

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

平林 聡^{*1)}・徳江 義宏²⁾・伊藤 綾³⁾・Alexis Ellis¹⁾・Robert Hoehn⁴⁾
・今村 史子²⁾・森岡 千恵⁵⁾

- 1) The Davey Institute, The Davey Tree Expert Company
- 2) 日本工営株式会社中央研究所総合技術開発部自然環境グループ Nippon Koei Co., Ltd., R & D Center, Natural Env. Gr.
- 3) 伊藤綾技術士事務所 Aya Ito Professional Engineer Office
- 4) Northern Research Station, United States Forest Service, United States Department of Agriculture
- 5) 日本工営株式会社社会システム事業部環境部 Nippon Koei Co., Ltd., Social Sys. Div., Env. Dept.

摘要: 川崎市川崎区を事例に、都市樹林評価モデル i-Tree Eco を試行し、その解析結果および都市樹林管理業務への活用について考察した。モデルの改変、パラメータの設定を行い、一般に公開されているデータを入力データとして用いることで、街路樹による炭素蓄積・固定量、住宅の冷暖房使用増減量、大気汚染物質除去量とそれによる健康被害軽減、雨水流出量の削減を推定した。また、それらの貨幣価値は、参考値であるが年間約 530 万円と推定された。

キーワード: 街路樹, 生態系サービス, i-Tree Eco, 貨幣価値

HIRABAYASHI, Satoshi, TOKUE, Yoshihiro, ITO, Aya, ELLIS, Alexis, HOEHN, Robert, IMAMURA, Fumiko, MORIOKA, Chie: **Estimating ecosystem services and their monetary values provided by street trees in Kawasaki ward of Kawasaki city using i-Tree Eco.**

Abstract: Through an application of an urban forest analysis tool, i-Tree Eco to street trees in Kawasaki ward of Kawasaki city, we evaluated the analysis results and their applications to urban forest management jobs. By customizing the models and parameters, and employing freely available data as input data, ecosystem services provided by street trees including carbon storage and sequestration, building cooling/heating use change, air pollutant removal and associated adverse health mitigation, avoided runoff were quantified. As a reference value, their total annual monetary values were estimated to be 5.3 million Yen.

Key words: street tree, ecosystem service, i-Tree Eco, monetary value

1. はじめに

地球環境悪化の一因として急速な都市化および都市人口の増加が挙げられる。都市に居住する人々は気候変動による災害、ヒートアイランド現象、大気汚染等様々な環境リスクおよびそれに伴う健康リスクを負っている。近年、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が注目され²⁾、その生態系サービス（生物・生態系に由来する、人類の利益になる機能）の定量的・経済的な評価方法について研究がなされるようになった²⁾。国外では EnviroAtlas³⁸⁾ や InVEST²⁹⁾等の評価・可視化ツールが開発され、維持管理や政策決定等の実務面において活用されている。しかし、国内では都市の樹林地の生態系サービスについて事例的な研究は行われているものの⁶⁾、貨幣価値までを含めた総合的な評

価を行った事例は少ない。さらには、樹木等データの測定・収集、生態系サービスの算出、政策立案を行うための統一的な方法論や標準的なツール、システムは確立されていない³⁾。

本研究は、米国 Forest Service を中心に開発された i-Tree Eco⁴⁰⁾（以下「Eco」と称す）に着目した。Eco は米、加、豪、英国を中心に世界中で利用されており、街区から都市・地域と様々なスケールでの樹林の生態系（主に調整）サービスとその貨幣価値の定量的評価が可能なツールである。評価結果は樹種選択・維持管理の優先度付け、情報提供、費用対効果分析、環境政策の立案と評価、生態系サービスの基準および目標値設定等多岐に渡り活用されている^{1,17)}。国内では既往で Eco が適用された事例は皆無であるが、Eco を用いることで生態系による調整サービスを簡易に評価し、自治体の樹林地の維持管理、政策決定等に活用できる可能性がある。

*連絡先著者 (Corresponding author) : c/o USDA Forest Service, Northern Research Station, 5 Moon Library, SUNY-ESF, 1 Forestry Drive, Syracuse, New York 13210 U.S.A E-mail : satoshi.hirabayashi@davey.com

そこで、本研究では一般に公開されているデータを用い、モデル、パラメータ（モデル内の計算式の係数等）、入力データを改変・設定することでEcoを国内に適用可能とし、その解析結果と実務への活用の可能性について考察した。

