

ライフサイクル CO₂ 評価に基づいた都市公園の整備計画に関する研究

A Study on the Planning and Design of Urban Parks Based on Life Cycle CO₂ Evaluation

市村 恒士* 細川 一昂**

Koji ICHIMURA Ikko HOSOKAWA

Abstract : To arrest global warming, it is also expected that the effect of carbon storage and sequestration of urban green spaces will be an important factor. On the other hand, the life cycle CO₂ (hereafter, LCCO₂) evaluation to reduce CO₂ emissions is watched with interest by each sector. Because of this situation, the purpose of this study was to discuss the planning and design of urban Parks based on LCCO₂. The study parks estimated in this study were selected 5 block parks in Sapporo City, Hokkaido. The results are follows: 1) It were possible to apply the LCCO₂ evaluation method to all study parks. 2) In the study parks under the present conditions, the average amount of LCCO₂ per area of 1 hectare of each sample was estimated about 58.4t-C/ha (range:45.9~78.6t-C/ha). 3) In the study park (3 types) changed basing on a landscape planning considered to reduce the amount of LCCO₂, the average reduction rate of LCCO₂ was estimated about 17.1~42.0%. 4) Therefore, we grasped to be important to discuss landscape planning considered to reduce the amount of LCCO₂.

Keywords: *arrest global warming, life cycle CO₂ evaluation, urban parks, parks planning and design*

キーワード：地球温暖化防止，ライフサイクル CO₂ 評価，都市公園，公園整備計画

1. はじめに

近年，地球温暖化問題が深刻化する中，その主な原因とされる温室効果ガス，特に二酸化炭素（以下，CO₂）の削減が社会全体に対して求められ，「低炭素都市の構築」等も期待されている。

このような状況のもと，気候変動枠組条約締約国会議（COP）等の国際的な議論の中では，温室効果ガスの吸収源対策として「都市緑化」が位置づけられ¹⁾など，CO₂の「吸収源」としての都市緑地に関する研究蓄積が進められてきた^{2)~6)}など。

他方で，CO₂の排出削減に向けた取り組みの1つとしてライフサイクル CO₂（以下，LCCO₂）評価の重要性が認識され，既に建築や各種の製造業等では，建築物等に対する LCCO₂に関する多くの研究が進められ^{7), 8)}など，LCCO₂評価に基づいた建築物等の設計・運用による CO₂の排出量削減に成功している。

これらの取り組みにより，建築分野においては，直接的な CO₂の排出削減という効果のみならず，近年の顧客の環境意識に対応した環境を配慮した製品としての建築自体の価値向上や，環境配慮による企業のイメージアップ等の間接的な効果も発揮している。

一方で，都市緑地における LCCO₂評価に関する動向をみると，伊藤ら^{9), 10)}が「実在する都市公園を対象に LCCO₂評価を試行」する先駆的研究を行ったが，それ以降，研究の進展や実際の LCCO₂評価の運用に向けた動き等はほとんどみられず，改めて研究等の必要性が指摘¹¹⁾される中，近年，市村ら¹²⁾が，実在の都市公園のみならず「LCCO₂の削減シナリオに基づいた整備計画に対する LCCO₂評価を試行」しながら，都市公園等における LCCO₂評価の可能性等について整理している。

具体的には，都市公園等における LCCO₂評価の「技術面」からの導入可能性や従来の「積算」作業と同時進行的に LCCO₂評価が可能となるようなシステム構築の可能性を示唆すると同時に，一般的な利用型の都市公園整備は，ライフサイクルの観点からみると CO₂の排出となっている可能性が高いことを確認し，今後，

地球温暖化防止に向け，都市公園等の整備において，CO₂の「吸収源」という側面のみならず，「排出」の側面についても考慮する必要性を指摘している¹²⁾。

また，そのような「排出」の側面も含めた整備計画等の検討にあたっては，「排出」の側面も含めた定量的な評価である LCCO₂評価が必要不可欠であることから，評価手法について様々な観点から検討する必要性を指摘している¹²⁾。

さらに，緑地や都市全体における LCCO₂の概念の導入により，例えば，近年の国際，国内において着目される「CO₂排出権取引（カーボンオフセット）」等の仕組みを視野に入れた都市緑地あるいは都市構造の検討が可能となること等についても触れており¹²⁾，このような研究の発展性を鑑みても，LCCO₂評価に関する研究をより進展させる必要性は高いと考えられる。

今後の都市公園等における LCCO₂評価に関する研究の進展の方向性として，市村ら¹²⁾が実施したような実在の都市公園のみならず「LCCO₂の削減シナリオに基づいた整備計画に対する LCCO₂評価」を継続的に試行しながら，具体的な低炭素型の都市公園の整備計画のあり方をより深く検討すること，LCCO₂評価手法を公園設計・計画上で実際に運用させることを目標とした評価システムの「マニュアル化」や，積算作業や CAD 等と連携した具体的な「評価システム構築」に関する知見を蓄積すること等が考えられる。

そこで本研究では，市村ら¹²⁾が構築した LCCO₂評価手法を，複数の実在する都市公園や削減シナリオに基づいた公園の整備計画に対して適用し，それらの結果に基づき，都市公園に対する LCCO₂評価の適用可能性について改めて検討しつつ，低炭素型の都市公園の整備計画のあり方について検討すること，評価システム構築に資する知見を得ること等を目的とする。

