

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—

A STUDY OF EFFECT OF ATMOSPHERIC CO₂ STORAGE BY URBAN FOREST

—The case study of “Forest of Obihiro” in Obihiro city—

市村恒士*, 黒澤和隆**

Koji ICHIMURA and Kazutaka KUROSAWA

The purpose of this study was to estimate carbon storage and sequestration by urban forest, to predict future sequestration potential through planting and growth, and to suggest urban forest planting to arrest Global warming. The results as follows;

1. Tree carbon store by study urban forest averaged 29,462kg-C/ha and ranged from 8 kg-C/ha to 124,087 kg-C/ha.
2. Carbon sequestration by study urban forest averaged 2,179 kg-C/ha·yr and ranged from 35kg-C/ha·yr to 3,969 kg-C/ha·yr.
3. The elapsed years after planting influence carbon sequestration per ha.

Keywords : Urban Forest, Urban Park, Arrest Global Warming, Atmospheric CO₂ Storage, Urban Landscape Planting

都市林, 都市公園, 地球温暖化防止, 二酸化炭素固定, 都市緑化

1 はじめに

一般に広義の都市林とは、市街地及びその周辺部に存在するまとまった面積を有する樹林地を中心とした都市緑地といえる¹⁾。都市林はその他の都市緑地と同様に、レクリエーションや防災等の様々な機能を有するが、特に、野生動植物の保護、都市気候の改善等の環境保全の向上に資する機能への期待が高まっている。

近年、大きな問題となっている地球温暖化問題においても、都市緑地に対する役割が期待されつつあり¹⁾、その中でも大規模な面積を有する都市林に対する期待は大きい。

京都議定書や気候変動枠組条約締約国会議 (COP) 等の地球温暖化防止に関わる国際的な議論の中でも、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ることとなり²⁾、我が国で策定された地球温暖化防止推進大綱²⁾においては、京都議定書で定められた削減量である二酸化炭素排出量 6% (1990 年排出比) 削減の目標に対し、その内 0.33% (全排出量の 0.02%) の二酸化炭素排出量の削減分を都市緑化による二酸化炭素固定に期待している。

このような状況を受け、平成 12 年度からは、地球温暖化対策として、新規植栽による緑地の創出を図ること、都市緑化に対する国民意識を向上させることを目的に、住民参加型の都市林づくりである「平成の森」事業が推進されることになり³⁾、地球温暖化対策とし

ての都市林づくりが社会的にも認識され、施策にも反映されてきたものと考えられる。

一方で、国際的な議論³⁾や我が国の地球温暖化防止推進大綱²⁾においても指摘されているように、都市林等の都市緑地の二酸化炭素固定量に関する妥当な推定法や推定の際に必要な原単位等が明らかになっていない現状において、これらを明らかにすべく都市緑地の二酸化炭素固定効果に関する研究蓄積が求められている。

都市緑地の二酸化炭素固定効果に関わる既往の研究事例をみると、単木を対象とした事例⁴⁾、小規模な都市公園 (住区基幹公園)⁵⁾、街路樹⁶⁾、及び大学キャンパス⁷⁾等の都市緑化空間を対象とした事例や、都市全体を対象とした事例⁸⁾等のように、ある対象についての二酸化炭素固定量の原単位の作成や一連の推定プロセスを検討することを目的とした研究事例のほか、樹木の剪定枝等の廃棄物の処理、いわゆる緑のリサイクルと二酸化炭素との関係について検討した研究事例⁹⁾等がある。

一方で、新規植栽であり都市緑地としての多様な機能・効果を求められる都市林を対象に、二酸化炭素固定の観点からみた研究は殆どみられない。

そこで本研究では、都市近郊の大規模な新規植栽である都市林を対象に、その樹木分布特性等を明らかにすること、二酸化炭素固定量

* 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助手・博士(工学)

** 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 教授・工博

Research Assoc., Dept. of Civil Engineering and Architecture, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Civil Engineering and Architecture, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

を推定すること、それに基づき地球温暖化対策としての都市林整備の役割の一端を明らかにすることを目的とする。

2 研究の方法

2.1 調査対象地及び調査対象区の設定

本研究では、新規植栽によって整備された都市近郊の樹林を中心とした緑地であること、植栽後年数が明らかなこと等を条件に、北海道帯広市の総合公園「帯広の森」を調査対象地として選定した。

調査対象地の平面図を図1に、調査対象地の植栽状況の変遷を図2に示す。

調査対象地は、公園面積409.0haの総合公園であり、1975年(昭和50年)より、毎年1回「市民植樹祭」が開催され、市民の手により植樹が行われている¹⁰⁾。

市民植樹祭による植栽状況をみると、毎年、植栽面積3.0ha～8.7ha/年(平均4.4ha/年)、植栽本数3,000～19,010本/年(平均7,743本/年)の規模で植栽が行われ、2003年には総植栽面積127.4ha、総植栽本数224,542本となっている。また、樹種数は全54種となっている¹⁰⁾。