2. 方法

2.1 検討の事例対象地と街路樹データ

本研究では神奈川県川崎市川崎区の街路樹を対象に検討を行った。川崎区は人口密度 5,481 人/km²¹⁰⁾、公園面積 3.36 m²/人¹³⁾で、区の大半が住居系または工業系の地域から構成される。交通渋滞等による自動車排出ガスの影響もあり、近年、大気環境基準未達成の状態が続いている⁹⁾。川崎区のようにまとまった緑地面積の確保が難しい都市域において、大気汚染物質の除去、ヒートアイランド現象の緩和等、街路樹が果たす役割は大きい。その一方で、都市域では街路樹の維持管理費の削減が求められる中で²³⁾、街路樹がもつ役割や価値を説明できるような手法の確立が求められる。

街路樹データには 9,679 本、60 種の高木・中木が含まれ、うち 5,128 本、32 樹種が落葉樹、4,551 本、28 樹種が常緑樹であった。5,776 本 (33 樹種) は Eco の樹種データベース (以下「DB」と称す) の種と照合できたが、3,903 本 (27 樹種) は属で照合した。

2.2 Eco の概要と適用

Eco は 2006 年から無償で提供されており、米、加、豪、英国では、樹林の全数または標本調査のデータを入力し、Eco サーバー上の場所関連・樹種・気象・上層気象・大気質 DB を用いて都市樹林の構造および生態系サービスの算出を行う。場所関連 DB には州・郡・市の座標、世界標準時との差、着・落葉日、人口等のデータが保持され、樹種 DB には約 6,800 の種、属、科、目、網のデータ、胸高直径等を基に葉面積、バイオマスを推定するアロメトリー式等が保持されている。気象・上層気象 DB には全世界、大気質 DB には上記 4 か国の 2005 年から 2013 年のデータが保持されている。

今回、Eco により川崎区の街路樹の全数調査に基づいて樹林構造を解析し、1) 炭素蓄積・固定、2) 冷暖房使用量増減、3) 乾性沈着による大気汚染物質除去とそれに伴う 4) 健康被害軽減、5) 雨水流出量削減を算出した。表-1 に各モデルの入力データおよびパラメータを示す。1)、3)、5) は既存のモデルに国内の入力データおよびパラメータを設定することで適用可能であったが、2)、4) は本来、米国のみで適用可能なモデルであり、以下に述べる改変をモデルとパラメータに施すことで、国内で適用可能とした。

2.3 冷暖房使用量増減

Eco では米国を 11 の気候地域に分け、各地域のリファレンス都市について、樹木による日除けおよび樹木による防風による冷暖房需要変化に伴う CO₂ 排出量変化の基準値³⁷⁾を、A) 葉の種別 (落葉/常緑)、B) 樹高 (6-10/10-15/15m 以上)、C) 住宅の建築年代 (1950 年以前/1950-80 年/1980 年以降)、

D) 暖房のエネルギー源および冷房器具設置の有無、樹木と住宅の E) 距離 (0-6/6-12/12-18m) と F) 方位 (8 方位) の組み合わせについて保持している²⁴⁾。

川崎区のデータを上記カテゴリで整理した。カテゴリ A)、B) は街路樹データの測定項目により分類した。C) については、まず 2012 年の川崎区の暖房度日=1,692、冷房度日=275 (暖房は 24°C、冷房は 14°C を基準温度とし、毎日の平均気温との差を積算して計算される)、K_T (年平均全天日射量/年平均地球外日射量) =0.493、年間平均風速=6.96 m/s の気象条件に最も近い California 州 Los Angeles 市 (暖房度日=

