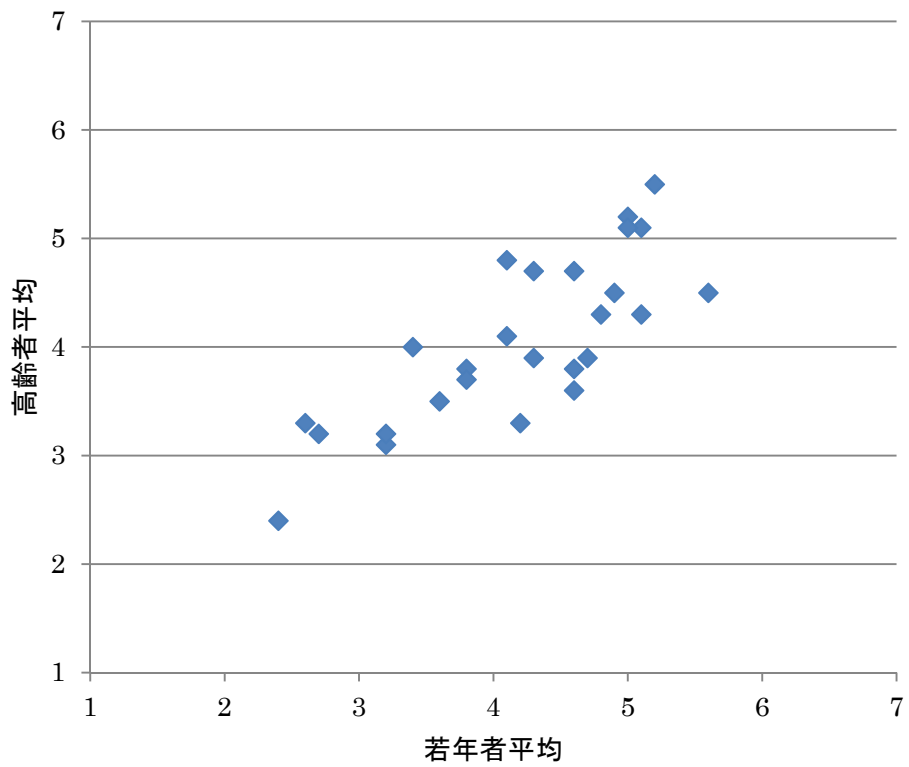


図 5-40 若年者と高齢者の評価（落ち着かないー落ち着く）

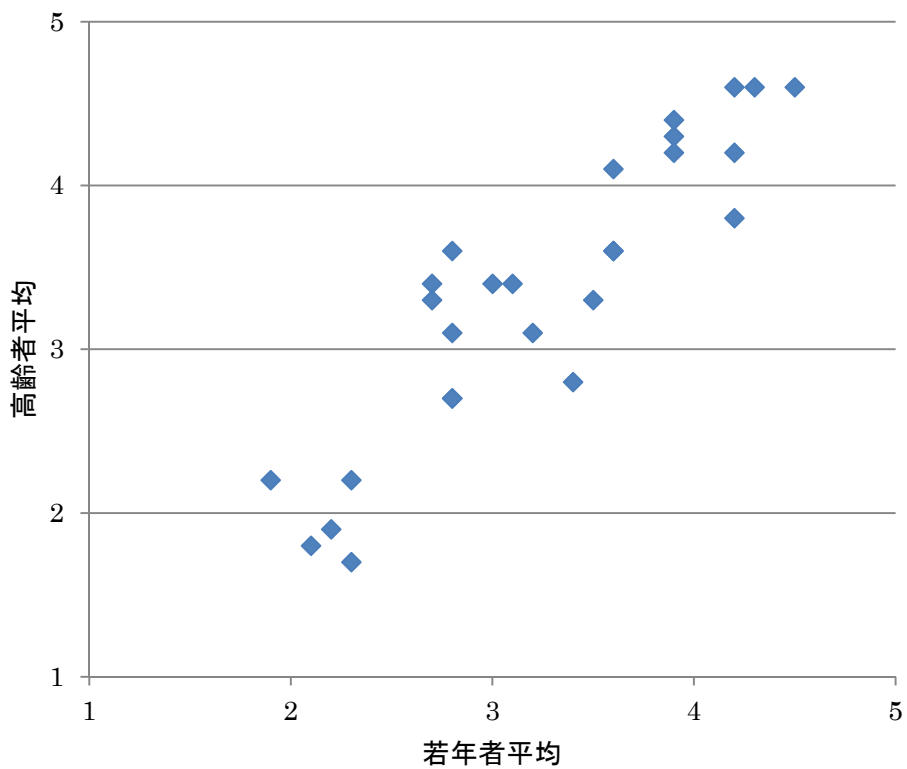


図 5-41 若年者と高齢者の評価（緑の量が好ましくないー好ましい）



表 5-12 評価項目の平均値（若年者 N=10, 高齢者 N=16）

評価画像	属性	実験 1					実験 2
		快適	嫌い	派手	上品	落ち着く	緑の量の好ましさ
1	若年者	5.8	5.2	3.6	4.9	5.0	4.2
	高齢者	5.6	5.5	3.8	5.3	5.2	4.2
2	若年者	3.4	3.7	2.8	3.9	3.8	2.3
	高齢者	3.5	3.5	3.3	3.9	3.8	2.2
3	若年者	4.9	4.7	3.5	4.2	5.1	3.5
	高齢者	4.3	4.5	3.6	4.4	4.3	3.3
4	若年者	3.4	3.1	4.8	3.0	3.2	3.0
	高齢者	3.4	3.6	4.2	3.9	3.1	3.4
5	若年者	3.8	4.0	2.9	3.8	4.2	2.3
	高齢者	3.1	3.5	3.5	3.8	3.3	1.7
6	若年者	5.1	5.1	3.8	4.8	5.1	4.2
	高齢者	4.8	4.8	3.9	4.7	5.1	3.8
7	若年者	3.7	3.2	4.2	3.3	3.6	2.7
	高齢者	4.0	4.1	4.3	3.9	3.5	3.4
8	若年者	4.3	4.2	2.7	4.2	4.9	2.8
	高齢者	4.4	4.4	3.7	4.4	4.5	3.6
9	若年者	4.0	4.5	3.4	5.4	4.3	3.4
	高齢者	4.0	3.9	3.9	4.3	3.9	2.8
10	若年者	4.5	4.9	3.7	4.3	4.8	3.6
	高齢者	4.5	4.2	3.9	4.1	4.3	3.6
11	若年者	2.7	2.8	5.0	2.4	2.4	2.1
	高齢者	3.2	3.9	5.4	3.2	2.4	1.8
12	若年者	5.8	5.5	4.3	5.7	5.6	4.3
	高齢者	5.9	5.8	3.8	5.3	4.5	4.6
13	若年者	5.1	4.8	3.2	4.6	4.6	3.6
	高齢者	3.8	4.0	3.7	4.0	3.8	3.6
14	若年者	4.6	4.4	3.9	4.3	4.1	3.9
	高齢者	4.3	4.5	4.1	4.4	4.1	4.3

表 5-12 評価項目の平均値（若年者 N=10, 高齢者 N=16 ）（つづき）

評価画像	属性	実験 1					実験 2
		快適	嫌い	派手	上品	落ち着く	緑の量の好ましさ
15	若年者	3.8	3.6	4.5	3.5	3.8	3.2
	高齢者	3.9	4.3	4.3	4.0	3.7	3.1
16	若年者	4.1	4.3	2.8	4.0	4.7	2.2
	高齢者	3.8	4.2	3.4	3.9	3.9	1.9
17	若年者	4.9	5.1	4.0	4.8	4.6	3.6
	高齢者	5.0	5.1	3.8	4.6	4.7	4.1
18	若年者	3.8	3.5	4.7	3.3	3.2	2.8
	高齢者	3.6	3.9	4.3	3.9	3.2	2.7
19	若年者	5.5	5.5	3.8	5.1	5.2	4.2
	高齢者	5.8	6.0	4.1	5.6	5.5	4.6
20	若年者	4.0	4.5	4.9	3.0	3.4	3.1
	高齢者	3.9	3.9	4.5	4.2	4.0	3.4
21	若年者	5.1	5.3	2.9	5.0	4.3	2.8
	高齢者	4.9	5.1	3.9	4.8	4.7	3.1
22	若年者	3.7	3.3	5.4	2.8	2.7	2.7
	高齢者	3.4	3.6	4.2	3.8	3.2	3.3
23	若年者	5.2	5.0	3.2	5.2	5.0	3.9
	高齢者	5.1	5.1	3.9	5.4	5.1	4.4
24	若年者	2.7	2.8	4.9	3.0	2.6	1.9
	高齢者	3.7	3.8	4.4	3.9	3.3	2.2
25	若年者	4.8	4.3	3.9	4.6	4.1	3.9
	高齢者	4.9	4.9	3.6	4.9	4.8	4.2
26	若年者	4.3	4.6	3.0	3.8	4.6	2.8
	高齢者	3.6	3.8	3.4	3.8	3.6	2.7
27	若年者	5.4	5.8	3.9	5.7	5.6	4.5
	高齢者	5.4	5.4	3.9	5.5	4.9	4.6

表 5-13 若年者と高齢者との相関係数

評価項目	相関係数
実験 1	
不快－快適	0.870
嫌い－好き	0.772
地味－派手	0.778
下品－上品	0.835
落ち着かない－落ち着く	0.807
実験 2	
緑の量が好ましくない－好ましい	0.905

表 5-14 若年者と高齢者の t 検定結果

評価項目	$P(T \leq t)$ 両側
実験 1	
不快－快適	0.253
嫌い－好き	0.581
地味－派手	0.259
下品－上品	0.063
落ち着かない－落ち着く	0.149
実験 2	
緑の量が好ましくない－好ましい	0.127

(2) 実験1の評価項目間の関係

実験1における5つの評価項目の関係を検討するために相関分析を行った（表5-15）。

表 5-15 5評価項目の相関行列

	快適	好き	派手	上品	落ち着く
快適	1				
好き	0.978**	1			
派手	-0.298	-0.309	1		
上品	0.944**	0.939**	-0.420*	1	
落ち着く	0.920**	0.919**	-0.565**	0.924**	1

\*\*は 1%有意, \*は 5%有意

快適/不快、好き/嫌い、上品/下品、落ち着く/落ち着かない、の4つの項目が高い相関を示し快適性に関する評価と考えられるとともに、派手/地味の項目はこれらの項目と負の相関を示しており、快適性の概念とは異質な評価概念ではないかと考えられる。

(3) 実験1と実験2の評価項目間の関係

実験1における5つの評価項目と実験2の緑の量の好ましさ評価との関係を検討するために相関分析を行った（表5-16）。

別々に実験した緑の量が好ましくない/好ましいと不快/快適、嫌い/好き、下品/上品、落ち着かない/落ち着く、の4つの評価項目が高い相関を示すとともに地味/派手の項目とは相関が低いことから、緑の量が好ましくない/好ましいは快適性の概念に影響を与えているものと考えられる。

表 5-16 緑の量の好ましさと5評価項目との相関係数

	快適	好き	派手	上品	落ち着く
緑の量が好ましい	0.868**	0.801**	-0.061	0.807**	0.755**

\*\*は 1%有意

(4) 属性緑視率と色度緑視率との関係

実験 1 及び実験 2 に用いた 27 枚の評価画像の属性緑視率、色度緑視率を表 5-17 に示す。属性緑視率と色度緑視率との関係を分析するため、対応のある t 検定を行なった。