2. 研究の方法

(1) 評価対象公園の選定

*室蘭工業大学大学院工学研究科くらし環境系領域 **(株)竹中工務店 大阪本店

本研究では、タイプの異なる複数の都市公園に対し LCCO₂ 評価を実行することから、小規模であること、必要な情報である新規整備時の積算資料や植栽関連資料等の収集が容易であること等を条件に、北海道札幌市の5つの街区公園、「南あいの里こもれび公園（以下、K公園）」、「明日風ポテト公園（以下、P公園）」、「明日風すいか公園（以下、S公園）」、「南あいの里ひよこ公園（以下、H公園）」、及び「明日風トマト公園（以下、T公園）」を評価対象公園として選定した。

(2) 本研究で用いた LCCO₂ 評価手法

本研究では、前章で述べたとおり、市村ら¹²⁾が構築した LCCO₂ 評価手法を用いた。以下に、本研究で用いた LCCO₂ 評価手法の考え方について整理する。

(i) ライフサイクル過程の設定

都市公園のライフサイクルの過程は、公園緑地工事体系ツリー¹³⁾等を参考に「資材生産過程」、「資材輸送過程」、「基盤整備工事過程」、「植栽工事過程」、「施設整備工事過程」、「グラウンド・コート整備工事過程」、及び「運用・維持管理過程」の7過程に区分した。

(ii) 原単位項目の設定

各原単位項目の設定においては、基本的に建築分野の LCCO₂ 評価における原単位項目に準じた。

ただし、現場での工事過程（：基盤整備工事過程、植栽工事過程、施設整備工事過程、及びグラウンド・コート整備工事過程）に関する原単位については、整備費用の「積算」の際に用いる項目を原単位項目とした。

これは、建築分野ではエネルギー関連統計等を用いて、構造やビルディングタイプごとに一般化された床面積や施工費用あたりの原単位を設定している事例^{14)~16)}が多いが、都市公園に関しては様々な整備がなされ工事の一般化が困難であることや、前述した通り「積算」と連携した LCCO₂ 評価手法を構築することを視野に入れたためである。

(iii) LCCO₂ 評価の対象期間の設定

LCCO₂ 評価の対象期間については、都市公園は建築物等とは異なり、廃棄という過程が存在しないものといえることから、資材生産から再整備等が行われるまでとすることが望ましいと考えられる。

本研究では、評価対象公園の存在する札幌市の住区基幹公園の開設後年数や再整備の現状を鑑み、LCCO₂ 評価の対象期間は、便宜的に公園開設後50年までと設定した。

(3) 各原単位項目における原単位の収集・把握

本研究における都市公園の LCCO₂ 評価に関する各原単位項目の原単位の把握方法を以下に整理する。

各原単位項目の原単位についても、基本的に市村ら¹²⁾が収集した方法と同様であり多くが共通するが、基盤整備工事過程、植栽工事過程、施設整備工事過程、グラウンド・コート整備工事過程、及び運用・維持管理過程については後述するとおり各評価対象公園の公共工事積算システムのデータに基づくため、この過程のいくつかの原単位については各評価対象公園独自のものとなった¹⁷⁾。

なお、すべての原単位は、炭素換算重量（単位：kg-C、t-C等）¹⁸⁾で統一し把握した。

資材生産過程の原単位については、市村ら¹²⁾と同様に文献調査¹⁹⁾で得られた原単位を用いた。

資材輸送過程の原単位については、市村ら¹²⁾と同様に文献調査¹³⁾から得た燃料消費量と燃料の消費による CO₂ 排出量（軽油：0.7212kg-C/ℓ）²⁰⁾から算出した。

基盤整備工事過程、植栽工事過程、施設整備工事過程、グラウンド・コート整備工事過程、及び運用・維持管理過程の公園草刈作業の原単位については、各評価対象公園の存在する札幌市の公

共工事積算システムから得た各工事にかかる施工時間及び作業機械の消費燃料量と、燃料の消費による CO₂ 排出量（軽油 0.7212kg-C/ℓ、ガソリン 0.6433kg-C/ℓ）²⁰⁾から算出した。

運用・維持管理過程の電力消費の原単位、及び樹木による CO₂ 吸収固定量の原単位については、評価対象公園の存在する北海道を対象として、北海道電力の報告から得た CO₂ 排出実績値²¹⁾、及び北海道の都市公園における樹冠被覆面積当たりの年間 CO₂ 固定量に関する既往研究²²⁾のデータを用いた。

(4) 評価対象公園に対する LCCO₂ 評価の適用

(i) 評価対象公園（現状タイプ）に対する LCCO₂ 評価の適用
まず、上述した LCCO₂ 評価手法を各評価対象公園の現状の整備状況（以下、現状タイプ）に対し適用した。

実際には、ここまで把握してきた各過程における各原単位項目の原単位に、評価対象公園の資材量、作業量、造成量、及び維持管理作業に関する量等に乗じて、各作業等の CO₂ 排出・吸収量を算出し、それらを積算し、各ライフサイクル過程、及び全ライフサイクルの CO₂ 排出・吸収量を算定することで LCCO₂ 評価を実行している。評価対象公園の新規整備に関わる資材量・作業量等については、札幌市から提供された新規整備時に作成された造成工事積算資料に記載された値を用い、維持管理に関わる草刈等の作業量等は札幌市へのヒアリング調査から得た値を用いた²²⁾。