表-1 各モデルの入力データおよびパラメータ

Table 1 Input data and parameters for each model

モデル	入力データ/パラメータ	年
炭素蓄積・固定量	CO ₂ 排出量取引単価 216 (円/t) ⁴⁾	2014
冷暖房使用量増減	用途地域 ¹²⁾	2015
	樹木・建物被覆率 51% ¹⁴⁾	2011
	建築物 ¹⁹⁾	2016
	住宅建築年、戸数 ³⁴⁾	2013
	CO ₂ 排出係数	
	電気 0.53 (kg-CO ₂ /kWh) ⁸⁾	2013
	天然ガス 0.0509 (kg-CO ₂ /MJ) ³⁶⁾	2015
LP ガス 0.059 (kg-CO ₂ /MJ) ²⁷⁾	2016	
大気汚染物質除去	エネルギー単価	
	電気 24.33 (円/kWh) ¹⁶⁾	2013
	ガス・灯油 3.5 (円/MJ) ^{31, 33, 35)}	2016
	緯度 (35.5149)	
	経度 (139.7379)	
	世界標準時との時差 (+9)	
	着葉日 (霜終日) 3月1日 (横浜気象台) ¹⁸⁾	1981-2010
	落葉日 (霜初日) 12月10日 (横浜気象台) ¹⁸⁾	1981-2010
	毎時気象データ (羽田空港測定局) ⁴⁰⁾	2012
	0/12 時高層気温、気圧、高度 (館野測定局) ⁴⁰⁾	2012
	毎時全天日射量 (幸測定局) ²⁰⁾	2012
	毎時放射収支量 (幸測定局) ²⁰⁾	2012
	毎時降雨量 (相模原市役所測定局) ²⁰⁾	2012
	毎時二酸化窒素 (NO ₂) 濃度 (川崎、大師、田島、市役所前、池上、日進町測定局) ²⁰⁾	2010、2012
毎時光化学オキシダント (O ₃) 濃度 (川崎、大師、田島測定局測定局) ²⁰⁾	2010、2012	
毎時 PM _{2.5} 濃度 (池上測定局) ²⁰⁾	2010、2012	
毎時二酸化硫黄 (SO ₂) 濃度 (川崎、大師、田島測定局) ²⁰⁾	2010、2012	
健康被害軽減	年齢別人口 ¹⁰⁾	2010
	医療費 米国の 0.37 倍 ⁷⁾	2012
	賃金 米国の 0.70 倍 ³⁰⁾	2013
	死亡時の VSL (Value of a Statistical Life 統計上の 1 人当たり生涯生産額) 4.3 億円 ²⁵⁾	1991-2007
雨水流出量削減	毎時気象データ (羽田空港測定局) ⁴⁰⁾	2012
	毎時降雨量 (相模原市役所測定局) ²⁰⁾	2012
	非舗装率 6.67% ¹⁴⁾	2011
	貯水池管理コスト \$2.36/m ³ ⁴¹⁾	2007

1818, 冷房度日=614, $K_T=0.588$, 年間平均風速=6.5 m/s) をリファレンス都市に選定した²⁴⁾。川崎区の住宅戸数をカテゴリ C)で整理するために、米国での断熱基準の熱抵抗値 R (m^2K/W)と規定住宅²⁴⁾の床、壁、天井、窓の面積から総熱損失を計算し、床面積で除算して熱損失係数 Q 値 (W/m^2K)に変換し、日本の省エネルギー基準の Q 値と比較した。一般的に欧米諸国の断熱基準は日本より厳しく⁵⁾、今回も Los Angeles 市での 1950 年以前の基準 ($Q=3.8$) が日本の旧省エネルギー基準 ($Q=5.2$) および新省エネルギー基準 ($Q=4.2$) より厳しい値となり、1980 年以降の基準 ($Q=2.3$) が日本の次世代省エネルギー基準と同等 ($Q=2.7$) となった。また、基盤地図情報¹¹⁾の建築物データを基に、住居系地域内に位置する普通建物 (3 階未満の建物および 3 階以上の木造等で建築された建物) を抽出し、川崎区の戸建住宅の平均建築面積 $61m^2$ を参考¹¹⁾に $100m^2$ 以下の延床面積について戸建住宅 (19,839 戸) として扱った。川崎区の旧省エネルギー基準に該当する戸数 (36.5%) および新省エネルギー基準に該当する戸数 (28.6%) を米国の 1950 年以前の戸数に、また次世代省エネルギー基準に該当する戸数 (36.8%) を米国の 1980 年以降の戸数に対応させた。D) は 2012 年の国内家庭部門でのエネルギー源比率 (電気, 都市 (天然) ガス, LP ガス等) を用い³²⁾, E), F) は戸建住宅に近接する樹高 6m 以上の樹木からの距離および方位を計算した。

Eco ではさらに、リファレンス都市について、樹木からの蒸散および建物による防風による冷暖房需要変化に伴う CO_2 排出量変化の基準値²⁴⁾を樹木・建物被覆率 (樹木被覆率と建物被覆率の合計) が 10%, 30%, 60%の場合について保持している。Los Angeles 市における基準値を直線補間し、川崎区の樹木・建物被覆率に対する CO_2 排出量変化を算出した。