その結果、 $P(T \leq t)$  両側  $< 0.001$  であることから、属性緑視率と色度緑視率との間には有意な差がある。この差は、属性緑視率に含まれる葉の影の部分や幹・枝等であらう。また、回帰分析を行った結果（表 5-18）、属性緑視率と色度緑視率との間には有意な高い相関性が認められることから、式-1 により属性緑視率を色度緑視率で推計することも可能であらうと考えられる。

表 5-17 実験に用いた評価画像の緑視率 (%)

評価画像	色度緑視率	属性緑視率
1	56.5	62.3
2	2.2	2.3
3	15.6	19.5
4	31.8	35.4
5	2.5	4.1
6	29.9	39.9
7	26.1	49.0
8	10.8	25.5
9	14.6	10.0
10	16.5	25.1
11	10.5	16.4
12	73.4	78.3
13	33.7	50.9
14	38.5	53.1
15	9.9	11.5
16	8.2	8.6
17	35.8	61.2
18	14.4	18.3
19	49.5	72.1
20	12.3	17.6
21	9.5	7.2
22	40.0	48.9
23	29.4	46.0
24	5.9	6.8
25	39.0	54.4
26	15.2	35.8
27	51.8	63.0
平均	25.3	34.2
分散	323.2	509.3

表 5-18 属性緑視率と色度緑視率の単回帰分析結果

相関係数	0.944		
決定係数	0.892		
観測数	27		
説明変数	上段：係数	t 値	p 値
	下段：標準誤差	14.359	< 0.001
色度緑視率	1.186		
	0.083		
切 片	4.182		
	2.563		

$$Y=1.19X+4.18$$

式 - 1

Y：属性緑視率，X：色度緑視率

(5) 心理的評価と色度緑視率との関係

心理的評価と色度緑視率との関係を分析するため、実験 1 の 4 つの評価項目との相関分析を行った。

色度緑視率と不快/快適、嫌い/好き、下品/上品、落ち着かない/落ち着く、の 4 つの評価項目が高い相関を示すとともに地味/派手の項目は相関が低いことから、緑視率に基づく先行研究<sup>11),12),13),14)</sup>と同様、色度緑視率は都市景観の快適性に影響を与えていることが確認された(表 5-19)。次に、好ましい緑の量を分析するため、図 5-42 に示す実験 2 の評価項目である緑の量が好ましくない/好ましい(以下、「緑の量の好ましさ」という。)と色度緑視率を用いて回帰分析を行った。

表 5-19 色度緑視率と 5 評価項目との相関係数

	快適	好き	派手	上品	落ち着く
色度緑視率	0.736**	0.661**	0.103	0.641**	0.505**

\*\*は 1%有意

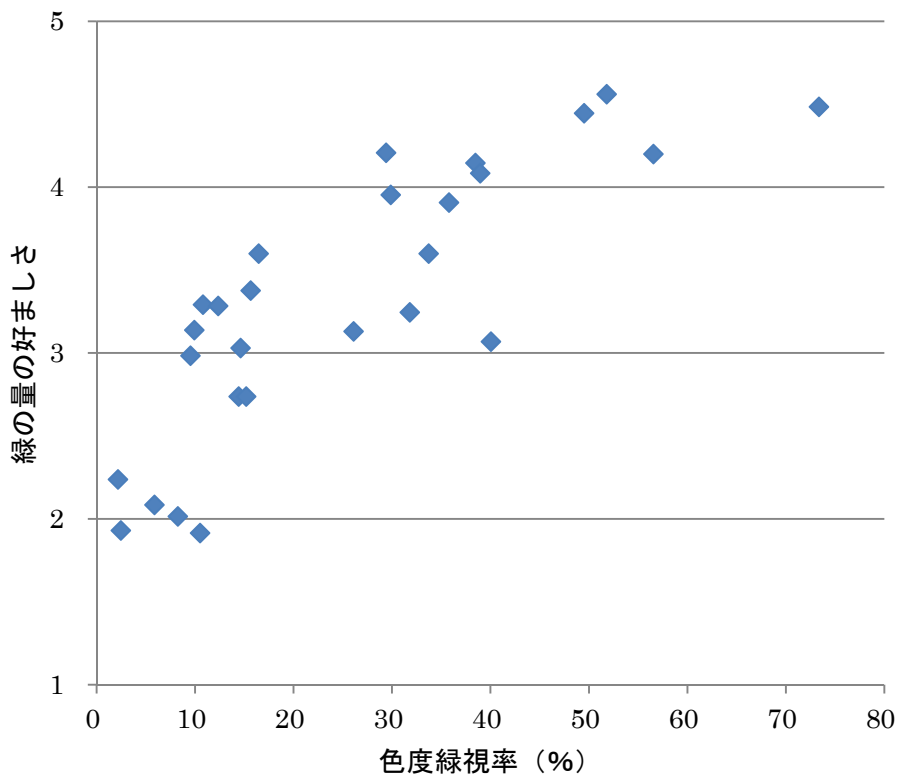


図 5-42 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係

表 5-20 緑の量の好ましさと色度緑視率の単回帰分析結果（線形）

相関係数	0.829		
決定係数	0.687		
観測数	27		
説明変数	上段：係数	t 値	p 値
	下段：標準誤差	15.268	< 0.001
色度緑視率	0.037		
	0.005		
切片	2.371		
	0.155		

$$Y = 0.037X + 2.4$$

式-2

Y：緑の量の好ましさ，X：色度緑視率

表 5-20 の分析結果から、説明変数には有意性があり、線形回帰式は式-2となる。しかし、色度緑視率が最も小さくなる Y 切片の値が 2.4 と 5 段階評価の 2 以上となっ

ており、低位の色度緑視率に対する心理的評価としては課題が残る。

一般に緑の心理的評価と緑の物理量（緑被率，緑視率他）との関係については、式 - 2 のような一次線形を仮定して説明される事例<sup>9),11),13),14)</sup>が多く、非線形で説明している事例は少ない<sup>11),16)</sup>。しかしながら、人間の心理的反応が非線形になることが多いということは、心理学（精神物理学）における外的な刺激（物理量）と人間の反応（感覚量）の研究からも指摘されている<sup>17)</sup>。

この物理量と感覚量との関係は、19世紀半ばにフェヒナー（G. T. Fechner）が弁別閾（二つの刺激を区別できる最小の刺激強度の差）の研究より対数法則を導き出し、20世紀半ばにスティーブンス（S. S. Stevens）が、フェヒナーの対数法則を改良し、より広範囲の感覚を扱うことができるベキ法則を提案した。スティーブンスが主に用いたマグニチュード推定法（＝感覚量の測定）は、現在、実用性の高い測定法として多くの研究で広く用いられている<sup>17)</sup>。

〈フェヒナーの対数法則〉

$$R = k \log S + c \quad (k, c \text{ は定数})$$

S：与えられる刺激の物理量，R：感覚の強度

〈スティーブンスのベキ法則〉

$$R = m S^n \quad (m, n \text{ は定数})$$

S：与えられる刺激の物理量，R：感覚の強度

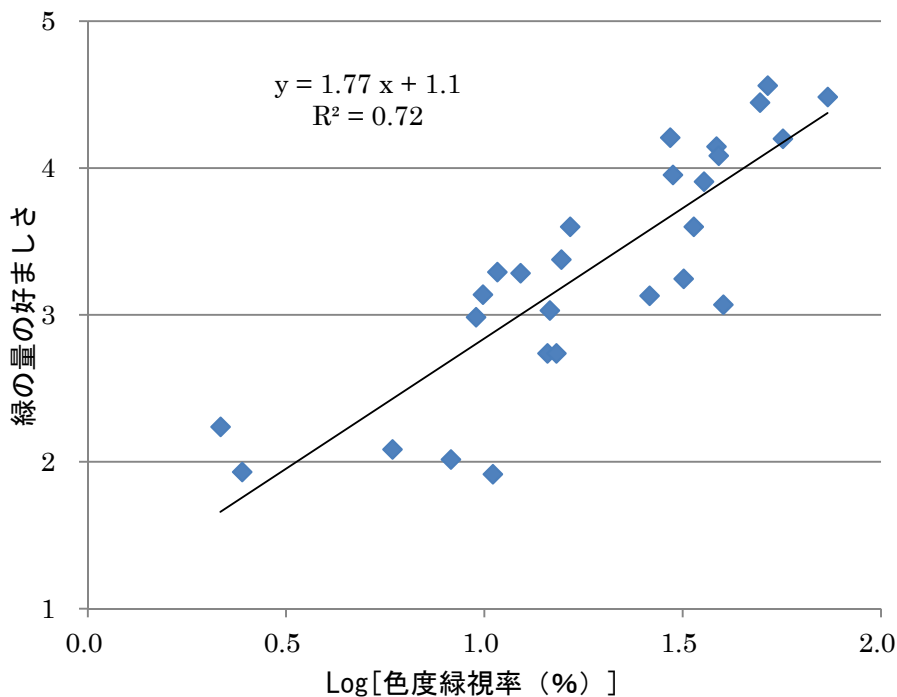


図 5-43 緑の量の好ましさと Log 色度緑視率の関係



図 5-43 は、フェヒナーの対数法則により、色度緑視率の対数変換値と緑の量の好ましさの関係を示したものである。この回帰式は式-2 よりも決定係数が高く、Y 切片の値が 1（原点）に近くなる。

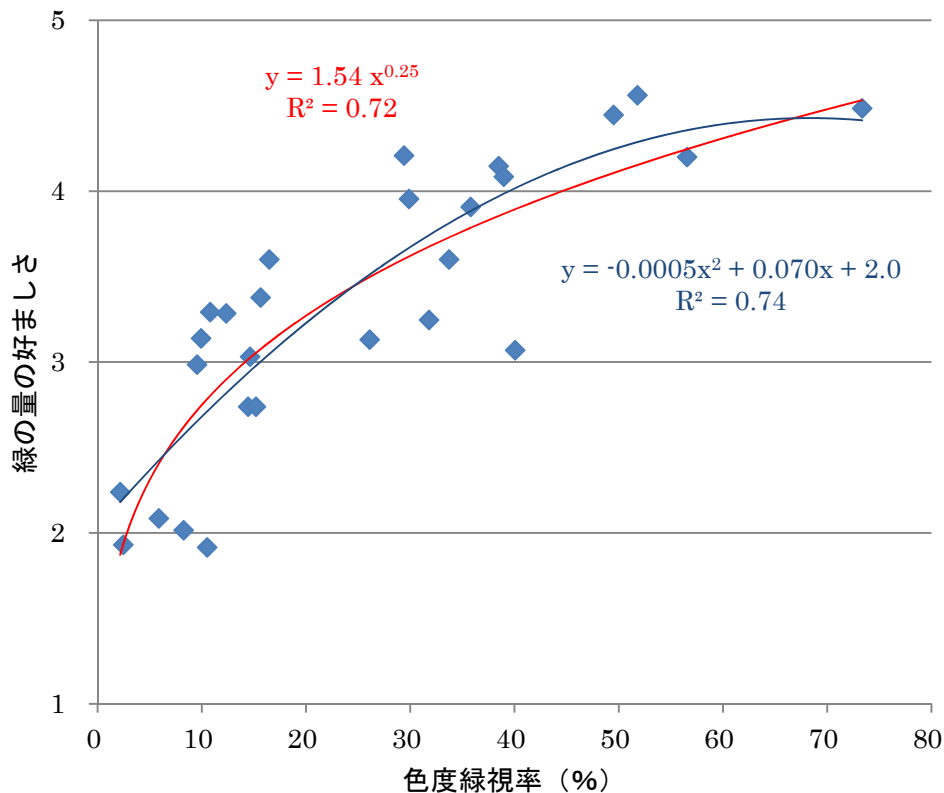


図 5-44 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係（非線形回帰）

図 5-44 は、スティーブンスのベキ法則により、色度緑視率と緑の量の好ましさの関係を累乗（べき）回帰式で示したものである。また、参考として多項回帰式による分析を行った。これら回帰式はいずれも式-2 よりも決定係数が高く、累乗回帰式は Y 切片の値が 1（原点）に近くなるが、多項回帰式の Y 切片の値は 2 である。また、色度緑視率が最も大きい評価画像 12 のデータによる影響が懸念されたことから、これを除外して同様に分析を行った。図 5-45 に示すように決定係数は線形回帰式と累乗回帰式とはほぼ同様であるが、線形回帰式は Y 切片の値が 2 以上となり色度緑視率 70%付近で Y の最大値 5 を超える。