今後ともこの植樹祭は継続する計画であり、公園面積全体の80%を森林区、20%を施設区とする方針が決定している¹⁰⁾。

実際の調査では、調査対象地におけるすべての樹木を対象に調査

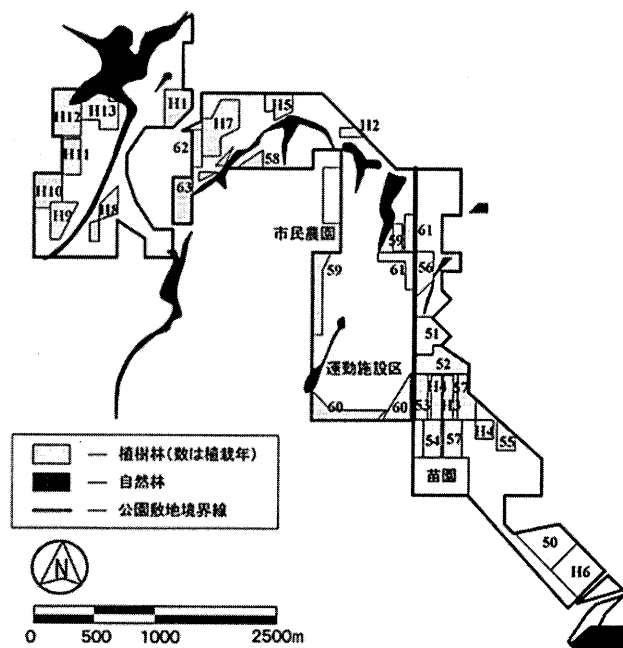


図1 「帯広の森」の平面図

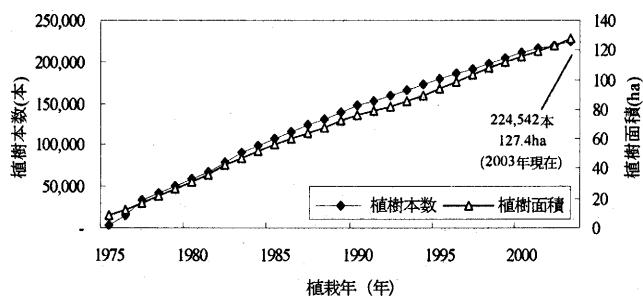


図2 調査対象地の植樹状況の変遷

を行うことは困難なため、すべての植栽年を網羅すること(各植栽年9～10箇所)を条件に、計289箇所の調査対象区(10m四方)を設定した。

2.2 調査対象地の二酸化炭素固定量の推定

本研究では、都市公園を中心とした都市緑地の二酸化炭素固定量の推定法について整理した文献¹¹⁾を参考に、調査対象地の二酸化炭素固定量の推定法を設定した。

調査対象地で評価する二酸化炭素固定量と実際に行った二酸化炭素固定量の推定法の考え方及び具体的プロセス等について以下に示す。

2.2.1 評価する二酸化炭素固定量の設定

都市緑地の二酸化炭素固定量の評価には、これまでに吸収固定した二酸化炭素を大気中に放出しないで今までにどれだけ樹木体内に貯留してきたかという意味でのストック効果と、樹木の成長に伴って年間にどれだけ二酸化炭素を固定できるかという成長効果とに大別される¹¹⁾。

本研究においても、ストック効果を評価する「累積二酸化炭素炭素固定量」と成長効果を評価する「年間二酸化炭素固定量」の2つの二酸化炭素固定量を評価の対象とすることとした。

2.2.2 累積二酸化炭素固定量の推定

都市緑地の二酸化炭素固定量の推定において基礎となるのは、都市緑地内の個々の樹木(立木)の累積二酸化炭素固定量である。これを積み上げることによって、都市緑地全体の累積二酸化炭素固定量を算出することができる¹¹⁾。

立木の樹木の累積二酸化炭素固定量は、基本的には、①樹木の測定・調査、②樹木の測定・調査データに基づく材積量の推定、③材積量の乾燥重量への変換、④乾燥重量から二酸化炭素固定量への換算という大きく①～④の流れをたどるが、①～④の各段階において多様な方法があり、その組み合わせにより多くの推定法が考えられる。実際の推定法の選択の際には、コストや手間と精度の兼ね合いによって決定する必要がある¹¹⁾。

本研究では、以下のような立木の累積二酸化炭素固定量の推定法を用いることとした(表1)。

まず、2004年10～11月に289箇所の調査対象区内の樹木(以下、調査対象樹木)の測定・調査を行った。測定・調査項目は、胸高直径、樹高及び樹種であり、測器として、胸高直径については巻き尺を、樹高については、シュピーゲルレラスコープ(オーストリア製)を用いた。調査対象樹木となった樹木本数は3,575本となった。

次に、樹木の測定・調査で得られた各調査対象樹木の胸高直径及び樹高のデータを、林野庁の立木材積表¹²⁾に当てはめ、幹材積量(単位: m^3)を推定した。また、幹と根の材積比に関する文献¹³⁾¹⁴⁾から幹:根=10:2として、幹材積量に1.2を乗じて幹及び根材積量(単位: m^3)を算出した。

さらに、各調査対象樹木の幹及び根の材積量(単位: m^3)に生木の材積量と乾燥重量の比(容積密度数(単位: kg/m^3))を乗じて乾燥重量(単位: kg)を算出し、得られた乾燥重量に0.5を乗じて^{注5)}炭素換算^{注6)}した累積二酸化炭素固定量(単位: $kg-C$)を推定した。

実際に用いた容積密度数は、既往文献¹²⁾にある我が国の主要樹種別の容積密度数のデータを活用した。具体的には、データ内に同様の樹種がある場合は、その樹種のデータを、同様の樹種がない場合

は、同じ科の樹種のデータ（同じ科の樹種のデータが複数ある場合はその科の樹種のデータの平均値）を、同様の樹種、科がない場合は、広・針葉樹に分類し、同データの広・針葉樹の平均値を適応した（表2）。

このように得られた調査対象樹木の二酸化炭素固定量について、各調査対象区、各植栽後年数、及び5年区分の植栽後年数（以下、年齢）ごとに積算し、面積で除すことで、各調査対象区、各植栽後年数及び各年齢の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量を推定した。