算出された CO_2 排出量の変化は国内での各エネルギー源の CO_2 排出係数および単価を用い、エネルギー使用量の変化および貨幣価値にそれぞれ変換した²⁴⁾。

2.4 健康被害軽減

Eco は米国環境保護庁が開発した BenMAP³⁹⁾から算出し

た、大気質濃度の測定値 (日毎の最大値, 平均値, 8-10 時, 6-9 時, および 9-16 時の平均値, 8 時間の最大移動平均値, および四半期の平均値) の年平均の単位量あたり, 年齢層別一人あたりの健康被害件数およびその貨幣価値削減の係数を郡毎, および NO_2 , O_3 , $PM_{2.5}$, SO_2 に起因する健康被害毎に保持している。米国内の解析では、これらの係数と、樹木による大気浄化による上記濃度の変化および年齢層別人口から、健康被害件数および医療費の削減を算出する²⁸⁾。健康被害としては喘息の外来受診, 呼吸器疾患の入院, 急性呼吸器疾患 (NO_2 , O_3 , $PM_{2.5}$, SO_2), 喘息悪化 (NO_2 , $PM_{2.5}$, SO_2), 死亡 (O_3 , $PM_{2.5}$), 急・慢性気管支炎, 急性心筋梗塞, 心臓血管疾患の入院, 上・下気道疾患, 労働損失日数 ($PM_{2.5}$), 登校不可日数 (O_3) が対象となっている。

今回、大気質濃度について、2010 年, 2012 年の川崎区での測定値と、この 2 年間で各濃度の差に最も合致する米国の郡をリファレンス郡と選定し (例えば, NO_2 の毎時最大値では New York 州 New York 郡), 当該郡での年齢層別の健康被害軽減数に川崎区と当該郡の年齢層の人口比率を乗じることで川崎区での健康被害軽減の係数を算出した。貨幣価値係数についても国内データに基づき変換した。

3. 結果と考察

3.1 樹種別構造と炭素蓄積・固定量

街路樹全体の LAI (Leaf Area Index 葉面積指数) の夏季最大値は 6.0, 炭素の総蓄積量は約 1,056 t (約 84 万円), 年間の総固定量は約 77 t (約 6 万円) と推定された。樹木 1 本あたりの平均では、樹高, 胸高直径, 枝張り, 葉面積, 葉バイオマス, 炭素蓄積・固定量について、落葉樹の方が常緑樹より大きかった。表-2 に樹木数が多い 10 樹種の結果を示す。

3.2 冷暖房使用量増減

全街路樹のうち、住宅の冷暖房使用量に影響する樹木は 720 本 (7.4%), 16 樹種 (26.7%), 影響を受ける住宅は 754 戸 (3.8%) であった。その効果は電気使用量が年間 4,700 kWh (約 11 万円) の節約, 燃料使用量は樹木が存在しなかった場

表-2 街路樹の構造と生態系サービスの年間および樹木一本あたり推定値 (樹木個体数が多い 10 樹種)

Table 2 Street tree structures and annual mean and per-tree ecosystem services (for 10 highest tree number species)

樹種	樹木数	樹高 平均 m	枝張り 平均 m	葉面積		炭素蓄積量		炭素固定量		大気汚染物質除去量		雨水流出削減量	
				合計 1,000m ²	平均 m ²	合計 t	平均 kg	合計 t/年	平均 kg/年	合計 kg/年	平均 g/年	合計 m ³ /年	平均 m ³ /年
イチョウ*	1,723	10.3	5.1	259	151	424	246	23.8	13.8	502	291	4,058	2.4
クスノキ	1,245	8.2	4.1	114	92	258	207	15.5	12.4	287	230	2,038	1.6
アキニレ*	1,067	5.5	2.8	41	38	36	34	4.8	4.5	78	74	635	0.6
マテバシイ	985	4.7	2.3	16	16	42	43	5.2	5.3	40	41	284	0.3
コブシ*	788	5.3	2.6	18	23	46	59	5.0	6.3	35	44	280	0.4
サンゴジュ	545	3.2	1.6	4	7	5	9	1.1	2.0	10	18	70	0.1
ユリノキ*	461	7.3	3.6	39	84	70	153	4.6	9.9	75	163	607	1.3
クロガネモチ	421	5.4	2.7	10	25	20	48	2.5	5.9	26	62	184	0.4
ヤマモモ	418	4.9	2.5	8	18	32	76	3.1	7.5	19	45	134	0.3
ケヤキ*	280	9.9	4.9	36	129	54	194	3.5	12.4	70	250	566	2.0