以上のことから、緑の物理量と緑の心理的評価との関係は、心理学（精神物理学）における刺激と反応の関係と考えられ、有効範囲が広く実用的といわれている<sup>17)</sup> スティーブンスのベキ法則を用いることが妥当であると示唆される。

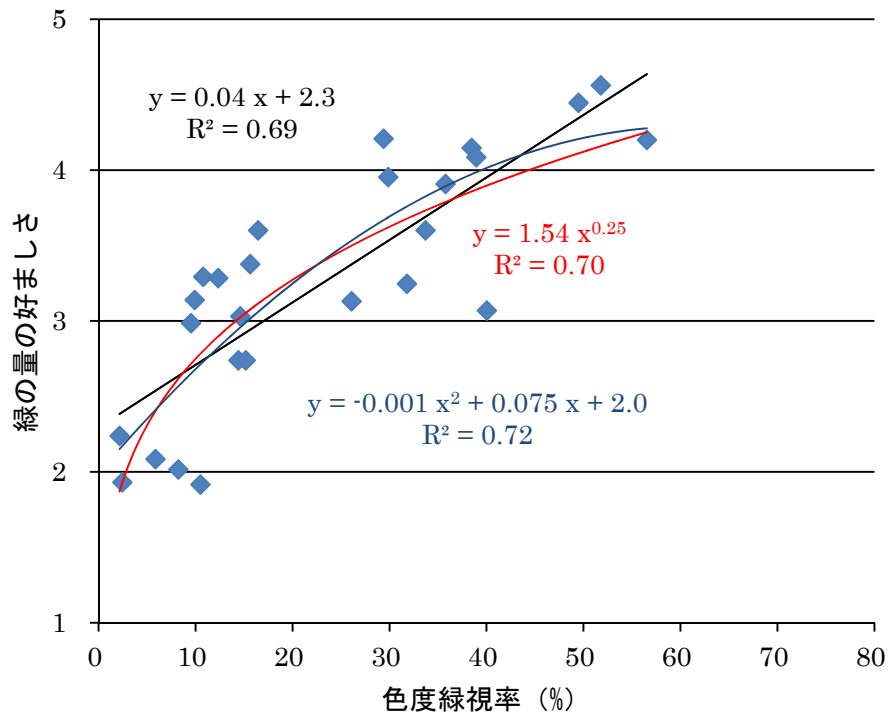


図 5-45 緑の量の好ましさと色度緑視率の関係（評価画像 12 を除外）

(6) 心理的評価と色彩数・平均彩度との関係

Sagawa et al. <sup>16)</sup> は、色彩環境に対する人間の快・不快の主観的評価（快適度）がその環境のカテゴリカルカラーの数（色彩数）と環境全体の色の平均的な鮮やかさに対して負の相関があると報告している。すなわち、環境に含まれる色彩数が多いほど、また環境全体の色が鮮やかであればあるほどその環境は不快になることを意味する。

一方、石井等 <sup>10)</sup> は緑視率の心理的効果について、屋外と屋内とを比較して、屋外では緑視率が 80%を超えても快適に感じるが、屋内では緑視率が多ければ多いほど快適に感じるということではなく、20%前後で快適さがピークを迎え、屋外の緑視率ほど強い相関性は見られなかったと報告している。加藤 <sup>18)</sup> は、二色配色に対する心理的・生理的反応実験を行ない、JIS 系統色名の基本色緑みの青（greenish blue:5B4/8）や緑（5G5/10）との配色において脳波の α 波含有率が多く、基本色赤（5R5/14）との配色では低くなる、また、基本色緑を含む全ての配色において、生体リズムの 1/f ゆらぎが多く認められ生理的負荷が軽減したと報告している。これらのことから、屋内と屋外とでは、色彩環境に対する人間の快・不快の主観的評価に差異が生じる可能性があると考えられる。

建物などの人工物の色彩と調和する緑化のあり方を探るため、実験 1 の評価項目のうち色度緑視率と最も相関が高かった評価項目である不快/快適（以下、「快適さ」という）と評価画像の彩度を分割した反対色成分である赤、緑、黄、青の 4 成分と色彩

数（表 5-21）を用いて相関分析、重回帰分析を行った。

表 5-21 評価画像の赤，緑，黄，青の 4 成分と色彩数

評価画像	赤成分	緑成分	黄成分	青成分	色彩数
1	0.000312	0.017938	0.015034	0.001227	5
2	0.000451	0.003892	0.001515	0.011823	5
3	0.000553	0.006627	0.006405	0.009040	5
4	0.002359	0.007876	0.007427	0.002825	5
5	0.001329	0.001482	0.003417	0.004053	6
6	0.001199	0.007203	0.015187	0.003842	7
7	0.001707	0.007830	0.008430	0.002919	7
8	0.001109	0.003220	0.004961	0.003601	6
9	0.001730	0.005651	0.004933	0.003691	3
10	0.001770	0.005370	0.009106	0.006609	7
11	0.005752	0.003365	0.008879	0.005230	8
12	0.000034	0.023753	0.023770	0.003040	4
13	0.000521	0.007030	0.009587	0.002264	6
14	0.000900	0.018291	0.000889	0.009402	4
15	0.001911	0.004754	0.003189	0.009585	5
16	0.000764	0.004342	0.004467	0.009688	6
17	0.003304	0.001234	0.002793	0.004477	7
18	0.001277	0.006821	0.014250	0.003692	7
19	0.000235	0.012815	0.009236	0.003994	7
20	0.003043	0.006003	0.004431	0.010061	6
21	0.001417	0.003216	0.007250	0.004411	7
22	0.002953	0.008872	0.012835	0.002941	8
23	0.000399	0.003272	0.004168	0.001966	4
24	0.000067	0.011898	0.002953	0.005996	6
25	0.001036	0.003901	0.001910	0.009959	6
26	0.000693	0.016586	0.002092	0.007156	5
27	0.001664	0.003043	0.008048	0.000395	6

なお、各成分は無名数である。

表 5-22 より、快適さに対して赤成分は負の相関、緑成分は正の相関があり、加藤<sup>18)</sup>の報告にも一致している。黄成分はやや低い正の相関があるが、青成分と色彩数は相関がほとんどない。ここで、重回帰式の説明変数に用いる青成分と黄成分の相関がやや高いことから、多重共線性の可能性を疑ったが、VIF (Variance Inflation Factor : 分散拡大要因) や許容度の値を確認した。具体的には、以下の手順によった。

- ① 説明変数の 1 つを被説明変数とし、残りの説明変数によって回帰したときの重相関 R-square (重決定 R<sup>2</sup>) を求める。
- ② 1 から重相関 R-square を引いて許容度 (=1/VIF) を計算する。
- ③ 許容度の逆数から、VIF を計算する。

VIF が 10 以上になるような説明変数同士を同時に使うと、多重共線性を起こす可

能性があると一般的に考えられていることから、表 5-24 より多重共線性の可能性は極めて低いことを確認した。

表 5-22 快適さと 4 成分の相関行列

	快適さ	赤成分	緑成分	黄成分	青成分	色彩数
快適さ	1					
赤成分	-0.639	1				
緑成分	0.715	-0.446	1			
黄成分	0.481	-0.050	0.389	1		
青成分	-0.282	-0.036	-0.164	-0.604	1	
色彩数	-0.204	0.478	-0.428	0.175	-0.187	1

表 5-23 4 成分と色彩数による重回帰分析結果

被説明変数	重相関係数 R	決定係数 R <sup>2</sup>
赤成分	0.514	0.264
緑成分	0.678	0.460
黄成分	0.741	0.549
青成分	0.632	0.399
色彩数	0.603	0.364

表 5-24 4 成分と色彩数の VIF

説明変数	VIF	1/VIF
赤成分	1.36	0.736
緑成分	1.85	0.540
黄成分	2.22	0.451
青成分	1.66	0.601
色彩数	1.57	0.451
平均	1.73	

表 5-25 の回帰分析の結果、黄成分、青成分、色数の t の絶対値が t の臨界値 [関数  $TINV(0.05,21)=2.080$ ] より小さいため、説明変数に有意性があるとはいえない。

表 5-25 5 変数による重回帰分析結果

【説明変数（赤成分・緑成分・黄成分・青成分・色数）の場合】

重相関係数			0.863
決定係数			0.745
観測数			27
説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	t 値	p 値
赤成分	-318.450 81.867	-3.890	0.001
緑成分	67.776 20.480	3.309	0.003
黄成分	29.081 24.195	1.202	0.243
青成分	-17.536 36.051	-0.486	0.632
色 数	0.136 0.0932	1.454	0.161
切 片	3.305 0.655	-	-

そこで、説明変数の黄成分、青成分、色数を順次除き、新たな組合せで回帰分析を実施した。表 5-26 より、赤成分、緑成分、黄成分の 3 つの説明変数を用いた場合が、各説明変数の t の絶対値が t の臨界値を超え、かつ決定係数が最も高くなった。

表 5-26 変数を減らした場合の重回帰分析結果

【説明変数（赤成分・緑成分・黄成分・青成分）の場合】

重相関係数			0.848
決定係数			0.720
観測数			27
説明変数	上段：係数	t 値	p 値
	下段：標準誤差		
赤成分	-279.907	-3.526	0.002
	79.390		
緑成分	55.577	2.902	0.008
	19.148		
黄成分	39.487	1.667	0.110
	23.689		
青成分	-20.153	-0.546	0.591
	36.906		
切 片	3.305	-	-
	0.655		

t の臨界値 2.074

表 5-26 変数を減らした場合の重回帰分析結果（つづき）

【説明変数（赤成分・緑成分・黄成分・色数）の場合】

重相関係数			0.862
決定係数			0.742
観測数			27
説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	t 値	p 値
赤成分	-317.441 80.408	-3.948	0.001
緑成分	67.383 20.106	3.351	0.003
黄成分	35.501 19.922	1.782	0.089
色 数	0.138 0.091	1.506	0.146
切 片	3.151 0.563	-	-

t の臨界値 2.074

【説明変数（赤成分・緑成分・色数）の場合】

重相関係数			0.840
決定係数			0.705
観測数			27
説明変数	上段：係数 下段：標準誤差	t 値	p 値
赤成分	-316.819 84.124	-3.766	0.001
緑成分	85.423 18.174	4.700	< 0.001
色 数	0.201 0.088	2.273	0.032
切 片	2.896 0.570	-	-

t の臨界値 2.069

表 5-26 変数を減らした場合の重回帰分析結果 (つづき)