2.2.3 年間二酸化炭素固定量の推定

都市緑地の年間二酸化炭素固定量は、n年時の累積二酸化炭素固定量と、累積二酸化炭素固定量の算出のためのパラメータ（胸高直径、樹高等）の年間成長量分を反映した（n+1）年の累積二酸化炭素固定量との差分を算出することで把握が可能となる¹¹⁾。そのためには、年輪、胸高直径、樹高等の年間成長量のデータが必要となる

表 1 累積二酸化炭素固定量の推定方法

累積二酸化炭素固定量の推定方法	
①樹木の測定・調査	<input type="checkbox"/> 測定・調査項目：胸高直径・樹高・樹種 <input type="checkbox"/> 推定対象部位：幹+根 =幹材積量= <input type="checkbox"/> 変数：胸高直径・樹高・ （樹種※材積式選択の際に利用） <input type="checkbox"/> 推定法：材積表法（材積式） ・「トドマン」「カラマツ」については根室、釧路、十勝支庁地方の 各樹種専用の材積式を使用 ・「上記2種以外の樹種」については北海道全域の「カラマツ人工林・針葉樹・広葉樹」全般用の材積式を使用 ※参考文献：林野庁(1970)
②材積量の推定	=根材積量= <input type="checkbox"/> 推定法：幹と根の材積比率 幹：根=10：2 ※参考資料：南雲(1990)、J.バルデ(1993)
③乾燥重量の推定	<input type="checkbox"/> 推定法：材積量(m ³)×容積密度(kg/m ³) ・容積密度数は表2に掲載 ※参考資料：林業試験場木材部・木材利用部(1982)
④累積CO2固定量への換算	<input type="checkbox"/> 換算値：炭素換算値(単位：kg-C/ha) <input type="checkbox"/> 換算法：乾燥重量×0.5

表 2 本研究で用いた容積密度数

樹種	容積密度数 (kg/m ³)	本調査対象となった樹種
アオダモ	0.59	アオダモ、ハンソイ、ムラサキハンソイ
アカマツ	0.44	アカマツ
イタヤカエデ	0.54	イタヤカエデ、クロビイタヤ、ヤマモミジ
イチイ	0.45	イチイ
イヌエンジュ	0.53	イヌエンジュ
オニグルミ	0.41	オニグルミ
カツラ	0.40	カツラ
キハダ	0.37	キハダ
クリ	0.44	クリ
コナラ	0.65	アカナラ
シラカンバ	0.47	シラカンバ
トウヒ	0.36	トウヒ
トチノキ	0.43	トチノキ
トドマン	0.35	トドマン
ドロノキ	0.30	ドロノキ
ハリギリ	0.40	ハリギリ
ハルニレ	0.48	ハルニレ、マンシユウニレ
ヒバ	0.32	ヒバ
マカバ	0.56	マカバ、ダケカンバ
ミズキ	0.54	ミズキ
ミズナラ	0.54	ミズナラ
ヤチダモ	0.55	ヤチダモ、イボタノキ
ヤマグワ	0.49	ヤマグワ
ヤマザクラ	0.48	サクランボ、ナナカマド、ユスラウメ、アズキナシ、エノノウスズミザクラ、エノノコソノ、エノヤマザクラ
ヤマナラシ	0.37	ボブライアスベン
ヤマハシノキ	0.39	ハシノキ、ヤマハシノキ
マツ科平均 ^{注1)}	0.39	アカエゾ、マツキタゴヨウマツ、チョウセンゴヨウマツ
ブナ科平均 ^{注2)}	0.54	カシワ
広葉樹平均 ^{注2)}	0.5	アケギ、イチョウ、エノムラサキツツジ、キタコブシ、マユミ

注1)：参考：林業試験場木材部・木材利用部(1982)
 注2)：林業試験場木材部・木材利用部(1982)に掲載される各科及び広葉樹の各々の容積密度の平均値を算出した結果である

が、実際には、年輪幅の測定等を行うには樹木への損害、妥当性が得られる本数の確保等の面から通常では把握することは困難である。

このような1年間という短期的な年間二酸化炭素固定量を推定するには、年輪幅等を測定した樹幹解析に関する既往の研究事例を参考とすることとなる。例えば、このような推定法を用いた事例には、緑化樹の年輪調査のデータ等を反映し年間二酸化炭素固定量を推定した事例⁴⁾、樹種ごとの樹高の成長予測式に基づき、年間二酸化炭素固定量を推定した事例¹⁵⁾がある。一方で、このような推定法を用いる場合、樹木の成長が、樹種、気候、土壌及び樹齢等の条件に大きく影響されることから、調査対象に類似した条件の樹幹解析データを用いる必要があるが樹幹解析の研究事例は少ない状況にあり、実際に条件が異なるデータを用いた場合、その推定結果の信頼性は低い可能性が高い。

このような状況のもと、樹幹解析データを基盤とせず、1年間という短期的な年間二酸化炭素固定量を推定する方法ではないが、平均的なそれを推定する方法もある。このような推定法を用いた事例には、同一の緑地で、一定期間において累積二酸化炭素固定量を推定し、その期間内に固定された二酸化炭素固定量を算出し、それを期間（年数）で除すことによって、その期間内の年間二酸化炭素固定量の平均的な値を推定した事例⁷⁾、対象とする緑地がほぼ均質かつ標準的な状況にあるという仮定をおき、それぞれの緑地の累積二酸化炭素固定量を算出するとともに、その緑地が整備後どのくらい経過しているかという期間（年数）との関係を求め、おおよそ1年間に都市緑地で固定される平均的な二酸化炭素固定量を推定した事例⁹⁾等がある。

一方で、このような推定法を用いた場合、樹木の樹齢による成長の変化等の短期的な影響は反映されない平均的な数値であるため、例えば、その推定値を年間二酸化炭素固定量の原単位として用いた場合、評価した値が過大、過小なものとなる可能性がある等の問題点が指摘できる。

