

岡崎市内の都市公園が有する生態系サービス評価額の算出

人間環境大学 人間環境学部 環境科学科 江口則和・野中僚

要 旨

これまで統一的评价が困難だった生態系サービスを、貨幣価値として示すことのできる「i-Tree Eco」というシステムが米国で開発された。本研究では、このシステムを岡崎市内の4つの都市公園に適用して、各公園の有する生態系サービスの貨幣価値を算出することを目的とした。現地調査及びデータ解析の結果、生態系サービスの評価額は参考値で1公園あたり約110万円と試算された。また、生態系サービスを高めるための整備方針として、高木性樹木を多数植栽して被覆面積を多くすること、多植栽して植栽木の多様度を高めることが重要といえた。

1. はじめに

急激な気候変動によって、近年、災害、ヒートアイランド現象、大気汚染等様々な環境リスクと、それに伴う健康リスクが生じている。その対策として、都市の樹林等のグリーン・インフラストラクチャーによる生態系サービスに注目が集まっている¹⁾。

生態系サービスとは、樹木による温室効果ガスである二酸化炭素の吸収や大気汚染物質の吸着など、生物・生態系に由来した人類の利益になる機能のことを指す。その機能は多種多様であることから、各生態系が持つ生態系サービスを統一的に評価することは難しい。我が国においても、生態系サービスを総合的に評価する統一的手法が未だ確立されていない状況である。このことから、生態系サービスを定量的・経済的に評価するための研究も進められている²⁾。そして近年、米国Forest Serviceにおいて、生態系サービスの定量的・経済的な評価を行うことのできるアプリケーションシステム（以下、アプリ）が開発された。

このアプリはi-Tree Eco（以下、i-Tree）と呼ばれる³⁾。i-Treeは、街区から都市・地域まで様々なスケールでの樹林が持つ生態系サービスを、貨幣価値として換算することのできるツールである。i-Treeによって、生態系サービスの定量的・経済的な評価が容易になれば、行政の政策決定や都市緑化を行う上での指標の一つとなり、都市環境の改善につながる可能性も考えられる。

現在、i-Treeはアメリカ、オーストラリア、カナダ、イギリスの4か国を中心に世界各地で利用されている³⁾。一方、我が国においては、川崎市³⁾や京都市⁴⁾でわずかに研究報告があるのみである。i-Treeを実用化していくためには、使用実績を増やして国内向けにカスタマイズする必要もあることから^{3,4)}、国内各地で利用してデータを集積することが求められる。

愛知県岡崎市は、約38万人もの人口を抱えながら、竜美ヶ丘公園や甲山の森などの自然の緑地が残っているなど、緑豊かな中核市である⁵⁾。特に市街地における緑は、都市公園に集中していることから、都市公園の整備方法や保全方針を考える際に、都市公園の樹木が持つ生態系サービスについても評価する必要があると考えられる。このとき、i-Treeを用いて都市公園の樹木の生態系サービスを貨幣価値として「見える化」することは、整備事業の費用対効果を考える上でも有効であるといえる。

そこで本研究では、(1) i-Treeによって岡崎市内の都市公園の生態系サービスを貨幣価値

として評価するとともに、(2) 生態系サービスを強化するための都市公園の整備・造成方針について検討することを目的とする。

2. 方法

(1) 調査地

本研究では、市民の生活により身近な公園を対象とするため、岡崎市内に存在する都市公園のうち、名鉄名古屋本線及び愛知環状鉄道の最寄り駅から徒歩 15 分以内であり、周囲が住宅街や工業区である 4 つの公園を選んだ。対象としたのは、美合公園（岡崎市美合町、N34. 92、E137. 20）、境公園（岡崎市大門、N34. 98、E137. 15）、山元公園（岡崎市岡町、N34. 92、E137. 20）、大西公園（岡崎市大西、N34. 94、E137. 18）である。ただし、これらの公園の中で、柵等により侵入不可能な箇所については、調査区域から除外した。