(ii) 評価対象公園（改善タイプ）に対する LCCO₂ 評価の適用
各評価対象公園の現状の整備状況（：現状タイプ）等を踏まえ、評価対象公園の LCCO₂ 削減を視野に入れた土地被覆、土地利用や維持管理等の複数シナリオを想定（以下、削減シナリオ）した。

その想定した各削減シナリオによる各評価対象公園における LCCO₂ 削減効果を把握するとともに、いくつかの削減シナリオに基づいた評価対象公園の整備状況（以下、改善タイプ）に対しても LCCO₂ 評価を適用し、それにより削減シナリオの効果等についても検証した。

3. 結果及び考察

(1) 評価対象公園（現状タイプ）の概要

5つの評価対象公園の現状タイプの整備状況の概要を表-1に、現状タイプの平面イメージを図-1に示す。

評価対象公園として選定した K 公園、P 公園、S 公園、H 公園、及び T 公園は、前述したとおりいずれも街区公園であり、面積は、0.12~0.22ha となっている。

(i) 現状タイプの整備状況

現状タイプの評価対象公園の土地被覆・土地利用及び維持管理

表-1 評価対象公園（現状タイプ）の整備状況

現状タイプ	南あいの里こもれび公園 面積:0.21ha	明日風ポテト公園 面積:0.12ha	明日風すいか公園 面積:0.20ha	南あいの里ひよこ公園 面積:0.22ha	明日風トマト公園 面積:0.18ha
土地被覆					
アスファルト舗装	123㎡ 6%	0㎡ 0%	120㎡ 6%	300㎡ 14%	109㎡ 6%
ゴムチップ舗装	0㎡ 0%	0㎡ 0%	0㎡ 0%	0㎡ 0%	31.4㎡ 2%
コンクリート系舗装	348㎡ 17%	210㎡ 18%	140㎡ 7%	89㎡ 4%	143㎡ 8%
ダスト舗装	154㎡ 7%	440㎡ 37%	720㎡ 36%	615㎡ 28%	0㎡ 0%
樹脂系舗装	37㎡ 2%	0㎡ 0%	0㎡ 0%	0㎡ 0%	0㎡ 0%
芝	1,328㎡ 63%	420㎡ 35%	910㎡ 46%	1000㎡ 45%	1,030㎡ 57%
樹冠被覆	292㎡ 14%	98㎡ 8%	144㎡ 7%	194㎡ 9%	151㎡ 8%
樹木					
高木	22本	3本	8本	3本	7本
中低木	81本	5本	4本	99本	65本
地被類種数	412株	210株	500株	302株	4,797株
その他施設					
水飲み場	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所
遊具	2基	4基	3基	5基	2基
テーブル・ベンチ類	14基	4基	7基	8基	7基
照明灯	2基	1基	2基	2基	2基
コンクリートウォール	-	-	-	-	14.64m
維持管理					
草刈・年3回集草あり	1,328㎡	420㎡	910㎡	1,000㎡	1,030㎡

公園名 面積	現状タイプ	改善タイプ1	改善タイプ2	改善タイプ3
		歩道の木チップ舗装化 集草作業の廃止 高木植栽2倍	(改善タイプ1に加え) 発生残土の公園内利用 広場等の木チップ舗装化 高木植栽3倍	(改善タイプ2に加え) 遊具撤去 高木植栽4倍
南あいの里 こもれび公園 面積:0.21ha				
明日風 ポテト公園 面積:0.12ha				
明日風 すいか公園 面積:0.20ha				
南あいの里 ひよこ公園 面積:0.22ha				
明日風 トマト公園 面積:0.18ha				

図-1 評価対象公園（現状タイプ及び改善タイプ1～3）の平面イメージ

等の整備状況（表-1）を整理すると、いずれの公園においてもコンクリート舗装等の人工的な土地被覆と芝等の自然的な土地被覆で構成されていること、高木、中低木等の植栽が行われていること、施設として水飲み場、遊具、テーブル・ベンチ類、照明が整備されていること、「芝刈年3回集草あり」の維持管理活動がなされていること等が認められ、いわゆる一般的な街区公園あるいは住区基幹公園の整備となっていることが把握された。

また、公園別にみると、K公園は、高木植栽数が多く（22本）、樹冠被覆率が大きいこと（14%）、P公園は、照明が1基（その他公園は2基）であること、T公園は、人工的な修景施設であるコンクリートウォールがあること等が把握された。

(2) 削減シナリオ及び評価対象公園（改善タイプ）の概要

(i) 削減シナリオの概要

街区公園あるいは住区基幹公園における整備は、上述した通り本研究の評価対象公園のように一定程度共通した整備となっていると考えられる。

そこで本研究では、すべての評価対象公園に対応できる削減シナリオ、すなわち、評価対象公園以外の多くの公園に対応できる削減シナリオを想定し、そのLCCO₂削減に資する役割を検討する。

本研究で想定した削減シナリオを図-2に示す。

具体的な削減シナリオとしては公園整備計画に関しては、①：アスファルト歩道を木チップ舗装に変更する「歩道の木チップ舗装化」、②：発生土砂を残土として処理せず、公園内で活用する「残土の公園内活用」、③：広場等の舗装路を木チップ舗装に変