【説明変数 (赤成分・緑成分・黄成分) の場合】

重相関係数			0.846
決定係数			0.716
観測数			27
説明変数	上段:係数 下段:標準誤差	t 値	p 値
赤成分	-278.002	-3.560	0.002
	78.094		
緑成分	54.889	2.918	0.008
	18.813		
黄成分	47.084	2.494	0.020
	18.978		
切 片	3.921	-	-
	0.242		

t の臨界値 2.069

【説明変数 (赤成分・緑成分) の場合】

重相関係数			0.799
決定係数			0.639
観測数			27
説明変数	上段:係数 下段:標準誤差	t 値	p 値
赤成分	-248.964	-2.922	0.007
	85.207		
緑成分	74.111	3.914	0.001
	18.937		
切 片	4.072	-	-
	0.259		

t の臨界値 2.064



表 5-26 に示すように、快適さを目的変数として、赤成分、緑成分、黄成分を説明変数とする組合せが最も説明力の高い回帰式（式－3）となる。

$$Y = -278.0X_r + 54.9X_g + 47.1X_y + 3.9 \quad \text{式－3}$$

Y：快適さ

X<sub>r</sub>：赤成分，X<sub>g</sub>：緑成分，X<sub>y</sub>：黄成分

式－3 より、評価画像の快適さに対して、赤成分は強い負の影響、緑成分、黄成分は正の影響があることから、緑成分、黄成分と赤成分がお互いの影響を抑制・相殺する効果があると言える。

内川<sup>19)</sup>によると、我々の眼は通常、赤や緑の光にピントを合わせるので、青色光を常にピンボケ状態で見ている。また、青色のスペクトルに応答するS錐体(青錐体)の数が全錐体(L,M,S錐体)の5%しかなく、青色から物の形の情報を取っておらず、青色は形に鈍感である。また、加藤<sup>18)</sup>が行なった二色配色に対する心理的・生理的反応実験の結果にも重なる。

#### (7) 色度緑視率と反対色成分の関係

式－3 より緑成分と黄成分が快適さの増加に寄与することが分かったことから、これらの成分に大きな影響を与えていると考えられる色度緑視率を用いて相関分析を行った(表 5-27)。色度緑視率は、緑成分との間で高い相関、黄成分との間にやや高い相関が確認された。先に示したように植物の葉の色度は図 5-2 の緑色の楕円内にほぼ含まれることから、色度緑視率が緑成分、黄成分を構成する大きな要素であると考えられる。

表 5-27 色度緑視率と4成分との相関係数

	赤成分	緑成分	黄成分	青成分
色度緑視率	-0.375	0.909	0.652	-0.462

評価画像の快適さに対する建物などの人工物の色彩と色度緑視率の影響について考察すると、二色配色に関する加藤<sup>18)</sup>の報告にもあるが、色度緑視率は快適さに対する赤成分の負の影響を抑制・相殺する効果があると考えられる。同時に、赤成分の多い環境では色度緑視率の効果も抑制・相殺されるということでもある。このことは、多彩な色彩が溢れる都心部と閑静な住宅街とでは緑視率の要求水準が異なる可能性があることを示唆している。なお、京都市<sup>9)</sup>が行なったアンケート調査によると、緑視率約18%で“「三山の緑」がある場合”と“「三山の緑」がない場合”の満足度を比較すると“「三山の緑」がある場合”の方が大きな満足度を示すとの結果を得たことから、「三山の緑」の有無により緑視率の設定目標を変えている。

また、図 5-5～図 5-12 の葉の色度分布と図 5-35 を比較すると、葉の色度は緑成分、黄成分ともに数値が低い（低彩度）ことから、緑成分や黄成分についても人工物の高彩度を緩和し、平均彩度を下げる効果も期待できる。

### 5-3 まとめ

一連の調査・分析により得られた結果を次にまとめる。

- 1) 植物の葉の色度は、CIE1976UCSu'v'色度図上の  $u'$  値 0.188、 $v'$  値 0.523 を中心とする傾斜角約  $10^\circ$  の楕円の範囲内（緑視色度領域）にほぼ含まれる。緑視色度領域によりデジタル画像から緑視領域を識別するアルゴリズムとデジタル画像処理技術の組合せにより、色度緑視率を速やかにかつ正確（方眼法による緑視率との相関係数 0.981）に計測できることが確認された。
- 2) 画像の色度領域を基準にしていることから、水面等に写った樹木、遠景の無彩色化した森林、苔の生えた樹幹等緑視率における“緑”の取扱いに定義上の課題である。なお、この手法は紅葉期等の一時期を除外した通常の緑葉期において適用されるものであり、紅葉期等については別途考える必要がある。
- 3) 葉の色度変化をほぼ正確に計測できることから、樹種や時期による葉の色度標準を定めることにより、緑の健全性を加味した緑視率の検討に役立つ可能性等を示唆している。
- 4) 実験 1 及び実験 2 において、若年者と高齢者の評価結果に有意な差は認められなかった。また、実験 1 の 5 つの評価項目の内、快適/不快、好き/嫌い、上品/下品、落ち着く/落ち着かない、の 4 つの項目が相互に高い相関関係を示すが、派手/地味、の項目は他の項目との相関性が低かった。
- 5) 別々に行なった実験 2 の緑の量が好ましい/好ましくないと実験 1 の快適/不快、好き/嫌い、上品/下品、落ち着かない/落ち着く、の 4 つの評価項目が高い相関性を示すとともに派手/地味の項目は相関性が低いことから、緑の量が好ましい/好ましくない、は快適性の概念に影響を与えているものと考えられる。
- 6) 属性緑視率と色度緑視率との間には高い相関性があることから、これまで使っていた属性緑視率を色度緑視率で代替できる可能性があることを示唆している。
- 7) 緑の物理量と緑の心理的評価との関係は心理学（精神物理学）における刺激と反応の関係と考えられ、スティーブンスのベキ法則を用いることが妥当であると示唆される。
- 8) 評価画像の彩度を分割した反対色成分である赤、緑、黄、青の 4 成分と、色彩数を説明変数に用いて「快適さ」を目的変数に重回帰分析した結果、説明変数が全て有意で回帰式の決定係数が最も高い、赤成分、緑成分、黄成分の 3 つを説明変数とする回帰式が最も説明力が高くなった。
- 9) 上記の回帰式の係数が -278（赤成分）、+55（緑成分）、+47（黄成分）であり、特に赤成分が色度緑視率の効果に影響を与える可能性があることから、多彩な色彩が溢れる都心部と閑静な住宅街とでは、緑視率の要求水準が異なる可能性が示唆される。

【補注】

[1] XYZ-Y u'v'変換については、CIE(Commission Internationale de l'Eclairage : 国際照明委員会)の技術資料による。

出典 : [http://www.cie.co.at/index.php/index.php?i\\_ca\\_id=485](http://www.cie.co.at/index.php/index.php?i_ca_id=485), 2015.11.23 閲覧

[2] 色を数値で表す方法には、大きく XYZ 表色系と L\*u\*v\*表色系とがある。XYZ 表色系は、国際照明委員会 (CIE) が 1931 年に定めた統一的な表示基準である。X、Y、Z の三刺激値は、光刺激のエネルギーに比例する尺度である。一般に人間の感覚量と物理量の関係は非線形であることが多く、光や色の感覚においても例外ではない。したがって、物理量に比例した尺度で表される XYZ 色空間は人間の感覚量のスケールに対応していない。一方、L\*u\*v\*表色系は、CIE が 1976 年に定めた均等色空間の一つである。3次元直交座標を用いる色空間を L\*u\*v\*色空間といい、この色空間を用いた表色系を L\*u\*v\*表色系という。XYZ 表色系の xy 色度図は、均等な知覚尺度を持っていないが、u\*v\*色度図は、人の眼による等しい色差感を表したものである。L\*u\*v\*表色系は感覚的に均等な色差を表すことができ、明るさ (L\*軸) と色相及び彩度 (u'v'平面) の混合系の表色系である。

【引用文献】

- 1) 三浦利夫 (1998) 緑空間の機能と評価法の体系化に関する実証的研究, 三重大学生物資源学部演習林報 22, 1-100
- 2) 青木陽二 (2006) 1974年からの緑視研究の歴史, 環境情報科学 34(4), 46-49
- 3) Inada, Katsumi (1985) Spectral Ratio of Reflectance for Estimating Chlorophyll Content of Leaf, Japan Jour. Crop Sci. 54(3), 261-265
- 4) 吉川賢他 (1994) 樹木の葉のクロロフィル濃度の季節的变化, 日緑工誌, 19(4), 215-222
- 5) Berlin, Brent and Kay, Paul (1969) Basic Color Terms: their Universality and Evolution, University of California Press, 178
- 6) 佐川賢 (2005) 年齢を考慮した色の組合せ, 産総研 TODAY, 15-9, 36-37
- 7) 国営昭和記念公園事務所 (2010) 園内マップ ようこそ昭和記念公園へ  
<http://www.showakinen-koen.jp/map/img/map.pdf>, 2016.1.22 閲覧
- 8) 嶋本幸平, 斎藤真人, 中嶋幸宏 (2001) 緑被マップまたは緑視マップの作成方法  
<http://www.j-tokkyo.com/2001/G09B/JP2001-142393.shtml>, 2016.1.22 閲覧
- 9) 京都市 (2011) 第1次京(みやこ)のみどり推進プラン(本編)  
<http://www.city.kyoto.lg.jp/kensetu/page/0000102008.html>, 2016.1.22 閲覧
- 10) 石井愛莉, 佐川賢 (2012) 緑視率の心理的効果—屋内外の比較と年齢の効果—, 日本色彩学会誌 36, 114-115
- 11) 外崎公知 (1980) 住環境における緑地景観に関する研究—札幌市をケーススタディとして—, 北海道大学大学院農学研究科修士論文, 181pp, p65-149
- 12) 国土交通省都市・地域整備局 (2006) 都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812\\_3\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812_3_.html), 2016.1.22 閲覧
- 13) 高橋朋之, 生田京子, 山下哲郎 (2007) 緑視率および緑被率からみた街路における緑景観の評価に関する研究, 日本建築学会東海支部研究報告書第45号, 541-544
- 14) 烏雲巴根, 長谷川祥子, 下村孝 (2010) 中国の都市景観と各種屋上緑化様式の合成画像を用いた中国人大学生による景観評価実験, ランドスケープ研究(オンライン論文集) Vol.3, 43-50
- 15) 外崎公知, 瀧澤惣一 (2011) 均等色度図を用いた緑視率自動計測装置の開発, アーバンインフラテクノロジー・推進会議ホームページ  
<http://www.uit.gr.jp/members/thesis/pdf/honb/329/329.pdf>, 2016.1.22 閲覧
- 16) Ken Sagawa, Soichi Takizawa, Tatsuo Saito, Toshikazu Doi, (2006) : SCALING OF COMFORT FOR A COLOURED SCENE AND DEVELOPMENT OF A COLOUR COMFORT METER, PROCEEDINGS of the ISCC/CIE Expert Symposium'06 "75Years of the CIE Standard Colorimetric Observer", 108-111
- 17) 内川恵二・岡嶋克典 (2008) 感覚・知覚の科学⑤ 感覚・知覚実験法, 朝倉書店,

11-25

- 18) 加藤雪枝(2005) 2色配色に対する心理的および生理的反応, 日本色彩学会誌, 29(3), 210-219
- 19) 内川恵二(2002) 人間は本当に青に鈍感なのか?, 映像情報メディア学会誌, 56(9), 1462-1463

## 第6章 都市における今後の緑化方策

本研究は、今日の社会的背景を踏まえ、緑地がもたらす冷却効果と視覚効果に着目し、近年暑熱化が進行している都市の快適性向上に資する効果的な緑化方策を検討するものである。

前章までの成果を踏まえ、東京都港区をケーススタディに都市における緑地の確保を含む今後の緑化方策について検討を行う。

### 6-1 樹林地の現状と今後の動向

#### 6-1-1 公園緑地

港区みどりの実態調査（第8次）報告書<sup>1)</sup>によると、港区内には平成23年4月1日現在公園緑地が151箇所あり、総面積は102ha、区民一人当たり4.9㎡/人である。平成18年度から平成23年度までの間に、公園緑地の総面積が3.7ha、樹林地面積が2.8ha増加している。平成23年3月に策定された「港区緑と水の総合計画」<sup>2)</sup>によると、公園緑地の整備目標は、平成32年度までに総面積約106ha、21世紀半ばまでに総面積約150ha（新規整備約4ha）である。