(2) 野外調査項目

本調査は令和 2 年 8 月 31 日～令和 2 年 9 月 10 日に実施した。対象とした公園において、樹種、樹高、胸高直径（地上高 1. 3m 位置の樹幹直径、以下、DBH）、露光方向数、樹冠欠損率、周囲の土地利用の 6 項目を調査した。

樹高については、測竿及びレーザー距離計（トゥルーパルス 360、(株) 阪神交易、大阪市）を用いて測定し、10cm 単位で記録した。DBH については、直径尺を用いて、1 cm 単位で記録した。ただし、胸高直径が 2cm 以下の低木については対象外とした。露光方向数は、方位磁石で北の方角を確認し、周辺の樹木、及び建築物によって光が遮られていない方向数を、東西南北と上部方向の最大 5 方向で記録した。樹冠欠損率は、対象樹木に葉がない状態を 100%、葉が全体に覆われている状態を 0% として、目視で判断した。周囲の土地利用については、住宅地や農地など目視で判断して記録した。

毎木調査によって得られた樹種及び個体数データからシンプソンの多様度指数⁶⁾を算出し、対象公園に植栽された樹種の多様性を評価した。なお、シンプソンの多様度指数は式(1)で算出される。

$$1 - \left[\left(\frac{\text{樹種1の個体数}}{\text{全体の個体数}} \right)^2 + \left(\frac{\text{樹種2の個体数}}{\text{全体の個体数}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\text{樹種nの個体数}}{\text{全体の個体数}} \right)^2 \right] \quad \dots(1)$$

(3) i-tree Eco での算出

本調査結果から貨幣価値を算出できる生態サービスは、光合成活動による二酸化炭素の蓄積と固定（炭素蓄積量、年間炭素固定量）、樹冠による大気汚染物質の吸着（年間大気汚染物質除去）、樹冠による降雨の遮断（年間雨水流出量削減）であった。貨幣価値の算出には、2020 年 10 月時点での最新バージョンである「i-Tree (ver. 6. 0. 21)」を使用した。また、解析に当たって対象都市を入力する必要があるが、2020 年 10 月時点で東京都以外は選択できなかったため、岡崎市に最も人口密度に近い東京都あきる野市を選び、その地形データ及び 2016 年の気象データを用いた。

調査データについては、樹種を全て英名して入力する必要がある。ただし、本調査で確認された樹種のうち、キンモクセイ (*Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus*)、ヤエベニシダレ (*Cerasus spachiana* Lavalee ex H. Otto f. *spachiana*)、ツブラジイ (*Castanopsis cuspidata*)、マサキ (*Euonymus japonicus*)、カイズカイブキ (*Juniperus chinensis* 'Kaizuka')、キョウチクトウ (*Nerium oleander* var. *indicum*) の 6 種については、英名が i-Tree のサーバー上で確認ができなかった。そのため、この 6 種については i-Tree サーバー上で入力できる近縁な種、或いは属名で入力した。すなわち、キンモクセイはギンモクセイ (*O. fragrans*) に、ヤエベニシダレはシダレザクラ (*C.*

spachiana) に、ツブラジイはシイ属 (*Castanopsis* spp.) に、マサキはニシキギ属 (*Euonymus* spp.) に、カイズカイブキはイブキ (*J. chinensis*) に、キョウチクトウはセイヨウキョウチクトウ (*N. oleander*) とした。

貨幣価値の算出については、データ入力時の 2020 年 11 月 24 日時点の為替レートである 1 ドル=104.3652 円を参照し、システム上のデフォルト値である、炭素固定量は 1 トン当たり 20,325.42 円、雨水流出量は 1 立方メートル当たり 256.246 円を用いた。