上記を鑑みると、本研究では、調査対象地において樹幹解析を行うことは困難であること、調査対象地に適当な樹幹解析データがないこと、調査対象地が比較的均質な状況であること等から、後者の平均的な年間二酸化炭素固定量の推定法を用いることが望ましいと考えられる。

ただし、これまでの都市緑地における二酸化炭素固定に関わる研究事例との比較検討の必要性が可能であること、可能な限り植栽後年数により樹木の成長を考慮した年間二酸化炭素固定量を推定すべきであることを踏まえ、以下の2つの年間二酸化炭素固定量の推定法を用いることとした。

1つ目の推定法では、植栽後年数を説明変数、調査対象区の1ha当たり累積二酸化炭素固定量を目的変数とした単回帰式の傾きにより平均的な年間二酸化炭素固定量を推定する。この推定法による推定結果は、同様の推定法で検討した住区基幹公園の事例⁹⁾との比較が容易である。

2つ目の推定法では、各年齢の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量をもとに、(n+1)年齢とn年齢の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量の差分を年齢の区分にあたる5年で除し、その値を各年齢間の年間二酸化炭素固定量とした。この推定法による推定結果は、1つ目の方法と比較し、一定程度、樹木の成長特性を配慮した年間二酸化

化炭素固定量であるといえる。このような齢級ごとに成長を捉える方法は、一般的には、林学分野で用いられる方法である。

3 結果及び考察

3.1 調査対象樹木の特性及び二酸化炭素固定量

調査対象樹木の特性について以下に示す。

まず、調査対象樹木の樹種のうち割合が大きくなった樹種 10 位までを抽出した結果、表 3 に示す通り、調査対象樹木となった 50 種のうち、構成割合が大きくなった樹種は、ハルニレ (13%)、シラカンバ (11%)、カシワ (10%) となった。

次に、調査対象樹木の齢級別の胸高直径と樹高の平均値、及び樹種別のそれらの値が大きくなった上位 3 種を算出・抽出した結果、表 4 に示す通り、胸高直径及び樹高は、齢級により大きくなる傾向があること、齢級 1 から 3 程度の時期において各々の変化が特に大きい傾向にあること等が把握された。また、齢級別に胸高直径及び樹高の平均値が大きくなった樹種をみると、胸高直径では、ハルニレ (齢級 6,4)、トウヒ (齢級 5,6)、シラカンバ (齢級 6,3,2)、チョウセンゴヨウマツ (齢級 5,4,3)、ヤマハンノキ (齢級 4,3,2) 等の樹種が、樹高では、シラカンバ (齢級 6,5,4,3,2,1)、ハルニレ (齢級 6,5)、

ヤマハンノキ (齢級 4,3,2) 等の樹種であった。

さらに、調査対象樹木の齢級別の 1 本当たりの累積二酸化炭素固定量の平均値、及び樹種別のその値が大きくなった上位 3 種を算出・抽出した結果、表 5 に示す通り、調査対象樹木 1 本当たりの累積二酸化炭素固定量は、齢級 5~6 で約 50kg-C/本、齢級 4 で約 40kg-C/本、齢級 3 で約 20kg-C/本となること、累積二酸化炭素固定量は、齢級により大きくなる傾向があること等が把握された。また、齢級別に 1 本当たりの累積二酸化炭素固定量の平均値が大きくなった樹種をみると、シラカンバ (齢級 6,5,3,2,1)、ヤマハンノキ (齢級 6,4,3,2) ハルニレ (齢級 6,4) 等の樹種であった。

3.2 調査対象地の樹木分布特性

調査対象地の樹木分布特性について以下に示す。

各調査対象区内に存在する調査対象樹木の胸高直径、樹高の平均値 (以下、平均胸高直径、平均樹高とする。) 及び立木密度を算出した結果、表 6 に示すとおり、平均胸高直径 0.9~28.8cm、平均樹高 0.5m~20.5m、立木密度 600~2,600 本/ha となった。

また、齢級と胸高直径分布及び樹高分布との関連性を検討した結果、図 3 及び図 4 に示す通り、胸高直径、樹高とも齢級が増加するとともにその大きさが増加するような分布傾向が認められること、一方ですべての樹木が同様の大きさとならず、特に齢級 3 以上では、多様な胸高直径、樹高の樹木で構成されていること等が把握された。

3.3 調査対象地における累積二酸化炭素固定量

各調査対象地の 1ha 当たりの累積二酸化炭素固定量を推定した結果、表 7 に示す通り、最小 8kg-C/ha、最大 124,087kg-C/ha、平均 29,462kg-C/ha となった。

各調査対象地における累積二酸化炭素固定量と植栽後年数、平均

表 3 調査対象樹木の樹種(上位 10 種)

上位 10 種	樹種	本数	割合
1	ハルニレ	456	13%
2	シラカンバ	401	11%
3	カシワ	369	10%
4	ミズナラ	317	9%
5	チョウセンゴヨウマツ	316	9%
6	エゾヤマザクラ	253	7%
7	トドマツ	219	6%
8	アカエゾマツ	183	5%
9	ナナカマド	141	4%
10	ヤチダモ	130	4%
調査木総数		3575	100%