今後の取組みの重点は、未開設都市計画公園の整備促進である。港区は、平成26年3月に「港区都市計画公園・緑地の整備方針」を決定し、平成32年度までに優先的に事業を進める「重点化を図るべき公園・緑地」として、芝浦公園等3公園（約2ha）を設定している。また、平成26年4月に「港区公園まちづくり制度実施要綱」を策定し、民間事業者等とも連携し多様な主体による高輪公園等3公園（約4ha）の整備促進を図ることとしている。表6-1に公園緑地の推移を示す。

表 6-1 公園緑地の推移<sup>1)</sup>

	平成13年度	平成18年度	平成23年度	増減
箇所数	127	144	151	7
総面積(ha)	89.0	98.3	102.0	3.7
樹木地面積(ha)	51.5	58.2	61.0	2.8

注) 増減は平成18年度～平成23年度

### 6-1-2 都市計画決定による街づくり地区

港区では、「港区みどりを守る条例」に基づき、敷地面積 250 m<sup>2</sup>以上の建築計画を対象に緑化計画書の提出を義務付け、公共施設・民有施設の緑化を促進している。具体的には、緑化面積の基準として、表 6-2 に示す敷地面積と延床面積に対してそれぞれ緑化率（緑化面積に壁面緑化面積を含めることが可能≠緑被率）を定めている。また、植栽本数の規準として、緑化面積 15 m<sup>2</sup>あたり、高木 1 本、中木 6 本、植栽地の緑被率が 5 割以上となるよう低木を植栽することとなっている。

表 6-3 に示すように、都市計画決定による街づくり地区全体の樹林地面積は最近 5 年間で 3.3ha 増加し、公園緑地による樹林地の増加量 2.8ha を上回っている。また、表 6-4 に示すように街づくり地区全体の緑被率は 23.4%、樹林地面積率は 17.8%である。

このように、中心市街地における緑の創出に関して、民間事業者の役割はますます大きくなってきている。

表 6-2 基準となる緑化率

敷地面積 (m <sup>2</sup> )	緑化率 a	建築用途	緑化率 b
～1,000	3%	敷地面積1,000m <sup>2</sup> 以上の事務所、店舗、工場、学校、庁舎等、その他業務系施設	2.5%
1,000～3,000	4%		
3,000～5,000	6%		
5,000～10,000	8%	住宅、その他住宅系施設敷地面積1,000m <sup>2</sup> 未満の業務系施設	1.5%
10,000～30,000	10%		
30,000～	12%		

表 6-3 樹林地面積の推移<sup>1)</sup>

単位：ha

	公園緑地	街づくり地区	その他	計
平成23年度 樹林地面積	62.6	32.6	287.7	381.9
増減	2.8	3.3	1.2	7.3

注) 増減は平成18年度～平成23年度

街づくり地区：再開発事業等都市計画決定された赤坂・六本木地区等24地区



表 6-4 街づくり地区の緑被状況(平成 23 年度)<sup>1)</sup>

単位 : ha,%

番号	街づくり地区	敷地面積	緑被地面積	樹林地面積	緑被率
1	赤坂・六本木地区	2.9	0.7	0.6	23.0
2	田町駅前西口地区	0.6	0.1	0.1	11.3
3	六本木・虎の門地区	11.5	4.1	3.6	35.6
4	臨海副都心台場地区	54.7	12.5	8.9	22.9
5	田町駅東口地区	5.0	1.2	1.0	23.9
6	品川駅東口地区	15.3	3.1	2.4	20.0
7	汐留地区	21.4	3.9	2.7	18.0
8	六本木一丁目西地区	4.1	1.4	1.3	34.7
9	六本木六丁目地区	12.3	3.4	2.3	27.6
10	芝三丁目東地区	2.1	0.4	0.3	16.9
11	愛宕地区	5.8	3.0	2.9	52.3
12	白金一丁目東地区	2.5	0.5	0.4	19.2
13	環状第二号線新橋・虎の門地区	8.0	0.4	0.3	4.6
14	汐留西地区	5.0	0.3	0.2	6.2
15	赤坂九丁目地区	9.0	3.3	2.1	36.8
16	三田小山町地区	3.0	0.4	0.3	12.4
17	赤坂四丁目薬研坂地区	1.6	0.6	0.5	35.1
18	六本木三丁目地区	0.6	0.1	0.0	10.8
19	南麻布四丁目地区	2.8	0.7	0.4	26.2
20	港南四丁目地区	4.1	0.8	0.5	19.6
21	浜松町一丁目地区	0.7	0.0	0.0	2.1
22	高層住居誘導地区	10.4	2.2	1.6	21.1
計		183.3	42.8	32.6	-
敷地面積に対する割合(%)		-	23.4	17.8	-

注) 緑被地は樹林地、草地、屋上緑地の合計である。

### 6-1-3 街路樹

港区内の国道、都道、区道における街路樹本数は表 6-5 の通りであり、平成 18 年度から平成 23 年度の間には 331 本減少している。経年的な変化を見ると、区道の街路樹本数は増加傾向にあるが、都道と国道の街路樹本数は減少傾向にある。

都道については、平成 24 年度から平成 32 年度までの期間で、防災上重要な路線において、災害時に緊急車両や物資輸送車両及び避難者の通行を街路樹が妨げることのないよう、幹周り 90cm 以上に大径木化した街路樹に対し街路樹防災診断を行い、元気がない街路樹や倒れる恐れのある街路樹の樹勢回復や更新を実施している。

また、平成 27 年 3 月には道路緑化技術基準が大幅に改正され、道路交通機能の確保を前提にしつつ、緑化に求められる機能を総合的に発揮させ、「道路空間や地域の価値向上」に資する道路緑化に努めることとなった。具体的には、①地域特性を考慮した適切な植栽構成への転換、②道路交通の安全確保により重点、③維持管理水準の明確化と適切な更新の実施である。

近年、ストックの増大と維持管理費の削減に伴う管理レベルの低下と質的低下が大きな課題となっており、街路樹の整備・管理についても撤去や廃止等を含む選択と集中が求められている。

表 6-5 道路管理者別の街路樹本数の推移 1)

管轄	単位：本			
	平成7年度	平成13年度	平成18年度	平成23年度
区道	4,072	4,286	5,120	5,344
都道	4,758	5,409	5,569	5,243
国道	2,068	2,163	1,854	1,625
合計	10,898	11,858	12,543	12,212

## 6-2 冷却効果に着目した樹林地の確保方策

### 6-2-1 町丁目単位の樹林地の分布状況

第3章及び第4章の成果より、樹林地の周辺大気への冷却効果は、比較的狭い範囲にしか及ばず、風速や雲量の影響による変動も大きいことから、樹林地の分布状況等についてより詳細に検討する必要がある。

港区全体で樹林地の面積は381.9haであり、樹林地面積率は18.4%である。第8次港区みどりの実態調査のGISデータ等をもとに、117の町丁目単位で樹林地面積率を算出し、樹林地面積率エリア毎に面積割合を集計した。図6-1に示すように樹林地面積率5~10%エリア、10~15%エリア、15~20%エリアがほぼ同割合の20%である。

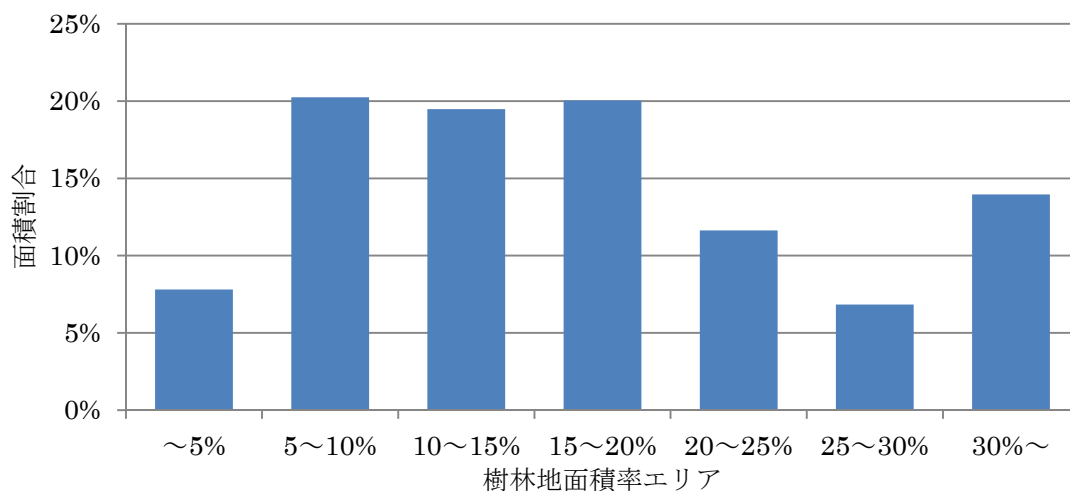


図 6-1 樹林地面積率エリア別の面積割合

### 6-2-2 昼夜間人口と樹林地

平成22年国勢調査によると、港区の昼間人口が約88.6万人、夜間人口が約20.5万人と、昼間人口が夜間人口の4倍以上である。これまで、公園緑地の整備目標である一人あたりの公園緑地面積は、夜間人口（常住人口）を基本に設定された目標である。しかし、都市内部の人口構造は大きく変化しつつある現代において、暑熱化が進行している都市環境の改善策を検討するに際しては、日中の最高気温に関する昼間人口の動態は重要な視点である。

夜間人口の分布については、図6-2に示すように樹林地面積率5~10%エリア、10~15%エリア、15~20%エリアがほぼ同数の約5万人である。一方、昼間人口の分布については、図6-3に示すように樹林地面積率5~10%エリアが最も多い約26万人、次が樹林地面積率10~15%エリアで約22万人である。