(4) 生態系サービスの貨幣価値に影響を与える公園パラメータ

公園内の生態系サービスが高くなるような整備方針を検討するため、各生態系サービスの貨幣価値 (炭素蓄積量、年間炭素固定量、年間大気汚染物質除去、年間雨水流出量削減) に影響を与える公園パラメータ (植栽木の種数、植栽木の個体数、植栽木による被覆面積 (i-Tree から算出)、植栽木の多様度指数) を調べた。貨幣価値と公園パラメータとの関係は、以下の 5 つの一般化線形モデルを組み立て (式 (2) ~ (6))、どのモデルの当てはまりがもっともよいか調べることで評価した。各モデルは次のとおりである。

$$\text{model1: 各生態系サービスの貨幣価値} \sim a_{01} + a_{11} \times \text{種数} \quad \dots(2)$$

$$\text{model2: 各生態系サービスの貨幣価値} \sim a_{02} + a_{12} \times \text{個体数} \quad \dots(3)$$

$$\text{model3: 各生態系サービスの貨幣価値} \sim a_{03} + a_{13} \times \text{被覆} \quad \dots(4)$$

$$\text{model4: 各生態系サービスの貨幣価値} \sim a_{04} + a_{14} \times \text{多様度指数} \quad \dots(5)$$

$$\text{model5: 各生態系サービスの貨幣価値} \sim a_{05} \quad \dots(6)$$

応答変数の分布はガンマ分布を仮定し、リンク関数は log とした。各モデルの当てはまりは赤池情報量基準 (AIC) により評価した。すなわち、それぞれの生態系サービスごとに、AIC が最小となったモデルを最適モデルとした。解析には統計解析ソフト「R (ver 4.0.2)」を用いた。

3. 結果

(1) 公園の状況

調査した公園全体では、38 樹種、220 個体が植栽されていた。公園ごとでは、山元公園では 15 種 31 個体、大西公園では 4 種 29 個体、美合公園では 19 種 101 個体、境公園では 10 種 59 個体であった (表 1)。

各公園の樹木による被覆面積は、大きい順に美合公園 0.52ha、境公園 0.50ha、山元公園 0.18ha、大西公園 0.05ha であった (表 1)。

各公園の多様度指数の値は、大きい順に美合公園 0.883、山元公園 0.880、境公園 0.756、大西公園 0.647 であった (表 1)。

表 1 公園の状況

| 公園 | 種数 | 個体数 | 被覆(ha) | 多様度指数 |
|------|----|-----|--------|-------|
| 美合公園 | 19 | 101 | 0.52 | 0.88 |
| 境公園 | 10 | 59 | 0.50 | 0.76 |
| 山元公園 | 15 | 31 | 0.18 | 0.88 |
| 大西公園 | 4 | 29 | 0.05 | 0.65 |

(2) 貨幣価値の算出

4 公園全体では、炭素蓄積量が約 4,020,000 円 (197.9 t)、年間炭素固定量が約 143,000

円/年 (7.038 t/年)、年間大気汚染物質除去が約 99,600 円/年 (93.39kg/年)、年間雨水流出量削減が約 74,400 円/年 (290.5 m³/年) と推定された。これら 4 公園の結果から、1 公園当たりの貨幣価値を算出すると、109.9±77.5 万円 (平均値±標準偏差) であった。

公園ごとで見ると、炭素蓄積量の最も大きかったのは境公園の 1,980,000 円、最も小さかったのは大西公園の 198,000 円だった (表 2)。年間炭素固定量の最も大きかったのは美合公園の 63,800 円/年、最も小さかったのは大西公園の 9,930 円/年だった (表 2)。年間大気汚染物質除去の最も大きかったのは山元公園の 75,900 円/年、最も小さかったのは大西公園の 5,360 円/年だった (表 2)。年間雨水流出量削減の最も大きかったのは美合公園の 34,800 円/年、最も小さかったのは大西公園の 3,790 円/年だった (表 2)。