表 4 調査対象樹木の齢級別の胸高直径及び樹高

各齢級 各樹種 平均値	順位	齢級(5年区分)											
		1		2		3		4		5		6	
		0~5年	5~10年	10~15年	15~20年	20~25年	25年~30年						
胸高直径 (cm)	1	ハンノキ	6.1	キハダ	11.4	ヤマハンノキ	19.7	ヤマハンノキ	23.8	チョウセンゴヨウマツ	25.7	ハルニレ	20.6
	2	ヤマモミジ	1.8	シラカンバ	9.9	チョウセンゴヨウマツ	15.0	チョウセンゴヨウマツ	23.1	トウヒ	23.8	トウヒ	19.5
	3	ヤマグワ	1.7	ヤマハンノキ	9.5	シラカンバ	14.9	ハルニレ	21.9	キタゴヨウマツ	20.3	シラカンバ	18.4
	平均	1.3	6.8	12.4	18.0	18.5	17.6						
樹高 (m)	1	ハンノキ	6.0	ヤマハンノキ	10.2	ヤマハンノキ	16.5	ヤマハンノキ	16.9	シラカンバ	16.0	シラカンバ	17.4
	2	シラカンバ	1.6	キハダ	8.9	シラカンバ	14.2	シラカンバ	16.1	チョウセンゴヨウマツ	13.9	トドマツ	16.3
	3	ヤマモミジ	1.5	シラカンバ	7.7	ヤチダモ	12.1	ノニレ	13.6	ハルニレ	12.8	ハルニレ	14.6
	平均	1.2	5.0	9.3	10.4	11.5	14.5						

※ただし、各齢級で10本以上調査された樹種のみを取り上げている。

表 5 調査対象樹木の齢級別の 1 本当たりの累積二酸化炭素固定量

各齢級 各樹種 平均値	順位	齢級(5年区分)											
		1		2		3		4		5		6	
		0~5年	5~10年	10~15年	15~20年	20~25年	25年~30年						
累積 CO ₂ 固定量 (kg-C/本)	1	ハンノキ	2.8	キハダ	10.3	ヤマハンノキ	61.4	ヤマハンノキ	86.1	チョウセンゴヨウマツ	79.9	ハルニレ	74.0
	2	ヤマモミジ	0.4	シラカンバ	9.9	シラカンバ	37.0	ハルニレ	58.7	シラカンバ	70.2	シラカンバ	66.8
	3	シラカンバ	0.1	ヤマハンノキ	8.6	ヤチダモ	33.7	チョウセンゴヨウマツ	56.3	ミズナラ	67.4	ヤマハンノキ	60.8
	平均	0.1	4.9	20.4	38.5	51.2	49.2						

※ただし、各齢級で10本以上調査された樹種のみを取り上げている。

表 6 各調査対象地の平均胸高直径・平均樹高及び立木密度

289調査対象区	整備後年数 (年)	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	立木密度 (本/ha)
最小	0.5	0.9	0.5	600
最大	28.5	28.0	20.5	2,600
平均	14.5	12.4	8.5	1,237

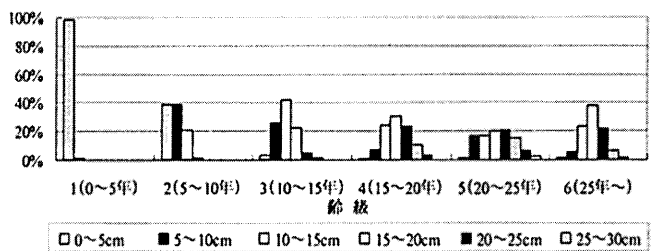


図 3 齢級と胸高直径分布

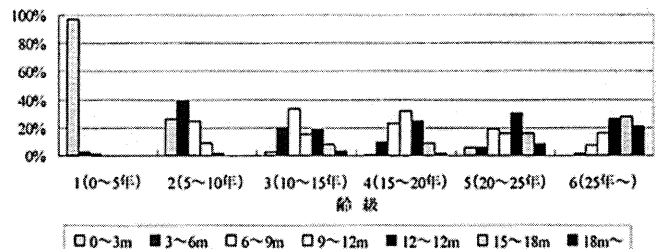


図 4 齢級と樹高分布

胸高直径、平均樹高及び立木密度との単相関分析を行った結果、表8に示すとおり、単相関係数が高くなったのは平均樹高(0.892)、平均胸高直径(0.851)及び植栽後年数(0.818)であった。

3.4 調査対象地における年間二酸化炭素固定量

3.4.1 調査対象地における平均的な年間二酸化炭素固定量

調査対象地における平均的な1ha当たりの年間二酸化炭素固定量を推定するため、1ha当たりの累積二酸化炭素固定量を目的変数、植栽後年数を説明変数とした単回帰分析を行った結果、図5に示す通り、単回帰式(決定係数:0.645)が得られた。

この単回帰式の傾きより、調査対象地の平均的な1ha当たりの年間二酸化炭素固定量は、2,179kg/ha・年程度となることが把握された。

3.4.2 齢級を考慮した年間二酸化炭素固定量

各齢級の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量をもとに、(n+1)齢級とn齢級の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量の差分を5年で除した値(各齢級間の年間二酸化炭素固定量)を算出した結果を表9に示す。その結果、齢級0~1間、齢級1~2間の年間二酸化炭素固定量は、調査対象地の平均的な値(2,179kg/ha・年)と比較し、小

表7 調査対象地の1ha当たりの累積二酸化炭素固定量

289調査対象区	1ha当たりの 累積二酸化炭素固定量 (kg-C/ha)
最小	8
最大	124,087
平均	29,462

表8 累積二酸化炭素固定量と樹木分布特性との単相関分析

単相関	植栽後年数 (年)	平均 胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	立木密度 (本/ha)
1ha当たりの累積CO ₂ 固定量 (kg-C/ha)	0.818**	0.851**	0.892**	-0.268**