樹林地の配置計画に関しては、昼夜間人口を加味すると、樹林地面積率5~10%エリアでの緑化対策が優先度も高く、効果的ではないかと考える。

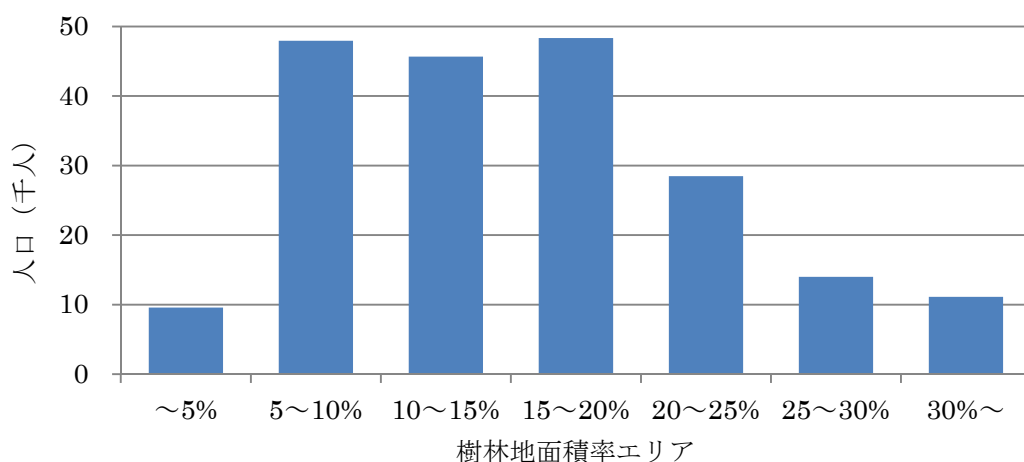


図 6-2 樹林地面積率エリア別の夜間人口

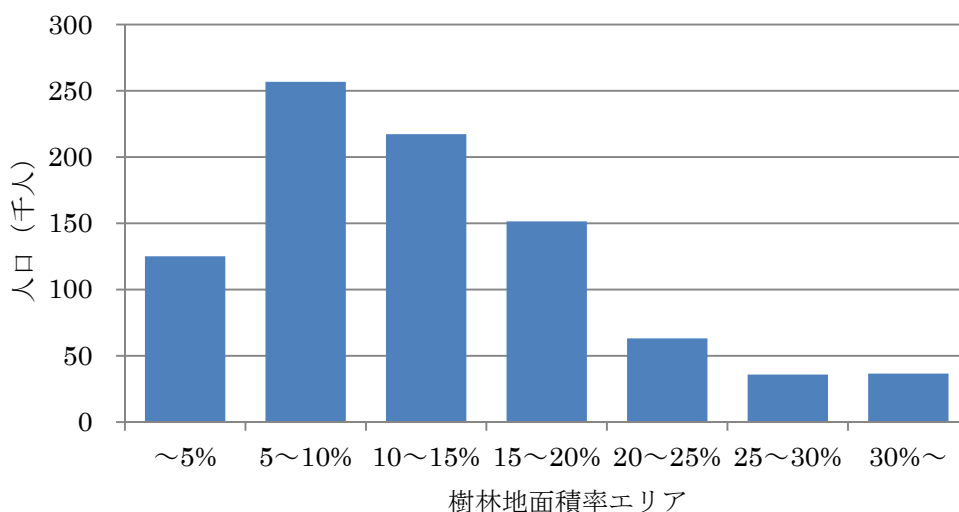


図 6-3 樹林地面積率エリア別の昼間人口

### 6-2-3 夏季における樹林地面積の確保

樹林地面積率 5~10%エリアでの緑化に際しては、限られ緑化空間を有効に活用する必要がある。そのポイントは、夏季における樹林地面積の確保である。

夏季における暑熱環境の改善には、草地等を含む緑被地より樹林地の方が有効であることから、樹林地面積の確保を重視した緑化対策を進める（図 6-4 ①）。

このため、緑化の性能評価については、これまでの高木、中木、低木の植栽本数から、夏季の樹林地面積に重点を移すべきであると考えられる。このことにより、樹林地による冷却効果が発揮されるとともに、豊かな緑陰の形成や維持管理費の低減も期待できる。また、敷地計画上の樹林地面積は確保されているものの、植栽樹木の規格・生育状況、管理方法等により十分な樹冠被覆や緑量が確保されていない場合もあることから、定期的なモニタリング等が必要である。

### 6-3 視覚効果に着目した樹林地の確保方策

#### 6-3-1 平均緑視率の向上

第5章の成果より、緑の量の好ましさと緑視率の関係は非線形（べき乗）であることから、緑視率が相対的に低い地区の方が、心理的評価の改善に対する費用対効果は高いと考えられる。6-2で述べた樹林地面積率5~10%エリアでの緑化に際しては、限られ緑化空間を有効に活用する必要がある。そのポイントは、夏季における平均緑視率の確保である。

昼間人口が多いこのエリアでは、多くの人々が認識できる樹木の配置（動線沿いの植栽）とし、これまでの敷地単位で独立した緑化（図6-4①）から、平均緑視率の確保を重視した緑化にシフトさせていく（図6-4②）。さらに、人々の視線を誘導するなど、動線計画（デザイン）を工夫することにより平均緑視率を向上させることも可能である（図6-4③）。これらの手法を用いることにより、費用対効果の高い緑化を実現することが可能となる。樹林地の設計に関しては、通りを歩く人々の目線を大事にする緑化対策が重要となり、エリアマネジメントの発想が必要である。

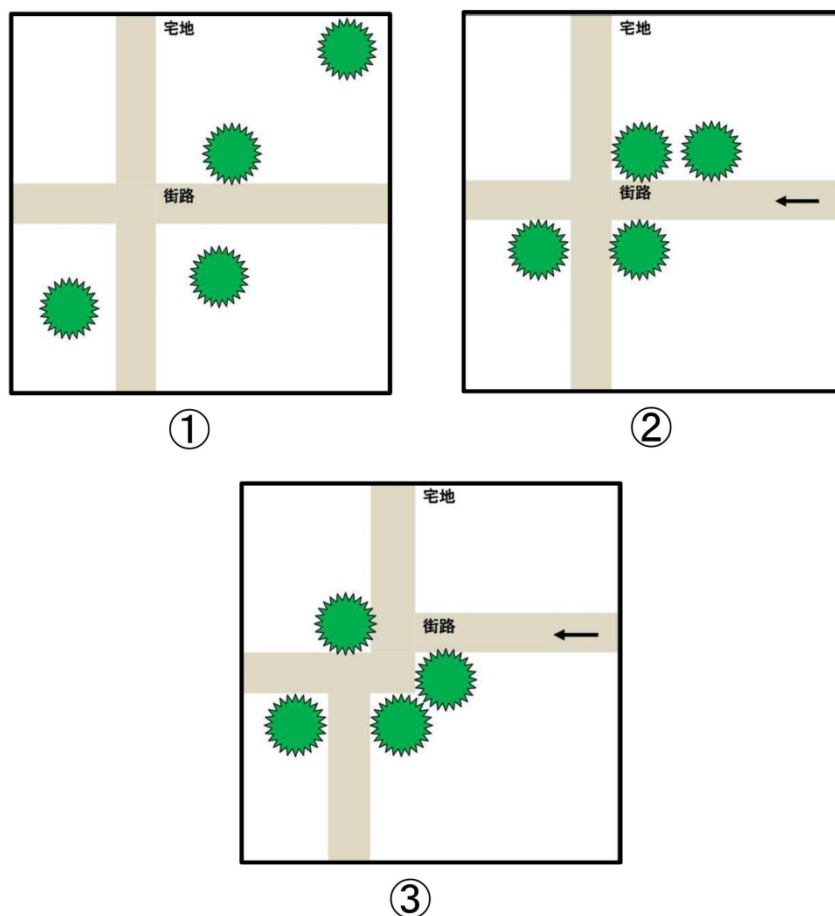


図 6-4 樹林地面積と平均緑視率

### 6-3-2 樹林地面積と平均緑視率に関する改善事項

(枝下高や葉の疎密度)

図 6-5 に示すように同じ樹冠直径の樹木でも、枝下高により緑視率が変化する可能性がある。また、真上から見た葉の疎密度は樹林地面積に、水平方向から見た葉の疎密度は緑視率に影響を与える。ドイツでは以下に示す連邦自然保護法の改正がなされ、同法にもとづき 2010 年 3 月からハンブルグ市などでは樹木保護条例の夏季伐採禁止期間を毎年 3 月 1 日から 9 月 30 日（改正前 8 月 31 日）まで延長している<sup>3)</sup>。また、パリの副都心であるラ・デファンス地区などでは、緑量を確保するために剪定方法を工夫している（図 6-6）。

ドイツ連邦自然保護法 第 39 条 野生動植物の保護

§ 39 (2) Vorbehaltlich jagd- oder fischereirechtlicher Bestimmungen ist es verboten, wild lebende Tiere und Pflanzen der in Anhang V der Richtlinie 92/43/EWG aufgeführten Arten aus der Natur zu entnehmen. Die Länder können Ausnahmen von Satz 1 unter den Voraussetzungen des § 45 Absatz 7 oder des Artikels 14 der Richtlinie 92/43/EWG zulassen

同施行令

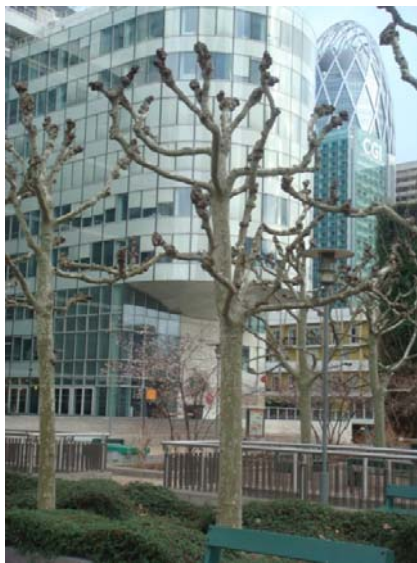
(5) Es ist verboten,

2. Bäume, die außerhalb des Waldes, von Kurzumtriebsplantagen oder gärtnerisch genutzten Grundflächen stehen, Hecken, lebende Zäune, Gebüsche und andere Gehölze in der Zeit vom 1. März bis zum 30. September abzuschneiden oder auf den Stock zu setzen; zulässig sind schonende Form und Pflegeschnitte zur Beseitigung des Zuwachses der Pflanzen oder zur Gesunderhaltung von Bäumen, [http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/\\_\\_39.html#Seitenanfang](http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/__39.html#Seitenanfang)  
2016.1.21 閲覧

樹木の維持管理は大変重要であることから、冷却効果が期待でき第 5 章の 5-1-5 で示したように緑視率も比較的安定している夏季（6 月～10 月）には樹木の伐採や剪定は原則として行わないこととし、また大木化・老朽化による弊害を防ぎ緑化性能を維持するため、樹木の計画的・段階的な管理・更新を行うべきである。



図 6-5 緑視率と枝下高



パリ副都心 La Défense



東京都千代田区靖国通り



パリ近郊 Le Bourget



東京都千代田区水道橋西通り

図 6-6 プラタナスの剪定

(望ましい樹形・樹種)

緑化の用いられる樹木には様々な樹形・樹種があり、樹林地面積と平均緑視率の確保という観点から、有効な樹形・樹種の選定が必要である。図 6-7 に示すように、樹林地面積が同じでも、平均緑視率を確保するという観点からは、円錐型の方がさかずき型よりも効果的である。また、維持管理費の削減等の観点から近年導入されているフェスティギアタ型の樹木は、葉張りが極端に狭く円柱状に生育するため、樹林地面積や平均緑視率の確保という観点からは課題が多い。なお、シンガポールの代表的な街路樹であるブラジリアン・レインツリー（学名：Samanea Saman）は、緑陰確保に有効な樹種として、政府が調査し導入した外来種である<sup>4)</sup>。

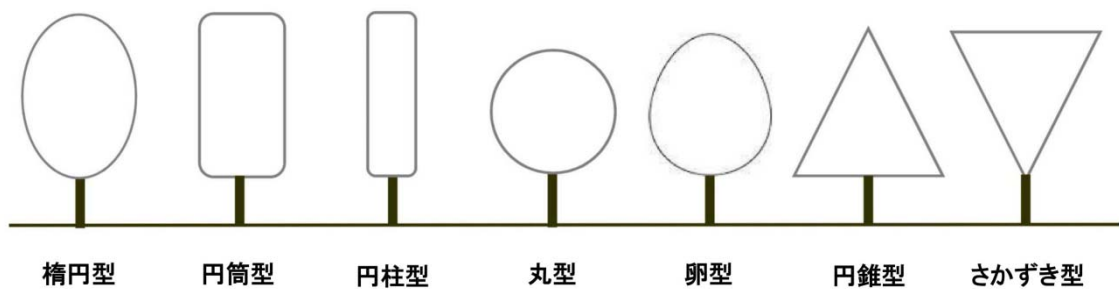


図 6-7 多様な樹木の形状



## 6-4 新たな緑化促進方策

### 6-4-1 暑熱対策緑化街区

都市の中心市街地等において新たに緑を創出する制度には、市街地再開発事業等により計画される公開空地等の制度や建築物の敷地内を対象に一定面積の緑地の確保を義務付ける緑化地域制度などがある。