表 2 各公園が有する生態系サービスの貨幣価値

| 公園 | 炭素蓄積量 (円) | 炭素固定量 (円/年) | 大気汚染物質除去 (円/年) | 雨水流出削減 (円/年) |
|------|--------------|----------------|-------------------|-----------------|
| 美合公園 | 1,470,000 | 63,800 | 47,900 | 34,800 |
| 境公園 | 1,980,000 | 48,500 | 33,200 | 22,500 |
| 山元公園 | 373,000 | 20,800 | 75,900 | 8,770 |
| 大西公園 | 198,000 | 9,930 | 5,360 | 3,790 |

(3) 生態系サービスの貨幣価値に影響を与える公園パラメータ

炭素蓄積量について、最適なモデルは model3 であり (表 3)、被覆面積が大きくなるほど貨幣価値も高くなった (図 1)。

年間炭素固定量について、最適なモデルは model3 であり (表 3)、被覆面積が大きくなるほど貨幣価値も高くなった (図 2)。

年間大気汚染物質除去について、最適なモデルは model4 であり (表 3)、多様度指数が大きくなるほど貨幣価値も高くなった (図 3)。

年間雨水流出量削減について、最適なモデルは model3 であり (表 3)、被覆面積が大きくなるほど貨幣価値も高くなった (図 4)。

表 3 生態系サービスの貨幣価値と公園パラメータとの関係

| 【応答変数】 | model1 | model2 | model3 | model4 | model5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 炭素蓄積量 | 123.71 | 121.32 | 108.99 | 123.95 | 122.31 |
| 炭素固定量 | 94.01 | 91.14 | 82.69 | 94.84 | 94.64 |
| 大気汚染物質除去 | 93.74 | 98.48 | 98.33 | 90.60 | 96.51 |
| 雨水流出削減 | 88.59 | 85.31 | 78.58 | 89.54 | 89.56 |

model1 は説明変数に公園樹木の種数を、model2 は説明変数に公園樹木の個体数を、model3 は説明変数に公園樹木による被覆面積を、model4 は説明変数に公園樹木の多様度指数を用いている。model5 は切片のみのモデルである。表中の値は赤池情報量基準 (AIC) を示す。