*: 落葉樹, それ以外は常緑樹

表-3 住宅の冷暖房使用量変化の概要（マイナス値は樹木が存在しなかった場合に対する使用量の増加を表す）

Table 3 Summary of cooling/heating use change at residential buildings (negative values indicate increase in use due to trees)

葉の種別	住宅からの		樹木数	平均樹高 m	冷房用電気使用量の節約 kWh		暖房用電気使用量の節約 kWh			暖房用燃料使用量の節約 MJ		
	方位	平均距離 m			樹木による日除け	蒸散/建物*	樹木による日除け	樹木による防風	蒸散/建物*	樹木による日除け	樹木による防風	蒸散/建物*
落葉	北	8.5	94	7.3	0	553	-7	0	211	-64	0	2,052
	北東	9.7	57	7.4	9	329	-11	0	126	-108	0	1,220
	東	9.4	63	7.9	635	426	-804	0	163	-7,805	0	1,582
	南東	9.3	104	7.6	476	665	-1,306	0	254	-12,683	0	2,468
	南	9.6	100	8.2	1,243	730	-1,543	0	279	-14,979	0	2,711
	南西	8.1	75	8.4	926	526	-1,032	0	201	-10,024	0	1,952
	西	11.0	73	8.4	882	507	-1,074	0	194	-10,433	0	1,880
	北西	9.6	98	7.9	20	624	-103	0	238	-1,002	0	2,313
常緑	東	11.9	2	7.1	6	14	-16	7	5	-159	65	52
	南東	11.7	6	7.6	5	42	-87	20	16	-847	195	155
	南	14.9	1	7.6	0	7	0	3	3	0	32	26
	南西	14.6	3	8.2	3	21	-24	10	8	-238	97	78
	西	13.7	29	6.5	85	203	-335	97	77	-3,251	941	751
	北西	14.0	15	6.8	0	105	-1	50	40	-14	487	388

*: 樹木からの蒸散と建物による防風

合と比較して約 42,000 MJ (約 14 万円) の増加, 電気使用量減少による CO₂ 排出削減量は約 2.5 t (540 円), 燃料使用量増加による CO₂ 排出増加量は約 2.3 t (490 円) であった。

表-3 に 720 本の樹木を葉の種別, 住宅からの方位別に, 冷房用電気, 暖房用電気・燃料の使用量の増減を 1) 樹木による日除け, 2) 樹木による防風, 3) 樹木からの蒸散と建物による防風, による効果別にまとめた。住宅に近接する樹木は住宅との距離, 角度, 太陽高度の季節変化および時間変化により住宅の日除けとなり, 夏季の冷房代の節約に寄与する。住宅の南から西に位置する落葉樹は冷房用電気を 882-1,243 kWh 節約することに寄与した。樹木一本あたりの冷房用電気使用節約量は, 南に位置する落葉樹が最大で年間約 20 kWh であったが, 全米 12 都市での樹高 7.5 m の落葉樹による年間 100-400 kWh²⁴⁾ に比べてかなり劣る結果となった。これは太陽高度が高く住宅からの距離が遠いため, 日除けの効果を十分に発揮しなかったことに起因すると考えられる。

冬季は樹木は住宅への日射を遮り暖房使用量を増加させる。太陽高度が低いために, 住宅との距離が遠い樹木でも日射を遮る効果は大きく, 住宅の南から西に位置する落葉樹は暖房用の電気の使用量を 1,032-1,543 kWh 増加させた。常緑樹は防風により冬季の暖房使用量の節約に寄与するが, 常緑樹は 56 本しか存在せず, その防風効果が日射遮断による暖房使用量の増加分を上回らなかった。樹木からの蒸散と建物による防風は常に冷暖房使用量の低減に寄与した。

3.3 大気汚染物質除去

Eco の集中型モデルにより, 街路樹全体による NO₂, O₃, PM_{2.5}, SO₂ の年間除去量はそれぞれ 313, 633, 156, 66 kg (計 1.20 t) と推定された。除去量は乾性沈着速度と汚染物質濃度の積により推定され, 着葉時における日中の NO₂, O₃, SO₂ の平均乾性沈着速度はそれぞれ 0.35, 0.53, 0.51 cm/s