公開空地については、敷地内の空地又は開放空間のうち、日常一般に公開される部分とされており、要綱等により「質の基準」等が細かく定められている。東京都総合設計許可要綱（平成22年9月施行）によると、「公開空地等のみどりづくり指針」（平成19年7月施行）に適合した上で、①周辺の緑との連続性、②樹種の多様性、③既存樹木の保全・活用、④樹高の高い木の植栽、⑤芝生・水面等による被覆、⑥建築物上の緑化（屋上、壁面、ベランダ）について、実施細目に定める基準に適合するよう努めることになっている。なお、「公開空地等のみどりづくり指針」は、公開空地等の価値の向上を資することを目的に、公共や民間のみどりのネットワークの形成、ヒューマンスケールにおける快適なみどり空間の創出等が努力目標として示されている。また、緑化地域制度の緑化施設については、「植栽、花壇、その他の緑化のための施設及び敷地内の保全された樹木並びにこれらに附属して設けられる園路、土留その他の施設（当該建築物の空地、屋上その他の屋外に設けられるものに限る。）」と定義されている。

これらの制度により、中心市街地において計画的に緑とオープンスペースが確保・創出されるようになり、緑の量的ストックは着実に増大してきた。しかし、緑の実態としては、緑被率、緑の種類、緑地の配置等に課題があるとともに<sup>5), 6), 7), 8), 9), 10)</sup>、暑熱対策が要綱等で具体的に評価される仕組みになっていないこともあり、現行の枠組みでは樹林地面積や平均緑視率の確保に必ずしも結びつかない可能性がある<sup>11)</sup>。

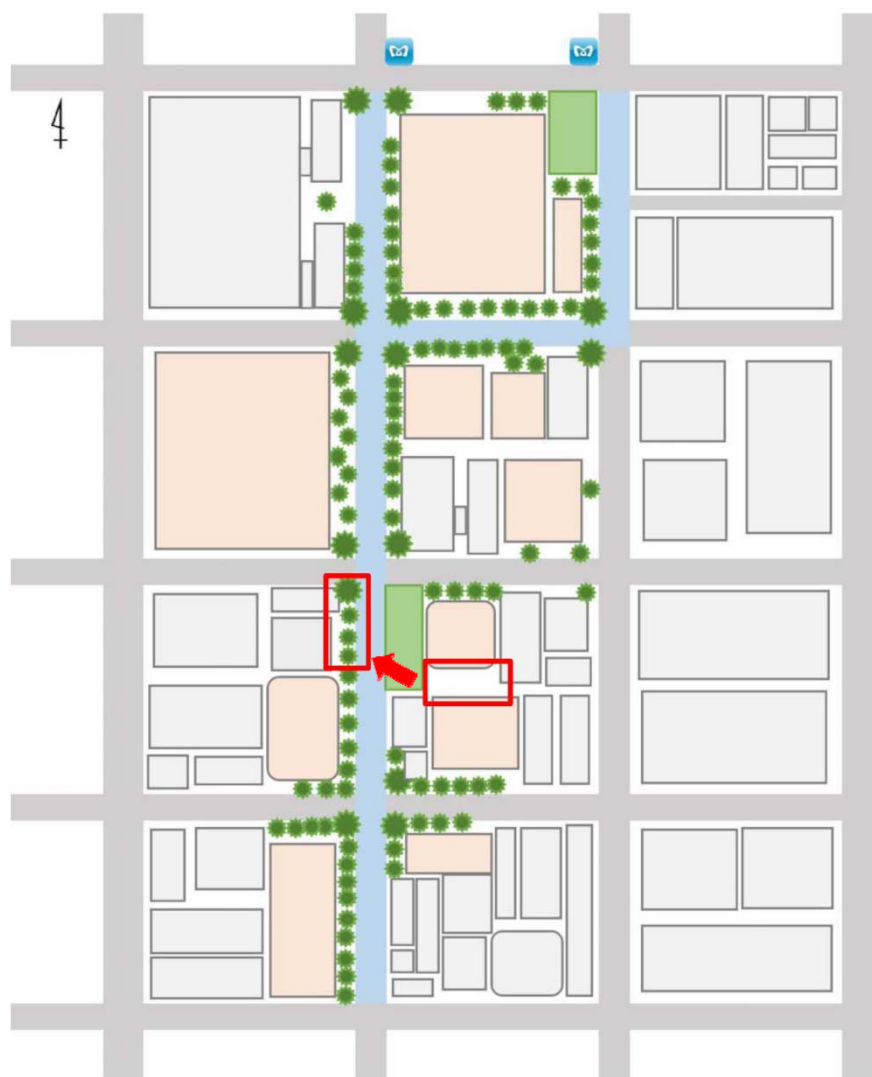
そこで、現行の枠組みを発展させ、戦略的に緑化を進め暑熱対策を強化する街づくりとして「暑熱対策緑化街区」を提案する。暑熱対策の基本は、人工排熱量の抑制と樹林地面積の拡大であることから、街区単位で人工排熱量を指標に確保すべき樹林地面積を設定し、再開発事業等街づくりに関連する事業者による緑化を促進する（図6-8）。その際、樹林地については、当該事業の敷地内で確保することとし、その目的・機能から、一般への公開性、敷地の用途、樹種、植栽本数等は不問とし、整備・維持管理に伴うコストの縮減を図る。

さらに、街区の平均緑視率が向上するよう樹林地は適切に配置するとともに、昼間人口を基本に主要動線沿いに集約させる（図6-9）。その際、樹林地の確保については、街区内であれば当該事業の敷地外でも認める（オフサイト・ミティエーションの導入）こととする。都市公園、街路樹、民有地の緑を単体として固定的に扱うのではなく、一体的なグリーン・インフラストラクチャーとして運用することにより、費用対効果の高い緑を持続的に確保することが可能となる。また、暑熱対策緑化街区と

して評価、改善、認証することにより、暑熱対策の見える化や空間の快適性が継続的に改善される。



図 6-8 暑熱対策緑化街区 I



- 緑地
- まちづくり関連事業(再開発事業等)
- 緑道
- オフサイト・ミティゲーション

図 6-9 暑熱対策緑化街区Ⅱ

#### 6-4-2 街づくりと緑化の一体化

ヒートアイランド対策やその効果については、これまで都市全体の視点で議論されることが多く、その担い手である再開発事業等街づくりに関連する事業者等にそのメリットが実感されにくかったこともあり、緑化には必ずしも積極的ではなかった<sup>12)</sup>。このため、暑熱対策緑化街区の実施により街づくりと都市緑化を一体化させ、官民のWin-Winを促進することが不可欠である。

都市の暑熱対策と地域活性化という観点から、図 6-9 に示すような大木が葉を茂らせひと休みできる緑地の設置とともに、それらを結び日差しや紫外線を遮る緑陰が続く緑道の形成により、緑化による環境改善効果の実効性を上げ、快適で過ごしやすいまちづくりを展開する。なお、寒い季節よりも暑い季節の方が快適性を求めた経路選択傾向が強いとの報告もある<sup>11)</sup>。

また、歩いて楽しい中心市街地を実現するため、車線数の削減や道路形状の曲線化による道路の空間分割、歩行者天国やオープン・カフェ等季節や日時により道路の使い方を変更する道路の時間分割、都市再生歩行者経路協定等により主要施設間を結ぶ歩行者経路の整備等を一体的に実施し緑化空間の充実を図る。機能更新等が求められる既存の都市公園などの公的オープンスペースについては、まちづくりと連携した再整備や新たな緑地確保の財源として有効活用を図る。

市民・事業者等による主体的・継続的なまちづくりが、エリアマネジメントとして期待されていることから、公共・民間の緑もエリアマネジメントの対象に加え、効率的・効果的な維持管理を推進する。

## 6-5 まとめ

都市における緑地の確保を含む今後の緑化方策に関する検討により、得られた成果を次にまとめる。

- 1) 樹林地の現状と今後の動向について検討した結果、中心市街地における緑の創出に関して、民間事業者の役割はますます大きくなってきている。
- 2) 暑熱化が進行している都市環境の改善策を検討するに際しては、最高気温に係る昼間人口の動態は重要な視点である。冷却効果に着目した樹林地の確保方策としては、昼夜間人口を加味すると、樹林地面積率の小さいエリアでの対策が優先度も高く、効果的ではないかと考える。
- 3) 緑の量の好ましさと緑視率の関係は非線形（ベキ乗）であることから、緑視率が相対的に低い地区の方が、心理的評価の改善に対する費用対効果は高いと考えられる。多くの人々が認識できる樹木の配置（動線沿いの植栽）とし、平均緑視率の確保を重視した緑化にシフトさせていくことにより、費用対効果の高い緑化を実現することが可能となる。
- 4) 樹林地面積と平均緑視率を向上させるためには、枝下高、葉の疎密度、望ましい樹形・樹種等に関する性能を適切に評価することが重要である。
- 5) 現行の枠組みを発展させ、戦略的に緑化を進め暑熱対策を強化する街づくりとして「暑熱対策緑化街区」を提案した。市民・事業者等による主体的・継続的なまちづくりが、エリアマネジメントとして期待されており、公共・民間の緑もエリアマネジメントの対象に加え、効率的・効果的な維持管理を推進すること不可欠である。

【引用文献】

- 1) 港区（2012）港区みどりの実態調査（第8次）報告書，264pp，p24-182
- 2) 港区（2011）港区 緑と水の総合計画，142pp，p45-57
- 3) Behörde für Umwelt und Energie of Hamburg（2010）Baumschutz Das grüne Hamburg  
<http://www.hamburg.de/baumschutz/>，2016年1月10日閲覧
- 4) National Parks Board of Singapore(2009) SINGAPORE A CITY IN A GARDEN, URBIO2010 配布 DVD
- 5) 神野桂人，李相浩（1988）総合設計制度の運用実態とその問題点に関する研究－大阪市の事例を中心に－，第23回日本都市計画学会学術研究論文集，145-150
- 6) 長岡篤，小嶋勝衛，根上彰生，宇於崎勝也（2003）東京都総合設計制度によって生み出された公開空地の実態に関する研究，都市計画報告集 2-1(0)，35-39
- 7) 藤原由佳梨，村山顕人，清水裕之（2011）名古屋市緑化地域制度により創出された緑の実態分析，日本建築学会大会学術梗概集（関東），1117-1118
- 8) 鈴木弘孝（2013）公開空地の実態と緑化の特性に関する研究－東京都23区を対象として－，城西国際大学紀要 21，1-15
- 9) 江守央，下川澄雄，木元稜明（2014）総合設計制度による歩道状公開空地の現状に関する基礎的研究－東京都港区を対象とした公開空地の管理について－，平成25年度日本大学理工学部社会交通工学科卒業論文集，137-138
- 10) 瀬島由実加，村上暁信（2015）行政と事業者の立場の違いからみる緑地環境整備における事前協議の有用性－東京都「公開空地等のみどりづくり指針」を事例に－  
[http://toshiv.sk.tsukuba.ac.jp/thesis/H26\\_2014/final/201111264.pdf](http://toshiv.sk.tsukuba.ac.jp/thesis/H26_2014/final/201111264.pdf)，2016年1月22日閲覧
- 11) 一般社団法人 環境情報科学センター（2014）平成25年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査業務報告書  
<https://www.env.go.jp/air/report/h26-01/index.html>，2015年7月26日閲覧
- 12) 吉村美毅（2013）ヒートアイランド現象の緩和と適応のための総合的な建物緑化技術，BELCA NEWS 144号，45-50

## 第7章 本研究の成果と今後の課題

### 7-1 本研究の成果

本研究の目的は、近年暑熱化が進行している都市の快適性向上に資する緑地の冷却効果と視覚効果に着目し、その評価について定量的分析を行い、都市の快適性向上に資する効果的な緑化方策について検討することであった。具体的には、