無相関の検定 **1%有意

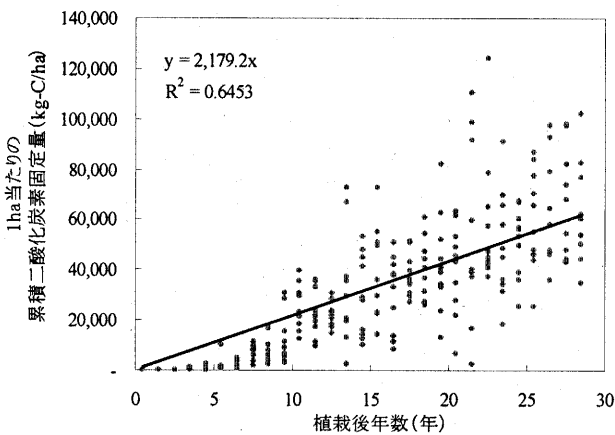


図5 植栽後年数と1ha当たりの累積二酸化炭素固定量との関連性

表9 各齢級における1ha当たりの累積・年間二酸化炭素固定量

植栽後年数	齢級(5年区分)						
	0	1	2	3	4	5	6
1ha当たり 累積CO ₂ 固定量 (kg-C/ha)※注1)	0	175	6,397	26,242	37,851	49,826	62,246
1ha当たり 年間CO ₂ 固定量 (kg-C/ha・年)※注2)	35	1,244	3,969	2,322	2,395	2,484	

※注1):各齢級ごとの累積二酸化炭素固定量の平均値

※注2):((n+1)齢級の累積二酸化炭素固定量)-(n)齢級の累積二酸化炭素固定量)+5(年)

さい値(各々35kg-C/ha・年,1,244kg-C/ha・年)となること、それ以外の各齢級間は平均的な値以上となること、最も値が大きくなったのは齢級2~3間(3,969kg-C/ha・年)であることが把握された。

3.5 調査対象地の二酸化炭素固定効果

調査対象地の二酸化炭素固定効果を、調査対象地の存在する帯広市における二酸化炭素排出量と調査対象地の二酸化炭素固定量との関係として位置づけ、以下に解析を行った。

まず、帯広市の人口(平成12年)173,030人に、帯広市の1人当たりの二酸化炭素排出量である1,420kg-C/人・年¹⁶⁾を乗じ帯広市の二酸化炭素排出量を算出した結果、245,702,600kg-C/年となった。また、この二酸化炭素排出量に5を乗じ5年分の二酸化炭素排出量(A)を算出した結果、1,228,513,000kg-C(:A)となった(表10)。

次に、本研究で得られた齢級を考慮した年間二酸化炭素固定量の推定結果を容易に取り扱うため、5年前(調査時の5年前)から現在(:調査時)までの5年間の調査対象地の二酸化炭素固定量を算出した結果、表11に示す通り、1,301,387kg-C(:B)となった。

さらに、二酸化炭素排出量Aと二酸化炭素固定量Bの割合を算定すると0.11%という値が算出された。この値は、京都議定書における我が国の削減目標値6%に対して1.77%の値となった(表12)。

同様に、30年前(調査時の30年前)から15年後(調査時の15

表10 帯広市の二酸化炭素排出量

帯広市の二酸化炭素排出量			
①	人口	173,030人	注1
②	帯広市の1人当たりCO ₂ 排出量(全体)	1,420kg-C/人・年	注2
①×②	帯広市のCO ₂ 排出量全体(1990年)	245,702,600kg-C/年	
①×②×5	5年前~現在の帯広市のCO ₂ 排出量	1,228,513,000kg-C	A

注1:平成12年(2002年)国勢調査

注2:帯広市(2002)

表11 調査対象地における5年前から現在までの二酸化炭素固定量

帯広の森の二酸化炭素固定量					
5年前 齢級	現在 齢級	面積 (ha)	1ha当たりの 年間CO ₂ 固定量 (kg-C/ha・年) ^{※1)}	5年前~現在の 1ha当たりCO ₂ 固定量 (kg-C/ha)	5年前~現在の 二酸化炭素固定量 (kg-C)
0	1	19.3	35	175	3,375
1	2	23	1,244	6,222	143,102
2	3	17	3,969	19,846	337,377
3	4	20.8	2,322	11,609	241,463
4	5	25.6	2,395	11,975	306,564
5	6	21.7	2,484	12,420	269,506
合計		127.4	-	-	1,301,387

注1):図6参照

表12 調査対象地の二酸化炭素固定効果

帯広の森の二酸化炭素固定効果	
5年前~現在の帯広の森のCO ₂ 固定量(B) /5年前~現在の帯広市のCO ₂ 排出量(A)	0.11%
※6%削減に対する割合(B/A)	1.77%

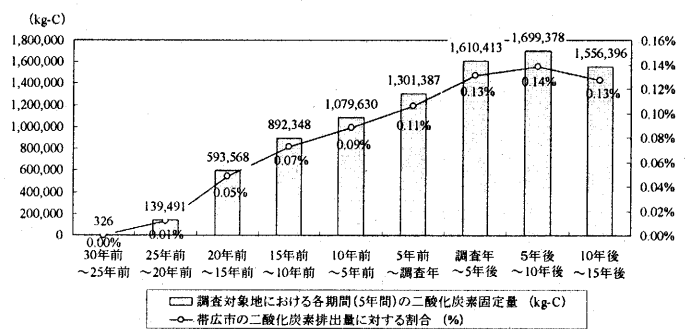


図6 調査対象地の二酸化炭素固定効果の推移

年後)における各期間(5年間)の調査対象地の二酸化炭素固定量の推移について推定^{註7)}し、各々の値と前述した二酸化炭素排出量(A)との割合を算定した結果を図6に示す。

その結果、30年前(調査時の30年前)から10年後(調査時の10年後)までは、調査対象地の二酸化炭素固定効果は概ね上昇傾向にあり、調査時以降の解析を行った15年後(調査後)程度の範囲においては、調査時以上の二酸化炭素固定効果が期待できること等が把握された。