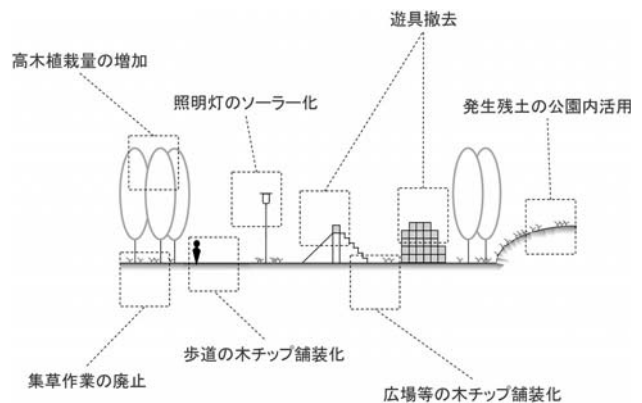


図-2 想定される削減シナリオ

更する「広場等の木チップ舗装化」、④：遊戯広場の遊具を撤去する「遊具撤去」、⑤：高木植栽量を2～4倍にする「高木植栽量の増加」の5方策、維持管理計画に関しては、⑥：年3回の草刈作業（集草作業含む）を年4回の草刈作業のみの実施に変更する²³⁾「集草作業の廃止」の1方策である。

その他として、図-2にも示したとおり照明灯の太陽光発電活用（ソーラー化）も想定されるが、主に設備面の対応ということで本研究では除外し、主に都市公園の計画・設計において利用等に影響を与えるシナリオと考えられる6個のシナリオ（①～⑥）を本研究では選択した。

表－2 各評価対象公園（現状タイプ）の各過程のCO₂排出量とLCCO₂

上段:各公園当たりCO ₂ (kg-C) 下段:1ha当たりCO ₂ (kg-C/ha)	資材生産過程	資材輸送過程	基盤整備工事過程	植栽工事過程	施設整備工事過程	グラウンド・コート整備過程	運用・維持管理過程	LCCO ₂
南あいの里こもれび公園	1,432 6,819	-	203 966	10 48	165 786	0	7,823 37,251	9,633 45,870
明日風ポテト公園	2,101 17,506	-	308 2,568	0	155 1,295	0	3,868 32,237	6,433 53,607
明日風すいか公園	2,101 10,504	-	320 1,598	0	495 2,474	0	8,014 40,070	10,929 54,646
南あいの里ひよこ公園	4,515 20,522	-	523 2,379	10 44	263 1,197	0	7,906 35,938	13,218 60,080
明日風トマト公園	5,197 28,873	-	663 3,682	3 14	183 1,019	0	8,095 44,972	14,141 78,560
5公園平均	3,069 16,501	-	403 2,169	4 24	252 1,357	0	7,141 38,394	10,871 58,444

表－3 各評価対象公園（現状タイプ）に対する削減シナリオによるLCCO₂

公園名 面積	現状 LCCO ₂	削減量及び削減率	削減シナリオ							
			歩道の 木チップ 舗装化	集草作業の 廃止	発生残土の 公園内活用	広場 木チップ 舗装化	遊具撤去	高木植栽量 の増加 (2倍)	高木植栽量 の増加 (3倍)	高木植栽量 の増加 (4倍)
南あいの里 こもれび公園 面積:0.21ha	9,633 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	26	943	53	10	379	1,145	2,290	3,435
	45,870 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	124	4,490	251	48	1,803	5,453	10,906	16,359
	-	削減率	0.3%	9.8%	0.5%	0.1%	3.9%	11.9%	23.8%	35.7%
明日風 ポテト公園 面積:0.12ha	6,433 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	1	298	67	0	804	394	787	1,181
	53,607 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	6	2,485	561	0	6,698	3,280	6,560	9,840
	-	削減率	0.0%	4.8%	1.1%	0.0%	13.0%	6.4%	12.8%	19.2%
明日風 すいか公園 面積:0.20ha	10,929 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	4	646	22	5	1,061	577	1,154	1,730
	54,646 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	19	3,231	111	24	5,303	2,884	5,768	8,652
	-	削減率	0.0%	5.9%	0.2%	0.0%	9.7%	5.3%	10.6%	15.8%
南あいの里 ひよこ公園 面積:0.22ha	13,218 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	675	704	331	817	1,903	751	1,502	2,252
	60,080 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	3,069	3,200	1,505	3,714	8,649	3,413	6,826	10,238
	-	削減率	5.1%	5.3%	2.5%	6.2%	14.4%	5.7%	11.4%	17.0%
明日風 トマト公園 面積:0.18ha	14,141 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	2,212	731	193	6	609	601	1,202	1,804
	78,560 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	12,291	4,063	1,075	36	3,382	3,340	6,680	10,020
	-	削減率	15.6%	5.2%	1.4%	0.0%	4.3%	4.3%	8.5%	12.8%
平均(5公園)	10,871 kg-C	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	584	664	133	168	951	694	1,387	2,081
	58,444 kg-C/ha	1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	3,138	3,573	717	901	5,112	3,729	7,457	11,186
	-	削減率	4.2%	6.2%	1.1%	1.3%	9.1%	6.7%	13.4%	20.1%