となり文献からの実測・推定値 (0.1-1.1, 0.3-1.1, 0.2-2.0 cm/s)^{6,22)} と比較して妥当な値であった。PM_{2.5} の乾性沈着は, 風速に依存した微粒子の葉への沈着および葉から大気中への再飛散により推定され²⁹⁾, 沈着速度は年平均の風速が 5.3 m/s に対して 1LAI あたり 0.44 cm/s となり, 文献での推定値 (風速 6 m/s に対して 0.2-3.1 cm/s)²⁹⁾ と比べて妥当であった。

樹木個体の大気汚染物質除去量は, 落葉・常緑樹別に, 葉面積の相対比率と着葉期間に基づき推定されるため, 表-2 において平均葉面積が大きい樹種が大気汚染物質除去量も大きくなった。葉の種別で見ると, 落葉樹の方が常緑樹より平均の大気汚染物質除去量が大きかった。常緑樹は落葉期間がなく, 落葉樹と比較して一般的に大気汚染物質除去には有利であるが, 川崎区では落葉期間が 3 か月弱と比較的短く, また個体サイズが大きいため, 落葉樹が有利な結果となった。

3.4 健康被害軽減

大気浄化による年間健康被害軽減数とその貨幣価値の推定結果を表-4 に示す。健康被害別に見ると, 効果が高い順に O₃ 除去による急性呼吸器症状が 4.9 件 (17,600 円), NO₂ 除去による喘息悪化が 4.1 件 (14,400 円) の軽減となった。貨幣価値については効果が高い順に, O₃ および PM_{2.5} の除去による死亡件数の軽減がそれぞれ 0.003 件 (114 万円), 0.002 件 (72.3 万円) と推定された。BenMAP では, O₃ と PM_{2.5} 削減が死亡件数の軽減に寄与するために, 高い効果が得られる設定となっており²⁸⁾, 本研究の結果も同じ傾向を示している。ただし, この結果は川崎区の実データに基づいていないため参考値として扱うべきである。

3.5 雨水流出量削減

年間 1,830 mm (川崎区全体で 72,400,000 m³) の降雨量に対して, 街路樹による雨水流出量削減は 0.23 mm (川崎区全体で 9,045 m³) と推定され, その貨幣価値は \$1=114 円換

表・4 年間健康被害軽減とその貨幣価値

Table 4 Annual reduction in adverse health incidences and monetary values

大気汚染物質	健康被害軽減 件/年	貨幣価値 円
NO ₂	4.4	38,379
O ₃	5.8	1,172,589
PM _{2.5}	1.4	740,232
SO ₂	0.2	4,290
合計	11.8	1,955,490

算で約 243 万円となった。ただし、これは米国内での貯水池管理コストに基づいた係数⁴¹⁾を用いた計算結果であるため、参考値として扱うべきである。樹木個体の削減量は、落葉・常緑樹別に、葉面積の相対比率と着葉期間に基づいて表-2 のように推定された。大気汚染物質削減と同様、平均葉面積の大きい落葉樹種が有利となった。

3.6 解析結果の活用

本研究では川崎区の全街路樹について、年間約 530 万円の貨幣価値（炭素蓄積が約 84 万円、炭素固定が約 6 万円、冷暖房使用量が約 3 万円増加、大気浄化による健康被害軽減が約 200 万円、雨水流出量削減が約 243 万円）と推定された。ただし、貨幣価値の推定結果の 84%を占める健康被害軽減および雨水流出量削減は米国のパラメータに基づいた推定であり、今後、国内における他の手法や事例との比較を行うことによる妥当性の検証が必要である。

生態系サービスの各項目の推定結果の妥当性が明らかになることで、Eco による解析結果を都市樹林管理業務に活用できると考えられる。例えば、葉の種別や樹種が異なる場合や、樹木個体間での生態系サービスの比較、それに基づく維持・植栽の優先度付け、さらには別地域や複数のシナリオ案間での比較に基づいた生態系サービスの最大化やトレードオフの検討等への活用が想定される。