4 おわりに

本研究では、帯広市「帯広の森」を調査対象地として、都市林の二酸化炭素固定効果を明らかにすることを目的に、調査対象地の二酸化炭素固定量の推定等を行った。

本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

まず、調査対象樹木(3,575本)の特性及び二酸化炭素固定量をみると、胸高直径、樹高及び1本当たりの累積二酸化炭素固定量は、植栽後年数(年齢)により大きくなる傾向があること、調査対象樹木一本当たりの累積二酸化炭素固定量は、年齢5~6で約50kg-C/本、年齢4で約40kg-C/本、年齢3で約20kg-C/本となること、年齢の割に1本当たりの累積二酸化炭素固定量の平均値が大きくなった樹種が認められること、その樹種はシラカンバ、ヤマハンノキ、ハルニレ等であることが把握された。

次に、個々の調査対象樹木によって構成される調査対象区の樹木分布特性をみると、平均胸高直径0.9~28.8cm、平均樹高0.5m~20.5m、立木密度600~2,600本/haであること、胸高直径、樹高とも年齢が増加するとともに各々の値が増加するような分布傾向が認められる一方で、すべての樹木が類似した大きさとならず、特に年齢3以上では、多様な胸高直径、樹高の樹木で構成されていること等が把握された。

さらに、調査対象地の二酸化炭素固定量をみると、1ha当たりの累積二酸化炭素固定量は、8~124,087kg-C/haとなること、1ha当たりの累積二酸化炭素固定量は、樹高、胸高直径及び植栽後年数が特に関連深い(高い正の相関)こと、植栽後年数と累積二酸化炭素固定量間では、決定係数:0.645の単回帰式が得られ、この式より植栽後年数の累積二酸化炭素固定量が推定可能となるとともに、この単回帰式の傾きより調査対象地の1ha当たりの平均的な年間二酸化炭素固定量は、2,179kg/ha・年程度となることが把握された。

ここで把握された1ha当たりの平均的な年間二酸化炭素固定量について、住区基幹公園(整備後年数平均22.1年、樹木本数平均221本/ha)⁹⁾と比較すると、住区基幹公園は平均1,042kg-C/ha程度である⁹⁾ので、本調査対象地(2,179kg/ha・年)は、住区基幹公園の概ね2倍程度の年間二酸化炭素固定が期待できることが明らかとなった。

また、各年齢間の年間二酸化炭素固定量をみると、年齢0~1間、1~2間の年間二酸化炭素固定量は、調査対象地の平均的な値である2,179kg/ha・年と比較し、小さい値(各々35kg-C/ha・年、1,244kg-C/ha・年)となること、最も値が大きくなったのは年齢2~3(3,969kg-C/ha・年)であることが把握された。

このように得られた調査対象地の二酸化炭素固定量の知見のもと、帯広市における二酸化炭素排出量に対する調査対象地の二酸化炭素固定量の割合(5年前(調査時の5年前)から現在(調査時)ま

での5年間)をみると、全排出量0.11%(6%削減目標の1.77%)程度の二酸化炭素固定効果となることが把握され、地球温暖化防止推進大綱で期待されている都市緑地の二酸化炭素固定効果(6%削減目標のうち0.33%(全排出量の0.02%))の5倍程度の効果が期待できることが把握された。

5 謝辞

本研究を遂行するに当たり、本研究のデータ収集等を行って頂いた竹原敏文氏(登別市)、研究補助や研究内容のご指摘を頂いた武田明純氏(室蘭工業大学)及び室蘭工業大学建設システム工学科環境デザイン学研究室学生には、多大な協力を賜った。ここに感謝の意を表したい。

注釈

注1) 一方、我が国において「都市林」は、都市公園法施行令第2条第2項において、主として、動植物の生息生育地である樹林地等の保護を目的とする都市公園としても位置づけられている。本研究では、この都市公園としての狭義の都市林ではなく、都市近郊の大規模緑地を意味する広義の「都市林」として位置づけた。

注2) 京都議定書においては、森林等の吸収源による温室効果ガスの吸収量を削減目標に用いることが定められ、気候変動枠組条約第7回締約国会議(COP7)で採択されたマラケシュ合意で同議定書第3条3項及び4項に関する吸収源活動の定義が位置づけられた¹⁷⁾。

具体的には、同議定書第3条3項に基づく新規植林、再植林、森林減少に加えて、第3条4項に基づく追加的な吸収源活動として森林経営、農地管理、牧草地管理及び植生回復(revegetation)が選択可能となっている¹⁷⁾。

そして、植生回復のうち、COP10で採択されたLULUCF-GPG(=Good Practice Guidance for Land Use Land Use Change and Forestry:「土地利用、土地利用変化及び林業に関するグッド・プラクティス・ガイダンス」)¹⁸⁾で示された6つの土地利用のうち都市の大部分が該当する「開発地」の植樹活動が「都市緑化」に該当すると考えられている¹⁷⁾。

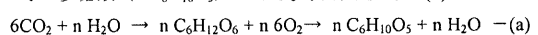
なお、地球温暖化防止に向けた吸収源対策としての「都市緑化」に関するIPCC、COP等における国際社会の議論については、加藤¹⁷⁾、半田ら⁹⁾が詳しい。

注3) 平成14年度からは、「平成の森事業」は、その他の環境再生事業を統括した、「自然再生緑地整備事業」として実施されるようになった。

注4) 材積表は各種存在するが、本研究で用いたこの材積表は、林野庁が昭和30年に主要樹種立木材積表調整要綱を定め、これに基づき林業試験場及び各営林局が調整に従事し、昭和45年に作成したものである(林野庁計画課、1970)。調査対象地に適応できるのは、トドマツ、エゾマツ、カラマツ・人工林、針葉樹、広葉樹の計5種の材積表であり、樹種ごとに適合する材積表を用いた。