(ii) 改善タイプの整備状況

上記①～⑥の「削減シナリオ」にもとづき整備された「改善タイプ1～3」の評価対象公園の平面イメージを図－1に示す。

改善タイプは、利用への影響を踏まえ3つのタイプ、「改善タイプ1」、「改善タイプ2」、及び「改善タイプ3」を設定した。

「改善タイプ1」は、利用への影響が最も少ないタイプであり、「歩道の木チップ舗装化」、「集草作業の廃止」、及び「高木植栽2倍」の削減シナリオにもとづいた整備状況になっている。

「改善タイプ2」は、改善タイプ1に次いで利用への影響が少ないタイプであり、改善タイプ1で用いた削減シナリオ（高木植栽2倍を除く）に加え「発生残土の公園内利用」、「広場等の木チップ舗装化」、及び「高木植栽3倍」の削減シナリオにもとづいた整備状況になっている。

「改善タイプ3」は、最も利用への影響が大きいタイプであり、改善タイプ2で用いた削減シナリオ（高木植栽3倍を除く）に加え「遊具撤去」、及び「高木植栽4倍」の削減シナリオにもとづいた整備状況になっている。

(3) 評価対象公園（現状タイプ）におけるLCCO₂評価

「現状タイプ」の各評価対象公園に対しLCCO₂評価を実行した結果^{24)～27)}を表－2に示す。

(i) 評価対象公園（現状タイプ）のLCCO₂

評価対象公園（現状タイプ）の公園当たりのLCCO₂を算出した結果（表－2）、平均10,871kg-C、最小6,433 kg-C、最大14,141kg-Cとなった。

評価対象公園（現状タイプ）の1ha当たりのLCCO₂を算出した結果（表－2）、平均58,444 kg-C/ha、最小45,870 kg-C/ha、最大78,560 kg-C/haとなった。

以上より、いずれの公園においてもLCCO₂は正の値（排出）を示すこと、1ha当たりのLCCO₂の平均値は58.4t-C/ha程度となること、公園によって1ha当たりのLCCO₂の値が大きく異なること（最小：45.9t-C/ha（K公園）、最大：78.6t-C/ha（T公園））が把握された。

公園）が把握された。

(ii) 現状タイプのライフサイクル過程ごとのCO₂排出量

評価対象公園のライフサイクル過程ごとの1haあたりのCO₂排出量を算出した結果（表－2）、資材生産過程が平均16,501kg-C/ha（範囲：6,819～28,873 kg-C/ha）、基盤整備工事過程が平均2,169kg-C/ha（範囲：966～3,682 kg-C/ha）、植栽工事過程が平均24kg-C/ha（範囲：0～48kg-C/ha）、施設整備工事過程が平均1,357kg-C/ha（範囲：786～2,474kg-C/ha）、グラウンドコート過程が平均0kg-C/ha、運用・維持管理過程が平均38,394kg-C/ha（範囲：32,237～44,972 kg-C/ha）となった。

以上より、ライフサイクル過程の中では、いずれの評価対象公園でも運用・維持管理過程及び資材生産過程におけるCO₂排出量が特に大きいこと、これら2つの過程は公園によってCO₂排出量の値が大きく異なり、運用維持管理過程は、最小が32.2t-C/ha（P公園）、最大が50.0t-C/ha（T公園）、資材生産過程は、最小が6.8t-C/ha（K公園）、最大が28.9t-C/ha（T公園）となること、これら2つの過程のCO₂排出量の大小がLCCO₂に大きな影響を与えていること等が把握された。

(4) 評価対象公園（改善タイプ）に対するLCCO₂評価

(i) 各削減シナリオによるLCCO₂削減効果

各削減シナリオを各評価対象公園の現状タイプに対し適用し、LCCO₂の削減量及び削減率を算出した結果（表－3）、各削減シナリオによる1ha当たりのLCCO₂の削減率は、歩道の木チップ舗装化が平均4.2%（範囲：0.0～15.6%）、集草作業の廃止が平均6.2%（範囲：4.8～9.8%）、発生残土の活用が平均1.1%（範囲：0.2～2.5%）、広場の木チップ舗装化が平均1.3%（範囲：0.0～6.2%）、遊具撤去が平均9.1%（範囲：3.9～14.4%）高木植栽量の増加2倍が平均6.7%（範囲：4.3～11.9%）、高木植栽量の増加3倍が平均13.4%（範囲：8.5～23.8%）、高木植栽量の増加4倍が平均20.1%（範囲：1.8～35.7%）となった。

