

都市人工林に自然侵入した若齢木の地際直径、樹高による樹齢推定式の作成および適用性の検討

宮崎直美^{*1,4)}・平田昌弘²⁾・菊池俊一³⁾

- 1) 岩手大学大学院連合農学研究科
- 2) 帯広畜産大学
- 3) 山形大学農学部
- 4) 帯広の森・はぐくむ

摘要：都市人工林に自然侵入する若齢木の樹齢情報の取得のため、地際直径および樹高と樹齢実測値との関係から樹齢推定式を得る方法を検討し、異なる林分での樹齢推定式の適用性を検証した。有意な相関関係を得られた樹種のうち、10本程度の円盤採取による樹齢解析で、地際直径、樹高および地際直径と樹高の積と樹齢実測値とのいずれの一次回帰式からも樹齢推定が可能であった。地際直径および樹高と樹齢との相関係数にほとんど差がなかったため、地際直径だけで簡便で迅速な樹齢推定が可能と考えられた。異なる林分への樹齢推定式の適用は、樹種によって樹齢推定の精度が低下したことから、樹齢推定式は同一林分での適用が適切であることが示唆された。

キーワード：都市人工林、自然侵入、若齢木、地際直径、樹高、樹齢推定式

1. はじめに

自然植生の復元を目的として造成された都市人工林では、自然林との森林の更新過程は大きく異なることが指摘されている⁵⁾。都市人工林内の若齢木は高木層の更新や転換を図る上で重要である³⁾。都市人工林内に自然侵入する若齢木の定着過程を把握するには、若齢木の生育段階を樹齢から求めることが大きな手がかりとなる。これまで国内の都市人工林で自然侵入する木本の樹齢推定を扱った研究は見当たらない。

都市人工林以外で現存木本から樹齢情報を得た研究例として、藤原ら¹⁾が海岸クロマツ林で枯死した大径木の伐倒により、地際直径と樹齢との関係式から樹齢推定をおこなっている。また、梅澤は⁶⁾カラマツ耕地防風林を対象に樹齢と樹高との関係式から樹齢推定をおこなっている。都市人工林内に自然侵入する若齢木から円盤採取による樹齢解析と、地際直径および樹高と樹齢との相関関係から樹齢推定式を得ることができれば、都市人工林に自然侵入する若齢木の物理的破壊を最小限に留めながら、多くの樹齢情報を効率よく得ることが

が可能となる。また、ある林分で作成した樹齢推定式が異なる林分の樹齢推定にも適用できれば、樹齢推定式の実用性が高まることになり、より効率的に樹齢情報を取得できる可能性がある。したがって、樹齢推定式が得られた林分とは異なる林分への適用性の検証をおこなうことも必要である。

そこで本研究では、都市人工林に自然侵入する若齢木の樹齢情報の取得のため、地際直径および樹高と樹齢との関係から樹齢推定式を得る方法を検討し、異なる林分での樹齢推定式の適用性を検証することを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 調査地

調査地は、北海道帯広市の都市公園「帯広の森」(406.5 ha)内の1983年植栽地(3.9 ha)である(図-1)。調査地一帯は

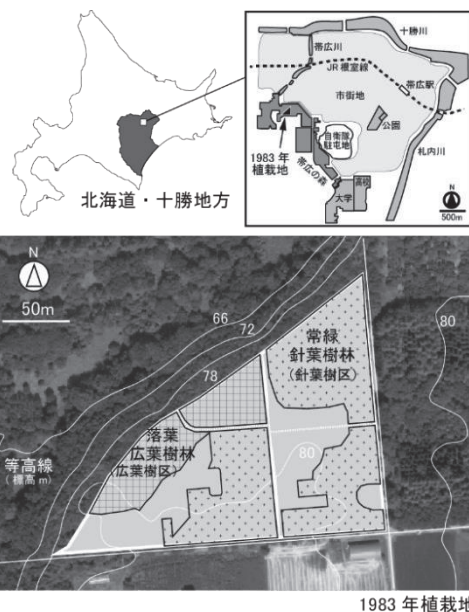


図-1 調査地の概要

1983年植栽地

河岸段丘面の台地、乾性腐植質火山灰土壌である⁴⁾。

現在、調査地内は上層木にハルニレが優占する落葉広葉樹林（以下広葉樹区）と、チョウセンゴヨウが優占する常緑針葉樹林（以下針葉樹区）が存在する。林分ごとに若齢木の生育環境条件が異なると考えられたので、調査は広葉樹区、針葉樹区に区分して実施した。

2.2 調査・分析方法

2.2.1 調査対象樹種

本研究では若齢木の定義を、植栽後の林内で更新過程にある広葉樹で、上層木に達していない地際直径 50.0 mm 未満の個体とした。

対象樹種は、広葉樹区においてヤマグワ (*Morus australis* Poir.)、マユミ (*Euonymus sieboldianus* Blume)、エゾニワトコ (*Sambucus racemosa* L. subsp. *kamtschatica* (E.L.Wolf) Hultén)、ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)とした。針葉樹区においては、イチイ (*Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. var. *cuspidata*)、アズキナシ (*Aria alnifolia* (Siebold et Zucc.)Decne.)、エゾヤマザクラ (*Cerasus sargentii* (Rehder) H.Ohba var. *sargentii*)、ナナカマド (*Sorbus commixta* Hedl. var. *commixta*)、ハルニレ (*Ulmus davidiana* Planch. var. *japonica* (Rehder) Nakai)、ヤマグワ、オニグルミ (*Juglans mandshurica* Maxim. var. *sachalinensis* (Komatsu) Kitam.)、マユミ、ヤチダモ、ハリギリ (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.)とした。