また、実際には幹材積表は胸高直径3cm以下の場合には適応できないため、胸高直径が3cm以下の場合、及び高さが胸高に満たない場合は、根もと部の直径についても測定し、幹を三角錐(底面:根もと面、高さ:樹高)と仮定して材積量を推定した。また、胸高直径に関わる解析の際は、胸高に高さが満たないものについては0cmとして計算を行った。

注5) 植物体を構成する成分の多くは、光合成によってつくられるセルロース等の多糖類($n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)である。光合成反応は(a)式で示される。



(a)式の関係より、固定される CO_2 (分子量:44)と生成されるセルロース(分子量:162)の質量比は(2)式のように算出される。

$$n\text{CO}_2 : n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 = n \times 44 : n \times 162 = 44 : 162$$

また、 CO_2 を構成するCと CO_2 との間の質量比C: $\text{CO}_2=12:44$ で表される。したがって、乾燥重量 $\times (44/27) \times (12/44) =$ 乾燥重

量×12/27が炭素換算した二酸化炭素固定量となる。

ただし、本研究においては、一般的な推定法である乾燥重量×0.5を用いて二酸化炭素固定量を算出することとした。

注6) 炭素換算とは、炭素Cと酸素O₂の質量比12:32を用いて、二酸化炭素の重量を換算した炭素のみの重量である。

注7) 各期間の二酸化炭素固定量の推定結果に対する留意事項等について以下に示す。

まず、「調査時以前」の二酸化炭素固定量の推定結果は、各期間において未植栽と仮定される部分の年間二酸化炭素固定量を0として算定した値である。

次に「調査時以降」の二酸化炭素固定量の推定結果は、調査時に未だ存在せず年間二酸化炭素固定量が把握できなかった「齢級6以上」の年間二酸化炭素固定量を、便宜的に齢級5~6の年間二酸化炭素固定量(2,484kg-C/ha・年)と同等と仮定して算定した値である。また、調査時以降に植栽された部分についての二酸化炭素固定量については反映していない値である。

一般的に、一定齢級以上の樹木、樹林等についての地上部現存量の増加は収束し0に近づくこと等、齢級により年間二酸化炭素固定量は変化することが知られているが、都市公園を対象とした研究⁵⁾における年間二酸化炭素固定量は、整備後25~30年(齢級6)以降においても大きな変化(収束傾向等)は認められていない。このような研究結果⁵⁾を踏まえ、本研究では、上記のような仮説を設定し、「調査時」以降の二酸化炭素固定量を算定した。ただし、上述した研究⁵⁾は整備後42.75年までの都市公園についてのみを対象としていることから、本研究においても、整備後45年(調査時の15年後)までの期間に限定して解析を実施した。

参考文献

- 1) 丸田頼一・柳井重人：地球温暖化防止における都市緑化の役割と課題、公園緑地、Vol.59, No.3, pp.12~15, 1998.9
- 2) 地球温暖化対策推進本部：地球温暖化防止推進大綱、2002
- 3) 半田真理子・手代木純：地球温暖化防止に資する都市緑地の評価、都市緑化技術、No.56, pp.27~31, 2005.4
- 4) 建設省土木研究所：道路緑化樹木の二酸化炭素固定に関する研究、土木研究所資料3059, 1992
- 5) 市村恒士・岡田孝幸・柳井重人・丸田頼一：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、No.34, pp.1~6, 1999.11
- 6) 市村恒士・柳井重人・丸田頼一：街路樹の二酸化炭素固定量の推定に関する研究、環境情報科学論文集、No.14, pp.267~272, 2000.11
- 7) 鈴木和夫・丹下健・下村彰男：都市の緑のカーボン・シンクー東京大学キャンパスの緑を例に、グリーンエージ、Vol.26, No.8, pp.32~36, 1999
- 8) 藤原宣夫：都市緑化によるCO₂削減量の評価ー東京都豊島区におけるケーススタディー、環境情報科学論文集、No.18, pp.241-246, 2004.11
- 9) Nobuo Fujiwara, Yutaka Yamagishi: Evaluation on four using types of waste material with tree pruning in terms of CO₂ balance; Chips, Compost, Charcoal and Pellets, Journal of Environmental Information Science, Vol.32, No.5, pp.41~47, 2004.2
- 10) 帯広の森20周年実行委員会：帯広の森ー私たちと帯広の森づくり、帯広の森20周年実行委員会、1995
- 11) 柳井重人・市村恒士：都市公園における樹木の二酸化炭素固定効果の推定に係わる課題、都市緑化技術、No.56, pp.32~39, 2005.4
- 12) 林野庁計画課：立木幹材積表ー東日本編、日本林業調査会、1970
- 13) 南雲秀次郎・箕輪光博：測樹学、地球社、1990
- 14) J.バルデ、J.ブッシュン；大隅真一訳：森林計測学、森林計画学会、1993
- 15) 藤原宣夫・山岸裕・村中重仁：都市緑化樹木によるCO₂固定量の算定方法に関する研究：日本緑化工学会誌 Vol.28, No.1, pp.26~31, 2002
- 16) 帯広市：平成14年度版帯広市環境白書、帯広市、2002
- 17) 加藤順子：地球温暖化防止と都市緑化等の推進、都市緑化技術、No.56, pp.15~26, 2005.4
- 18) IPCC：Good Practice Guidance for Land Use Land Use Change and Forestry, 2003

(2005年3月10日原稿受理、2005年8月17日採用決定)