以上より、想定した削減シナリオでは、高木植栽量の増加、遊

表-4 各評価対象公園（改善タイプ）のLCCO₂

公園名 面積	現状タイプ	改善タイプ				
		改善タイプ1	改善タイプ2	改善タイプ3		
南あいの里 こもれび公園 面積：0.21ha	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	9,633	7,519	6,311	4,787
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	45,870	35,803	30,051	22,795
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	2,114	3,322	4,846
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	10,067	15,819	23,075
		削減率	-	21.9%	34.5%	50.3%
明日風 ポテト公園 面積：0.12ha	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	6,433	5,740	5,279	4,082
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	53,607	47,837	43,995	34,017
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	692	1,153	2,351
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	5,771	9,612	19,590
		削減率	-	11.2%	18.7%	38.2%
明日風 すいか公園 面積：0.20ha	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	10,929	9,703	9,099	7,461
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	54,646	48,513	45,494	37,307
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	1,227	1,830	3,468
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	6,133	9,152	17,339
		削減率	-	11.2%	16.7%	31.7%
南あいの里 ひよこ公園 面積：0.22ha	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	13,218	11,088	9,189	6,535
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	60,080	50,399	41,767	29,705
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	2,130	4,029	6,683
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	9,682	18,314	30,376
		削減率	-	16.1%	30.5%	50.6%
明日風 トマト公園 面積：0.18ha	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	14,141	10,596	9,795	8,585
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	78,560	58,866	54,416	47,694
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	3,545	4,346	5,556
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	19,694	24,144	30,866
		削減率	-	25.1%	30.7%	39.3%
平均（5公園）	LCCO ₂	各公園当たりLCCO ₂ (kg-C)	10,871	8,929	7,934	6,290
		1ha当たりLCCO ₂ (kg-C/ha)	58,444	48,006	42,659	33,818
	削減	各公園当たりCO ₂ 削減量 (kg-C)	-	1,942	2,936	4,581
		1ha当たりCO ₂ 削減量 (kg-C/ha)	-	10,439	15,786	24,627
		削減率	-	17.1%	26.2%	42.0%

具撤去、集草作業の廃止、及び歩道の木チップ舗装化のLCCO₂の削減量、削減率が全体として大きい一方で、発生残土の公園内活用や広場の木チップ舗装化の削減率は比較的小さくなった。

(ii) 各改善タイプのLCCO₂

評価対象公園（改善タイプ1～3）の1ha当たりのLCCO₂を算出した結果（表4）、改善タイプ1～3のLCCO₂の削減率は、改善タイプ1が平均17.1%（範囲：11.2%～25.1%）、改善タイプ2が平均26.2%（範囲：16.7%～34.5%）、改善タイプ3が平均42.0%（範囲：31.7%～50.3%）となった。

以上より、いずれの改善タイプも、現状タイプと比較して、LCCO₂は削減すること、削減率は改善タイプ1が20%弱、改善タイプ2が25%程度、改善タイプ3が40%強であること、各々の改善タイプの整備状況により削減効果が異なること等が把握された。

4. おわりに

本研究では、市村ら¹²⁾が構築したLCCO₂評価手法を、複数の実在する都市公園や削減シナリオに基づいた公園の整備計画に対して適用し、それらの結果に基づき、都市公園に対するLCCO₂評価の適用可能性について改めて検討しつつ、低炭素型の都市公園の整備計画のあり方について検討すること、評価システム構築に資する知見を得ること等を目的とした。

以下に、これまで得られた結果を整理しつつ、LCCO₂評価に基づいた都市公園の整備計画等について検討する。

まず、市村ら¹²⁾が構築したLCCO₂評価手法を、5つのタイプが異なる街区公園における「現状タイプ」、及び削減シナリオを設定した「改善タイプ1～3」に対して適用した結果、いずれの都市公園の整備計画においても評価可能であることが把握された。また、その結果、削減シナリオによる改善効果等についても定量的に把握することができた。

これらのことから、都市公園等におけるLCCO₂評価の「技術面」からの導入可能性や従来の「積算」作業と同時進行的にLCCO₂評価が可能となるようなシステム構築の可能性が改めて確認されるとともに、LCCO₂評価に基づいた都市公園の整備計

画の検討も技術的に可能であることが示唆された。

また、本研究では5つの評価対象公園に関して、現状タイプ及び各3つの改善タイプに対するLCCO₂評価を実施した。すなわち、20タイプ（5評価対象公園×4タイプ）の街区公園に対してLCCO₂評価を実施したが、実務上、この評価手法を一定程度理解し、必要となるデータがあれば、表計算ソフト等の単純な計算機能を用いつつの作業でも、各タイプに対し1日程度で評価が可能であった。今後、これらの評価手法を実際に運用させるためには、積算システムやCAD等のソフトと連携したシステム構築が求められるが、このようなシステム化も上述したような作業状況を鑑みると技術的に比較的容易なものとして想定された。

次に、本研究で評価した5つの評価対象公園における、現状タイプ及び各3つの改善タイプに対するLCCO₂評価を適用した結果、市村ら¹²⁾の研究同様、すべてのタイプにおいてLCCO₂の値は正の値を示し、いずれの都市公園の整備計画においてもCO₂の排出となっていること、現状タイプにおいては、1ha当たりのLCCO₂の平均値は58.4t-C/ha程度となることが把握された。

これらのことから、ほとんどの一般的な住区基幹公園等の利用型の都市公園整備は、ライフサイクルの観点からみるとCO₂の排出となっている可能性が高いことが再確認され、地球温暖化防止に向け、都市公園等の整備においては、CO₂の「吸収源」という側面のみならず、CO₂の「排出」の側面についても考慮し、LCCO₂評価を実施しつつLCCO₂削減に向け、CO₂吸収源としての役割を高めながら、CO₂排出を抑制する都市公園等の整備計画の検討が求められることが示唆された。