3.7 Eco の適用における留意点

Eco では街路樹の主な役割である景観向上¹⁵⁾の貨幣価値算出機能が実装されていないが、標本調査に基づいた解析では、樹木そのものの貨幣価値が算出可能である。しかし、今回は全数調査であったこと、算出方法が米国内限定であったこと、を理由に解析を行わなかった。また、街路樹専用の i-Tree Streets⁴⁰⁾では景観向上の貨幣価値推定が可能であるが、国内向けの改変が困難なため試行しなかった。

健康被害軽減については、国内で大気汚染物質の濃度変化とそれに伴う健康被害件数および医療費のデータが一般公開されておらず、米国でのデータの調整により対応した。雨水流出量削減では、横浜市⁴²⁾等での貨幣価値換算係数が利用可能ではあったが、国内での貨幣価値基準が確立されておらず、利用には至らなかった。川崎区の街路樹 60 樹種のうち、樹種 DB に登録されていた 33 樹種について、仮に属で照合した場合、種と属とのアロメトリー式の違いから、特定の種については、炭素蓄積量が最大で 40%程の差が生じたが、その他の

項目については最大でも 1%以下の差であったことから、今回、樹種 DB に種が登録されておらず属で照合した 27 種についても、同等の推定誤差であったと推量できる。

4. まとめ

Eco を国内向けに改変・設定し、川崎区の街路樹全調査データを用いて生態系サービスおよびその貨幣価値を推定した。また、その際の課題、留意点を考慮した上で、都市樹林管理業務への活用について考察した。本稿が将来的に Eco の国内プロジェクトの増加を通じて、標準的な枠組み、方法論、システムの構築に貢献できると考える。

引用文献

- 1) Baro, F., Chaparro, L., Gomez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J. and Terradas, J. (2014) Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forest in Barcelona, Spain. *AMBIO*, 43: 466-479.
- 2) Bolund, P. and Hunhammar, S. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29: 293-301.
- 3) 伊藤昭彦・山形与志樹 (2015) 生態系サービスの評価: 気候変動対策と生物多様性保全のトレードオフ解消に向けて - 趣旨説明 - 日本生態学会誌, 65: 109-113.
- 4) 自主参加型国内排出量取引制度評価委員会. “自主参加型国内排出量取引制度(JVETS)” <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/jvets/gr-main.pdf>. (参照: 2016 年 2 月 25 日).
- 5) 株式会社野村総合研究所. (更新: 2014 年 2 月) “平成 25 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業 住宅・建築物の省エネ基準適合義務化に係る調査 報告書” http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2014fy/E004381.pdf (参照: 2016 年 1 月 23 日).
- 6) 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.
- 7) Kane, J. (更新 2012 年 10 月 22 日) “Health costs: how the U.S. compares with other countries” <http://www.pbs.org/newshour/rundown/health-costs-how-the-us-compares-with-other-countries> (参照: 2015 年 8 月 12 日).
- 8) 環境省. “平成 25 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)” <http://www.env.go.jp/press/19006.html> (参照: 2016 年 3 月 2 日).
- 9) 川崎市. “環境基準の達成状況” <http://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/29-1-10-2-1-6-0-0-0-0.html>. (参照: 2016 年 3 月 7 日).
- 10) 川崎市. “川崎市の人口(1)ー平成 22 年国勢調査ー 統計表” <http://www.city.kawasaki.jp/200/page/0000023615.html>. (参照: 2016 年 1 月 23 日).
- 11) 川崎市. (更新 2015 年 3 月 13 日) “川崎市の土地利用と建物の現況について” <http://www.city.kawasaki.jp/500/page/0000051807.html> (参照: 2016 年 3 月 9 日).
- 12) 川崎市. “川崎市都市計画情報インターネット提供サービス” <http://www.city.kawasaki.jp/500/page/0000002354.htm>