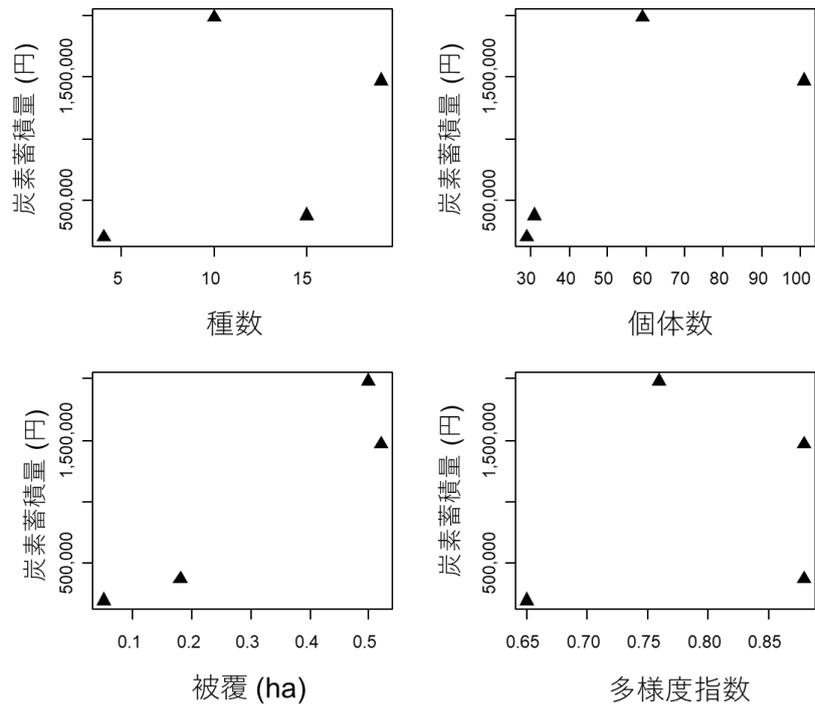


図1 炭素蓄積量と公園パラメータとの関係

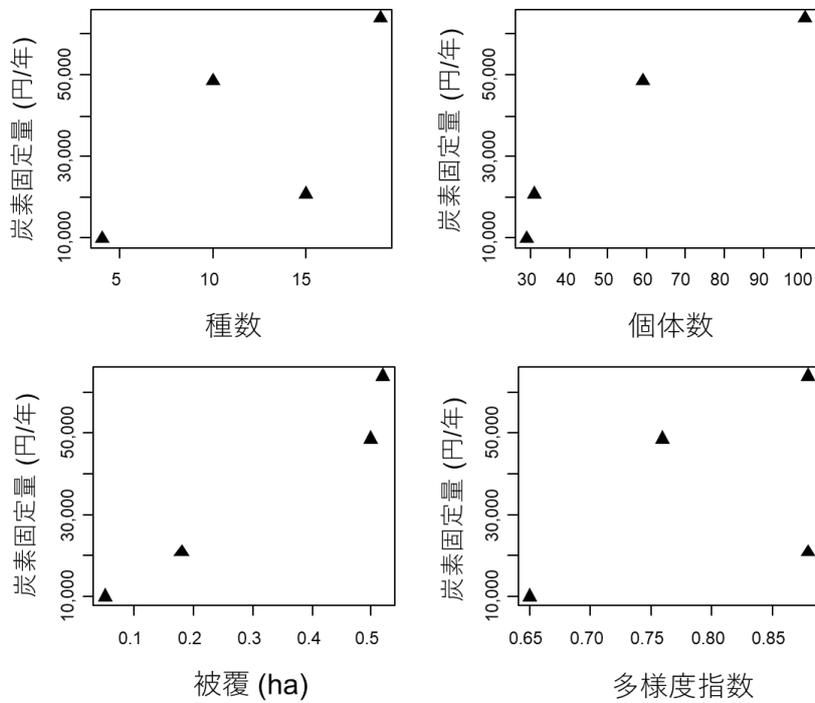


図2 年間炭素固定量と公園パラメータとの関係

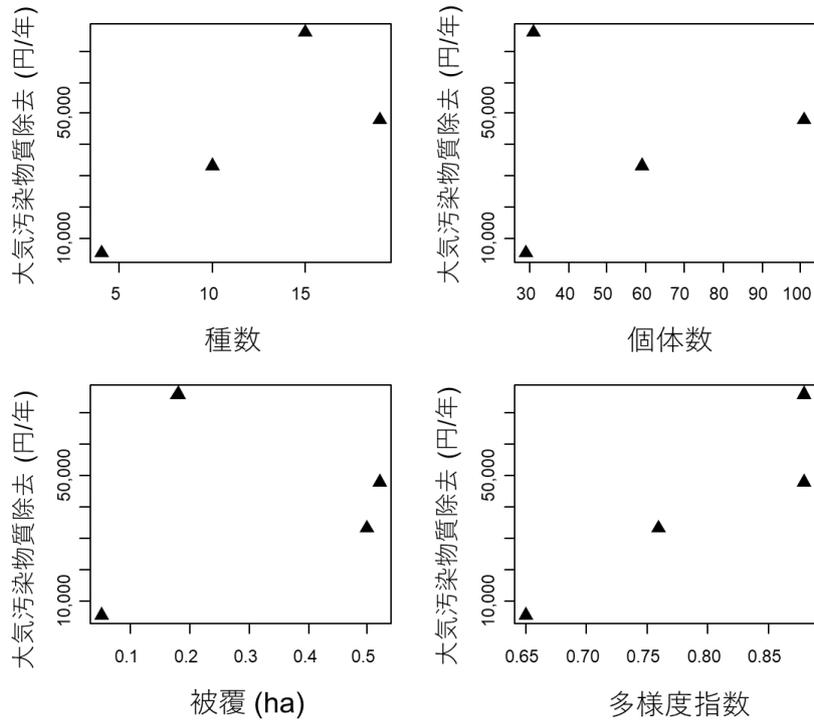


図3 年間大気汚染物質除去と公園パラメータとの関係

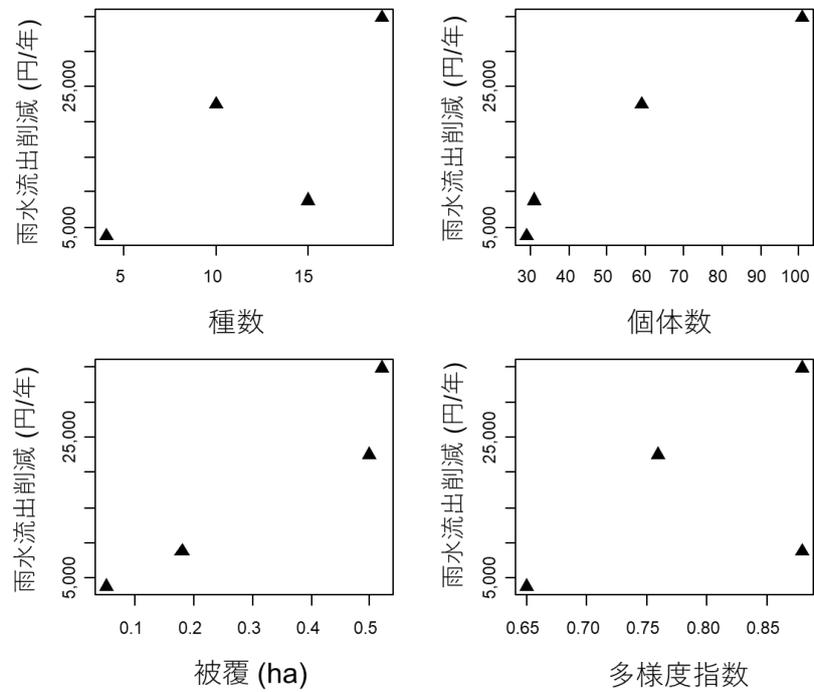


図4 年間雨水流出削減と公園パラメータとの関係

4. 考察

本研究により、岡崎市内における都市公園の生態系サービスの価値を算出でき、1公園あたり平均約110万円ということが示された。各公園で樹種構成や植栽本数が異なるため(表1)、各公園の評価額は大きくばらついた(表2)。しかしながら、本データはi-Treeを国内の都市公園に初めて適用した事例であることから、今後のi-Treeの実用化に向けた基本データの一つになると考えられる。

この1公園あたり約110万円という貨幣価値について、今回の解析は東京都あきる野市を想定としたものである。そのため、岡崎市で考える場合には参考値という扱いになる。本研究のように、東京都以外でi-Treeを利用した場合、現時点ではすべて東京都のデータを利用することになることから、評価額はすべて参考値とせざるを得ない。