また、市村らの研究¹²⁾における評価対象公園（近隣公園（1公園））においては、1ha当たりのLCCO₂の平均値は42.8t-C/ha（面積：1.55ha、LCCO₂：66,466kg-C）であったことから、住区基幹公園の現状の整備状況においては、1ha当たりのLCCO₂の平均値が概ね40～60t-C/haとなると想定される。

実際には、本研究（街区公園）と市村らの研究¹²⁾（近隣公園）における1ha当たりのLCCO₂の値の差異から、公園種別により平均的なLCCO₂の値に差があることも予想される。このような状況の中、都市公園に対するLCCO₂評価に関する研究を継続

的に実施することや前述したように現実的に LCCO₂ 評価システムを運用させる中で、公園種別ごとの LCCO₂ の平均値を算出し、その平均値を基準値としながら、目標となる削減量、削減率を設定すること等も望まれる。このような定量的な目標設定により、より具体的な低炭素型の都市公園の整備計画の検討が可能になると考えられる。

さらに、本研究では、各評価対象公園（現状タイプ）によって 1 ha 当たりの LCCO₂ の値が大きく異なること、ライフサイクル過程の中では、いずれの評価対象公園でも「運用・維持管理過程」及び「資材生産過程」における CO₂ 排出量が特に大きく、これら 2 つの過程の CO₂ 排出量の大小が LCCO₂ に大きな影響を与えていること、これら 2 つの過程は公園によって CO₂ 排出量の差が大きく異なること等が把握された。また、想定した削減シナリオでは、「高木植栽量の増加」、「遊具撤去」、「集草作業の廃止」、「歩道の木チップ舗装化」の、LCCO₂ の削減量、削減率が全体として大きい一方で、「発生残土の公園内活用」や「広場の木チップ舗装化」の削減率は比較的小さくなった。

これらのことから、都市公園の整備計画の差違が LCCO₂ に大きな影響を与えることが把握され、LCCO₂ 評価に基づいた低炭素型の都市公園の整備計画を検討するにあたっては、特に「運用・維持管理過程」及び「資材生産過程」に関連する整備計画に着目することが重要であることが示唆された。

具体的には、運用・維持管理過程に大きく関わる削減シナリオである「高木植栽量の増加」や「集草作業の廃止」、資材生産過程に大きく関わるシナリオである「遊具撤去」や「歩道等の木チップ舗装化」等を新規の整備計画策定時に検討することが重要と考えられる。また、これら削減シナリオの選択に当たっては利用等を考慮した組み合わせや目標となる削減率等を考慮する必要があるが、本研究で設定した改善タイプが参考になると考えられる。

実際には、今回設定した削減シナリオに限らず、運用・維持管理過程に対しては、吸収源としての役割を發揮する樹木の選定・植栽方法とそれに対応する維持・管理方法について検討すること、今回は削減シナリオから除外した CO₂ 排出量が大きい照明灯に関して、太陽光発電等の活用等も検討すること等が課題となる。

また、資材生産過程に関しては、コンクリート、セメント等の人工物の使用量が CO₂ の排出量に大きく影響することから、舗装、遊具、コンクリートウォール等の整備について、いかに人工物を使わない整備を行うかが課題となる。

今後の研究上の課題としては、2 つの方向性が挙げられる。

1 つ目として、低炭素都市の構築に向け、都市全体を評価出来るような LCCO₂ の評価システム構築等に向けた研究である。

具体的には、例えば、市村ら¹²⁾も指摘するような、建築、土木、及び緑地の各々の空間を含む街区等を対象に LCCO₂ 評価を実施すること等が挙げられる。

2 つ目として、本研究の中では、議論の乏しかった都市公園に対する LCCO₂ 評価の「マニュアル化」、「評価システム構築」を視野にいたった研究である。

具体的には、例えば、今回の研究では、現場での工事過程については各評価対象公園の公共工事積算システムのデータに基づき個々に原単位を設定したが、公園によって同じような工事でも異なった原単位となるものがあることも認められた。「マニュアル化」、「評価システム構築」あたっては、同じような各工事段階等に関して基準となる原単位を設定することも必要となると想定される。今後、各工事段階の原単位について平均的な値を求め原単位の標準化を図ること等も必要になると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、札幌市黒澤佑氏には資料提供等のご協力を頂いた。記して感謝の意を表します。