- 1 (参照: 2016年1月23日).
- 13) 川崎市. “7 公園緑地事業” <http://www.city.kawasaki.jp/530/cmsfiles/contents/0000028/28092/23jigyougaiyou2.pdf> (参照: 2016年6月10日).
- 14) 川崎市経済労働局. (更新 2011年3月) “川崎市特定工場緑地整備基本方針” <http://www.city.kawasaki.jp/280/cmsfiles/contents/0000023/23137/file1912.pdf> (参照: 2016年2月23日).
- 15) 環境省. “平成 22 年度 ヒートアイランド現象に対する適応策検討調査業務 報告書” <https://www.env.go.jp/air/report/h23-01/index.html> (参照: 2016年5月3日).
- 16) 経済産業省. “エネルギーの価格の動向について” <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/energycost/dai1/siryoul.pdf> (参照: 2016年3月2日).
- 17) Kenton, R., Anne, J. and Christopher, N. (2011) Green benefits in Victoria business improvement district: an analysis of the benefits of trees and other green assets in the Victorian business improvement district. Victoria Business Improvement District, London.
- 18) 気象庁. “過去の気象データ検索” <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照: 2016年3月7日).
- 19) 国土地理院. “基盤地図情報サイト” <http://www.gsi.go.jp/kiban> (参照: 2016年1月18日).
- 20) 国立環境研究所. “環境数値データベース” <https://www.nies.go.jp/igreen/index.html> (参照: 2016年1月6日).
- 21) Konstantinos, T., Kalevi, K., Stephen, V., Vesa, Y.-P., Aleksandra, K., Jari, N. and Philip, J. (2007) Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landscape and Urban Planning, 81: 167–178.
- 22) Lovett, G. (1994) Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. Ecological Applications 4: 629-650.
- 23) 松江正彦・飯塚康雄・久保田小百合 (2010) 街路樹計画支援技術の高度化に関する研究, 国総研資料 第 663 号 緑化生態研究室報告書 第 26 集.
- 24) McPherson, G. E. and Simpson, J. R. (1999) Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Albany, CA.
- 25) 宮里尚三 (2010) 労働市場のデータを用いた Value of a statistical life の推計. 日本経済研究, 63: 1-28.
- 26) Natural Capital Project. “InVEST: integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs”. <http://www.naturalcapitalproject.org/invest> (参照: 2016年2月29日).
- 27) 日本 LP ガス協会. “CO₂ 排出係数について” <http://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/co2.html> (参照: 2016年3月2日).
- 28) Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. and Greenfield, E. (2014) Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution, 193: 119-129.
- 29) Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. and Hoehn, R. (2013) Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. Environmental Pollution, 178: 395-402.
- 30) Phelps, G. and Crabtree, S. (更新 2013年12月16日) “Worldwide, Median Household Income About \$10,000” <http://www.gallup.com/poll/166211/worldwide-median-household-income-000.aspx> (参照: 2015年12月14日).
- 31) 石油情報センター. “一般小売価格 液化石油(LP)ガス 速報 : 毎月調査” http://oil-info.ieej.or.jp/price/price_ippan_lp_maitsuki.html (参照: 2016年3月2日).
- 32) 資源エネルギー庁. “平成 25 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2014)” <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014html/2-1-2.html> (参照: 2016年1月23日).
- 33) 資源エネルギー庁. “各種統計情報(石油・LP ガス関連)” http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007 (参照: 2016年3月2日).
- 34) 総務省統計局. “平成 25 年住宅・土地統計調査” <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku> (参照: 2016年1月23日).
- 35) 東京ガス. “ガス料金表(家庭用/業務用・工業用 共通)” <http://e-com.tokyo-gas.co.jp/ryokin/Default.aspx?tik=1> (参照: 2016年3月2日).
- 36) 東京ガス. “東京ガスグループ CSR レポート 2015” http://www.tokyogas.co.jp/csr/report_j/5_environment/data06.html (参照: 2016年3月2日).
- 37) United States Department of Energy (DOE)/Energy Information Administration (EIA) (1992) Sector-specific issues and reporting methodologies supporting the general guidelines for the voluntary reporting of greenhouse gases under section 1605(b) of the Energy Policy Act of 1992. Washington DC, U.S. DOE/EIA.
- 38) United States Environmental Protection Agency. “EnviroAtlas”. <http://www.epa.gov/enviroatlas> (参照: 2016年2月29日).
- 39) United States Environmental Protection Agency. “Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP-CE)” <https://www.epa.gov/benmap> (参照: 2016年1月3日).
- 40) United States Forest Service. “i-Tree: Tools for assessing and managing community forests”. <http://www.itreetools.org> (参照: 2016年2月29日).
- 41) Vargas, K.E., McPherson, E.G., Simpson, J.R., Peper, P.J., Gardner, S.L. and Xiao, Q. (2007) Temperate interior west community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-206. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- 42) 横浜市. “雨水をゆっくり流す(雨水浸透) 効果 第二報” <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/chisui/shintoumasu/research2.html> (参照: 2016年5月3日)

(2016年6月30日受理)