第一に、緑地が有する夏季における冷却効果について推計を行なうこと、特にヒートアイランド現象の緩和に資する冷却効果が、日中と夜間でどのように発現するかを明らかにし、緑地の単位面積あたりの冷却効果を定量的に推計すること

第二に、都地による緩和が期待されるヒートアイランド現象は気象条件に左右される。一方で緑地の冷却効果も気象条件に大きく影響される。このため、都市の、特に緑地による冷却が大きいとされる夏季夜間における緑地、特に樹林地の温度降下に対する気象条件の影響を明らかにすること

第三に、緑地の心理的機能を定量的に評価する指標である緑視率を客観的な定量データとして、正確・迅速に計測できる計測方法を提案するとともに、緑化による視覚効果について定量的に評価することが目的であった。これに対して、以下の成果が得られた。

第一の緑地が有する夏季における冷却効果については、都市の暑熱化の緩和に資する冷却効果の日中と夜間における発現状況、緑地の単位面積あたりの冷却効果を以下のように示すことができた。

- 8月の日最高気温平均値と各要因データと単相関分析を行った結果、50mメッシュ、150mメッシュ、250mメッシュの各区域ともに樹林地面積と緑地面積が負の相関、人工排熱と延床面積が正の相関を示した。標高を除き、日最高気温平均値との相関係数が最も高い区域規模は150m区域であった。
- 日最高気温平均値を目的変数、樹林地面積と人工排熱量を説明変数とした重回帰分析の結果、都市における気温は、樹林地面積の増加が気温低下に寄与し、人工排熱量の増加が気温上昇の要因になるとの分析結果が得られた。分析範囲については、重回帰式の $p$ 値、決定係数及び説明変数の $p$ 値から、150m区域が最も有意であった。
- 港区の樹林地22,500㎡が有する冷却効果は、681.8GJ/dayの人工排熱量を相殺する量に値し、これは、同区の平均的な規模・用途である3,000㎡程度の延床面積を有する事業所建物の約70棟分から一日に排出される総熱量を相殺・抑制するに等しい。
- 日最低気温平均値を用いて検討した場合も、日最高気温平均値とほぼ同様の結果となった。
- 港区の樹林地22,500㎡が有する冷却効果を、日中（日最高気温）と夜間（日

最低気温)の2つの側面から評価すると、夜間における寄与度がより高いという結果が得られた。

第二の都市の夏季夜間における樹林地の冷却効果に与える気象条件、特に風速と雲量の影響については以下のように示すことができた。

- 港区内27ヶ所の気温観測点における平均気温の降下量(2時00分~4時00分、10分間隔)である温度降下量は、雨天日を除く、風向がSW系統、風速が2m/以上の場合、風速と雲量に対して有意なマイナスの相関があることが確認された。
- 気温観測点間の気温偏差(2時00分~4時00分の平均偏差)である地点間気温偏差は、雨天日を除く、風向がSW系統、風速が2m/以上の場合、風速と雲量に対して有意なマイナスの相関があることが確認された。
- 気温観測点27ヶ所の44日間のデータ(N=1,188)を用い、温度降下量を目的変数に、樹林地面積、風速、雲量を説明変数に用いて重回帰分析を行った。温度降下量に対しては、雲量の係数が有意なプラス、風速の係数は風速2.0m/s以上の場合有意なマイナス、風速2.0m/s未満の場合有意なプラスに寄与することが分かった。また、樹林地面積の係数が有意なプラスであったのは、風速2m/s以上3m/s未満の区間だけであった。
- 上記の結果から、都市の緑地が有する夏季の夜間の冷却効果には、風向風速、雲量が影響することが示唆された。また、風速2m/s前後で冷却の仕組みが異なり、風速がこれ以上の場合には接地逆転層と上空大気の混合が起り、大気から地表への顕熱が供給されるため、周辺大気の温度降下が期待できる。そして、風速が低下するに従いその効果は増加し、風速2m/s前後で最大となることが示唆された。一方、風速がこれ未満の場合は、接地逆転層が強い安定層のため、そこで発生する冷気流の挙動が比較的狭い範囲の気温に大きな影響を与える可能性がある。周辺から流れ込む冷気流が気温を下げる場合があると同時に、丘陵地においては逆に冷気流が流出し、その補償流としての暖気移流が発生し、気温が下がらない場合がある。気象条件や地形条件によっては、周辺大気への温度降下が必ずしも期待できないことや、温度降下の空間的広がりに関する不確実性が比較的高いことが示唆されることから、都市における樹林地の配置・計画等の検討に当たっては、効果が不確実である点に留意する必要がある。

第三に緑地の心理的機能を評価する指標である緑視率を正確・迅速に計測する方法と緑化による視覚効果について以下のように示すことができた。

- 植物の葉の色度は、CIE1976UCSu'v'色度図上のu'値0.188、v'値0.523を中心とする傾斜角約10°の楕円の範囲内(緑視色度領域)にほぼ含まれる。緑視色度領



域（グレイ領域を除く）によりデジタル画像から緑視領域を識別するアルゴリズムとデジタル画像処理技術の組合せにより、色度緑視率を速やかにかつ正確（方眼法による緑視率との相関係数 0.981）に計測できることが確認された。

- 緑の量が好ましい/好ましくないと快適/不快、好き/嫌い、上品/下品、落ち着かない/落ち着く、の4つの評価項目が高い相関性を示すとともに派手/地味の項目は相関性が低いことから、緑の量が好ましい/好ましくない、は快適性の概念に影響を与えているものと考えられる。
- 緑の物理量と緑の心理的評価との関係は、心理学（精神物理学）における刺激と反応の関係と考えられ、スティーブンスのベキ法則を用いることが妥当であると示唆される。
- 評価画像の彩度を分割した反対色成分である赤、緑、黄、青の4成分と、色彩数を説明変数に用いて「快適さ」を目的変数に重回帰分析した結果、説明変数が全て有意で回帰式の決定係数が最も高い、赤成分、緑成分、黄成分の3つを説明変数とする回帰式が最も説明力が高くなった。この回帰式の係数が-278(赤成分)、+55(緑成分)、+47(黄成分)であり、特に赤成分が色度緑視率の効果に影響を与える可能性があることから、多彩な色彩が溢れる中心市街地と閑静な住宅街とでは、緑視率の要求水準が異なる可能性が示唆される。

以上、近年暑熱化が進行している都市の快適性向上に資するために、本研究では緑地の冷却効果と視覚効果に着目し、その評価について定量的分析を行い、その有効性について検討した。そして、緑地、特に樹林地の冷却効果と視覚効果を踏まえた効果的な緑化方策として「暑熱対策緑化街区」等を提案した。

## 7-2 今後の課題

本研究で示すことができなかった課題について、最後に述べる。

### 【学術的な課題】

#### (1) 緑地が有する夏季における冷却効果

本研究で得られた成果は、全て、東京都港区内の各観測地点で記録された気温データに依拠しているため、立地条件や都市形態の異なる地域で同様の分析を行い、緑地が有する冷却効果の評価の客観性を吟味する必要がある。

#### (2) 緑地の冷却効果に対する風向風速の影響

本研究で用いた風向風速に関するデータは、気象庁の東京アメダス局(大手町)で記録されたものを用いているため、各観測地点の風向風速を正確に反映したものでない。このため、気温と風向風速を同時に測定し、緑地の冷却効果に対する風速の影響についてより精度の高い分析を行うことが必要である。

#### (3) 風速 0.3m/s 未満の条件下での緑地の冷却効果

本研究では風速 0.3m/s 未満を分析対象から除外したが、風速静穏下における緑地の冷却効果について、第3章に準拠し気温と、既存の樹林地面積、緑地面積、人工排熱、延床面積、標高、新たに傾斜、海岸線からの距離等を用い、重回帰分析等を進める必要がある。

#### (4) 緑視率への心理的評価手法の改善

本研究で得られた成果は、若年者(女子10名)と高齢者(男女各8名)の心理実験によるもので、若年者の性別に偏りがあるため、性別を含め属性による心理的評価の差異について検討を行う必要がある。

#### (5) 緑視率の動的な知覚情報等への展開

本研究では、色度緑視率を二次元の画像上で静的な知覚情報として計測したが、今後、計画や設計への展開を考えると三次元の知覚空間(奥行き、視点、視野等)に占める緑量や移動空間における動的な知覚情報という観点でのアプローチが必要である。

### 【社会実装上の課題】

#### (1) 中長期的な都市緑化戦略

限られた樹林地整備フローを、官民が連携し、中長期的な視点に立ち、如何に合理的に役割分担するかが重要になる。特に、樹林地が少なく昼間人口が多い中心市街地においては、緑の多面的機能を意識した樹林地の実効性ある配置が求められる。

#### (2) 緩和策と適応策の連携

緑地の冷却効果は気象条件に大きく影響され、温度降下の空間的広がりに関する不確実性が比較的高い。このため、緑地の配置に当たっては、緩和策としての

気温降下量のみならず、街路樹・壁面緑化等による日射遮蔽や赤外放射低減等人の健康への影響等を軽減する適応策にも留意することが、費用対効果の観点からも有効である。暑熱環境の緩和と適応の相乗効果が期待できる樹林地配置についての検討が求められる。

(3) 動的な緑視率の評価・計画手法の検討

現状の緑視率が小さい場所ほど、緑化による心理的環境改善効果が大きいことから、緑の配置に当たっては、人々の動線や視線方向を踏まえ、緑視率の最適化やシーケンス評価について検討することが重要である。

(4) シミュレーション手法の開発

上記の検討を効果的・効率的に進めるとともに、多様な主体との合意形成を促進するためには、3D 動画や樹木の生長エンジン等視覚化を含むシミュレーション手法は、重要なツールであることから、その開発が必要である。

(5) 新たな緑化技術の開発

緩和策・適応策、色度緑視率として緑化性能を発揮できるような樹種、植栽計画、管理手法等について、新たな技術開発が必要である。その際、樹木への暑熱ストレス対策等にも十分留意する必要がある。

(6) 関係諸制度の充実

都市緑化により健康で快適な暮らしを実現するためには、特に暑熱対策の緩和策と適応策については、官民が連携しまちづくりと一体的に推進する必要があることから、低炭素まちづくり計画、緑化地域制度、総合設計制度等の公開空地の質の規準等まちづくり関係制度の充実が求められる。

## 謝 辞

本研究は、著者が公益財団法人都市緑化機構在職中に、東京大学大学院工学系研究科教授 花木啓祐博士の指導のもとで行ったものである。花木教授には、終始暖かい激励とご指導、ご鞭撻を頂いたことに深く感謝しております。

学位論文審査において、貴重なご指導とご助言を頂いた東京大学大学院工学系研究科教授 横張真博士、同大学生産技術研究所教授 大岡龍三博士、同大学国際高等研究所サスティナビリティ学連携研究機構教授 福士謙介博士、同大学先端科学技術研究センター准教授 小熊久美子博士に心より感謝申し上げます。

株式会社創建副社長 川合史朗博士、同社政策研究第一グループマネージャー 所功治氏には、本研究を始める契機をつくって頂くとともに、貴重なご支援・ご協力を頂き、心より感謝申し上げます。

防衛大学校地球海洋学科准教授 菅原広史博士には、気象の研究に関して貴重なご助言を頂き、心より感謝申し上げます。

日本女子大学家政学部被服学科非常勤講師 佐川賢博士、アドバンストシステムズ株式会社 瀧澤惣一氏には、色度の研究に関して貴重なご支援・ご協力を頂き、心より感謝申し上げます。

最後になりますが、いつも心の支えになってくれた妻和子に心から感謝します。ありがとう。