各自治体でi-Treeを利用しながら公園整備計画を検討する際には、この点を注意する必要がある。しかしながら、現在国内向けカスタマイズの研究も進められていることから^{3,4)}、各地でのデータ蓄積が進めば、国内各地で利用しやすいシステムにバージョンアップされることも期待できる。すなわち、今後は国内各地でのデータ蓄積が重要である。

本研究では生態系サービスの貨幣価値を高めるための公園整備について検討したが、貨幣価値を高めるポイントとして2つ挙げられた。一つは公園内樹木の被覆面積を増やすこと、もう一つは公園内樹木の多様度指数を高めることである。

被覆面積が大きいほど、炭素蓄積量(図1、表3)、年間炭素固定量(図2、表3)、年間雨水流出量(図4、表3)が高くなった。被覆面積が大きいということは、サイズの大きな樹木、葉を多く付けた樹木が多数存在し、光合成や遮断蒸発が盛んということを示しているといえる。川崎市において、i-Treeを用いて街路樹での生態系サービスを検討した先行研究では、葉の量の違いや、各樹種の葉の大きさの違いで貨幣価値に違いが認められた³⁾。このことから、高木性の樹木を多数植栽して被覆面積を多くするような公園づくりは、生態系サービスを高めることにつながると考えられる。