補注及び引用文献

- 1) 地球温暖化防止に向けた吸収源対策としての「都市緑化」に関わる IPCC, COP 等における国際社会の議論については、半田ら (2005)⁹⁾、加藤 (2005)²⁰⁾ 等が詳しい。それに伴う近年の我が国の動向、例えば、京都議定書目標達成計画 (2008 年 3 月の改訂の内容等) については、小野 (2008)²⁹⁾ 等が詳しい。
- 2) Koji ICHIMURA and Daiki YAEGASHI (2007) : Study of Estimating the Amount of Carbon Storage and Sequestration in Urban Green Spaces Based on Tree Crown Cover Area in Hokkaido : Journal of Environmental Information Science, 35 (5), 29-36
- 3) 市村恒士 (2006) : 樹冠被覆面積にもとづく都市緑地の二酸化炭素固定量の推定に関する研究 : ランドスケープ研究 69 (5), 613-616
- 4) 市村恒士・黒澤和隆 (2005) : 都市林の二酸化炭素固定効果に関する研究-北海道帯広市「帯広の森」を事例として : 日本建築学会環境系論文集 597, 81-87
- 5) 市村恒士・岡田孝幸・柳井重人・丸田頼一 (1999) : 都市公園における樹木の二酸化炭素固定効果に関する研究 : 日本都市計画学会学術研究論文集 34, 1-6
- 6) 半田真理子・手代木純 (2005) : 地球温暖化防止に資する都市緑地の評価 : 都市緑化技術 56, 81-87
- 7) 酒井寛二・漆崎 昇・相賀 洋・下山真人 (1996) : 建物のライフサイクル二酸化炭素発生量とその抑制方策に関する研究 : 日本建築学会計画系論文集 484, 105-112
- 8) 岩田 衛・堂野前等・久松雄治 (2000) : 建築鉄骨構造のライフサイクルにおける環境負荷削減のシナリオとその評価 : 日本建築学会構造系論文集 533, 167-173
- 9) 伊藤武美・花木啓裕・本多 博 (1996) : 公園建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究 : 土木学会環境システム研究 24, 63-68
- 10) 伊藤武美・谷内康弘・花木啓裕 (1999) : ライフサイクル評価を用いた公園計画に関する研究 : アーバンインフラテクノロジー推進会議第 10 回技術研究論文集, 81-86
- 11) 豊田幸夫 (2001) : 環境配慮設計とライフサイクル評価 : 都市緑化技術 41, 27-30
- 12) 市村恒士・奥 優一 (2009) : 都市公園に対するライフサイクル CO₂ 評価に関する研究 : ランドスケープ研究 72 (5), 605-610
- 13) 風間伸造 (2005) : 造園修景積算マニュアル : 財団法人建設物価調査会, 514pp
- 14) 竹林芳久・岡 建雄・紺矢哲夫 (1992) : 産業連関表による建築物の評価 その 2 事務所建築の建設による環境への影響 : 日本建築学会計画系論文報告集 431, 31-32
- 15) 鈴木道哉・岡 建雄・岡田圭史 (1994) : 産業連関表による建築物の評価 その 3 住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量 : 日本建築学会計画系論文集 463, 75-82
- 16) 鈴木道哉・岡 建雄・岡田圭史・矢野謙禎 (1995) : 産業連関表による建築物の評価 その 4 事務所ビルの建設・運用に関わるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量 : 日本建築学会計画系論文集 476, 37-43
- 17) 本研究で用いた原単位は、紙面の都合上掲載しないが、多くの原単位については、市村ら (表-1)¹²⁾に掲載された原単位と共通、あるいは準ずる値である。一方で、これらの原単位の標準化等については、今後の課題となる。
- 18) 文献等で得られた原単位が CO₂ 換算重量の場合、CO₂ を構成する C と CO₂ の質量比 (C:CO₂=12:44) を用いて炭素換算を行った。
- 19) 日本建築学会 (1999) : 建物の LCA 指針 ~温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール : 日本建築学会, 178pp
- 20) 環境省 (1992) : 二酸化炭素排出量調査報告書
- 21) 北海道電力 (2007) : ほくでんサスティナビリティレポート 2007 : 北海道電力, 70pp
- 22) 運用・維持管理については、市村ら¹²⁾と同様、草刈の他、照明、及び樹木による CO₂ 吸収固定を対象としている。なお、遊具、ベンチ及び園路等の管理 (再塗装やオーバーレイ) や更新については、札幌市役所へのヒアリングの結果、予算や劣化状況を踏まえた、随時の実施であったことからここでは対象外とした。
- 23) 札幌市役所へのヒアリングでは、草刈年 3 回以下では集草作業を要し、年 4 回以上では集草を要しないことが把握された。また、近年の維持管理予算削減によって、草刈りは年 4 回実施であったが年 3 回に減少し、その結果、集草作業が発生していることも把握された。
- 24) 「資材生産過程」においては、植物生産による CO₂ 排出・吸収について、原単位が得られなかったこと等から評価対象外とした。また、原単位と異なる単位系 (例えば、原単位は重量ベース (g-C/kg) に関わらず、積算資料では長さベース (例えば、ポリエチレン管 [φ50, 6.6m] 等)) については、重量に変換出来なかったこと等から評価対象外とした。なお、これらを評価対象外したことによる LCCO₂ 評価への影響は、対象外とした資材量が少ないことから比較的小さいものと推察される。
- 25) 「資材輸送過程」においては、原単位は得られたものの、明確な輸送資材重量及び輸送距離が得られなかったため評価対象外とした。なお、これらを評価対象外したことによる LCCO₂ 評価への影響は、原単位も大きいことから比較的大きいものと推察される。
- 26) 造成予定地に既存施設がある場合に実施される撤去工事や、整備後の樹木の枯死や市民のニーズ変化等による再整備等については、評価対象外としている。また、トイレについては公園整備とは別途の工事で計上されるものであり評価対象外とした。
- 27) P 公園及び S 公園は、植栽工事に関しては「人工施工」だったため、植栽工事過程の CO₂ 排出量は「0」となっている。
- 28) 加藤 順子 (2005) : 地球温暖化防止と都市緑化等の推進 : 都市緑化技術 56, 15-26
- 29) 小野 貴子 (2008) : 温室効果ガス排出・吸収量の算定の仕組みと日本の取り組みにおける都市緑地 : 都市緑化技術 69, 6-9