一方、公園内樹木の多様度指数が大きいほど、年間大気汚染物質除去の効果が高くなった(図3、表3)。樹木には大気汚染物質を吸着する機能があるが⁷⁾、その機能は樹種によって大きく異なる⁸⁾。公園の植栽木は、大気汚染物質の吸着のみを目的とするものでもないため、能力の高い樹木ばかりを植えるわけにもいかない。しかしながら、例えば常緑広葉樹よりも落葉樹広葉樹で吸着能力が高いことから^{3,9)}、常緑性だけでなく落葉性の樹木も含めて公園を造成することで、大気汚染物質の除去能力は高まる。このようなことから、公園内に多くの種を植えることが、機能の高い公園につながると考えられた。

今回調査を行ったのは岡崎市内に204か所ある都市公園の内の4か所ではない。岡崎市内の生態系サービスの全体像を把握するためには、今後追加の調査を行う必要があるだろう。また本研究では収集データが不足したため扱うことができなかったが、i-Treeを用いることで、緑が存在することによる医療費および冷暖房費削減の効果を貨幣価値として評価することができる⁴⁾。今後これらのデータを収集することによって、i-Treeの実用化に貢献できると考えられる。

まとめとして、本研究によって、参考値ではあるが、岡崎市内4つの都市公園の生態系サービスを、貨幣価値として算出することができた。その額は、ばらつきが大きいものの、1公園あたり約110万円(参考値)であった。また、都市公園の生態系サービスを高めるためには、高木性の樹木を多数植栽して被覆面積を多くすること、多種の樹木を植栽して植栽木の多様度を高めることが重要といえた。本成果は、国内におけるi-Treeの実用化に向けた基礎

データになりうると考えられる。

引用文献

- 1) K. Tzoulas, K. Korpela, S. Venn, V. Yli-Pelkonen, A. Kazmierczak, J. Niemela and P. James, “Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review”, *Landscape and Urban Planning*, 2007, pp. 167-178.
- 2) P. Bolund and S. Hunhammar, “Ecosystem services in urban areas”, *Ecological Economics*, 1999, pp. 293-301.
- 3) 平林聡・徳江義宏・伊藤綾, A. Ellis, R. Hoehn, 今村史子・森岡千恵, 「川崎市川崎区を事例とした i-Tree Eco による街路樹の生態系サービスおよびその貨幣価値の推定」『日緑工誌』, 2016 年, 44-49 頁
- 4) 平林聡・譚瀟洋・柴田昌三, 「i-Tree Eco の医療費・冷暖房費削減モデルの日本向けカスタマイズ」『日緑工誌』, 2019 年, 200-203 頁
- 5) 岡崎市, 「岡崎市ってこんなところ」, <https://citypromotion.okazaki-kanko.jp/okazaki> (閲覧日 2021 年 3 月 10 日)
- 6) 鷺谷いづみ・矢原徹一「多様性指数とその効用」『保全生態学入門』文一総合出版, 1996 年, 126-127 頁
- 7) 石井弘明・徳地直子・榎木勉・名波哲・廣部宗「森林生態系の保全と管理」『森林生態学』朝倉書店, 2019 年, 140-158 頁
- 8) 独立行政法人 環境再生保全機構『大気浄化植樹マニュアル』, 2014 年, 242 頁
- 9) 近藤隆之・神保高之・島田和保・大西勝典・大政謙次「富山県における樹木の大气汚染物質吸収能力の比較」『全国環境研究会誌』, 2002 年, 41-50 頁

謝辞

本研究の実施にあたり、多くの助言を頂いた香川大学創造工学部・小宅由似助教、京都大学大学院地球環境学舎・譚瀟洋氏、The Davey Institute の平林聡氏に厚く御礼申し上げます。なお本研究は、岡崎大学懇話会による産学官共同研究助成を受けて実施しました。