2.2.2 地際直径、樹高、樹齢の実測調査

広葉樹区、針葉樹区それぞれの林冠閉鎖下で、樹種ごとに数本～数十本の実測個体を選定した。実測個体は地際直径および樹高を記録し、地際から円盤を採取した。採取した円盤を持ち帰り、マイクロトームで 50 μ m の切片にした後、サフランインで 5 分染色し、30 倍および 60 倍のルーペで年輪数から各個体の樹齢実測値を測定した。

2.2.3 樹齢推定方法

実測調査で得られた樹種ごとの地際直径（説明変数 X_1 ）と樹齢実測値（目的変数 Y_1 ）、樹高（説明変数 X_2 ）と樹齢実測値（目的変数 Y_1 ）、地際直径と樹高の積（説明変数 X_3 ）と樹齢実測値（目的変数 Y_1 ）の 3 パターンそれぞれについて、両者の関係から散布図を作成した。樹木の成長は一般に若齢期で指数関数的に大きくなることを踏まえ²⁾、対数関数を用いることとし、各変数は常用対数変換した。説明変数として地際直径と樹高の積を用いたのは、説明変数の種類が増すことにより樹齢推定の精度が高まるか検討するためである。

樹種ごとの各パターンについて、常用対数変換した両変数から相関係数 (r) を求めた。相関係数の有意検定は自由度 $n-2$ 、有意水準 5% の t 検定によりおこなった。さらに、樹種ごとの各パターンについて、常用対数変換した両変数から、最小二乗法によって一次回帰式を作成し、樹齢推定式とした。樹齢推定式では、樹齢推定値（目的変数 Y_a ）、地際直径（説

明変数 X_d ）、樹高（説明変数 X_h ）、地際直径と樹高の積（説明変数 X_{dh} ）とした。

2.2.4 林分の異なる樹齢推定式の適用性の検討方法

作成した樹齢推定式の林分の違いによる適用性を検討するために、樹齢実測値と樹齢推定値との誤差を比較した。

適用性の検討は、各林分の共通樹種であるヤチダモ、マユミ、ヤマグワの樹齢推定式を対象としておこなった。対象とした樹種の樹齢推定式に同一林分、異なる林分の実測個体数のすべての実測数値を説明変数としてそれぞれ当てはめ、樹齢推定値を算出した。算出の際、説明変数は常用対数変換し、樹齢推定式から常用対数の樹齢推定値を求めた。この常用対数値を変換して、樹齢推定値を算出した。対象とした樹種の実測個体数すべての樹齢実測値と樹齢推定値との差の絶対値を誤差とした。平均誤差は、対象とした樹種の実測個体数すべての樹齢誤差を集計して算出した。標準偏差は、対象とした樹種の実測個体数すべての樹齢誤差の標準偏差値である。また最大差は、対象とした樹種の実測個体数すべての誤差のなかで最大数値のものとした。

3. 結果と考察

3.1 樹種ごとの実測値

各林分の樹種ごとの実測個体数、地際直径の平均値と範囲、樹高の平均値と範囲および樹齢実測値の平均値と範囲を以下に示す。

広葉樹区において、ヤマグワ（実測個体数 3 本）は地際直径 (X_1) 平均値 24.2 mm（範囲 16.5～29.4 mm）、樹高 (X_2) 274 cm（173～370 cm）、樹齢実測値 (Y_1) 14 齢（12～16 齢）、マユミ（10 本）は地際直径 6.1 mm（2.7～9.6 mm）、樹高 48 cm（11～105 cm）、樹齢実測値 6 齢（2～9 齢）、エゾニワトコ（14 本）は地際直径 15.3 mm（5.2～35.9 mm）、樹高 120 cm（37～201 cm）、樹齢実測値 5 齢（2～10 齢）、ヤチダモ（17 本）は地際直径 6.8 mm（0.8～14.3 mm）、樹高 57 cm（7～138 cm）、樹齢実測値 9 齢（1～17 齢）であった。

針葉樹区において、イチイ（24 本）は地際直径 10.2 mm（1.8～25.7 mm）、樹高 64 cm（8～169 cm）、樹齢実測値 9 齢（3～17 齢）、アズキナシ（25 本）は地際直径 13.9 mm（3.1～25.2 mm）、樹高 147 cm（33～306 cm）、樹齢実測値 11 齢（5～19 齢）、エゾヤマザクラ（20 本）は地際直径 9.8 mm（3.4～15.8 mm）、樹高 111 cm（30～173 cm）、樹齢実測値 10 齢（4～16 齢）、ナナカマド（16 本）は地際直径 14.7 mm（2.1～29.7 mm）、樹高 163 cm（29～372 cm）、樹齢実測値 11 齢（3～20 齢）、ハルニレ（29 本）は地際直径 13.9 mm（2.6～27.4 mm）、樹高 141 cm（24～318 cm）、樹齢実測値 11 齢（5～17 齢）、ヤマグワ（23 本）は地際直径 15.0 mm（3.4～34.7 mm）、樹高 183 cm（59～374 cm）、樹齢実測値 9 齢（3～18 齢）、オニグルミ（12 本）は地際直径 7.8 mm（4.5～16.3 mm）、樹高 80 cm（45～141 cm）、

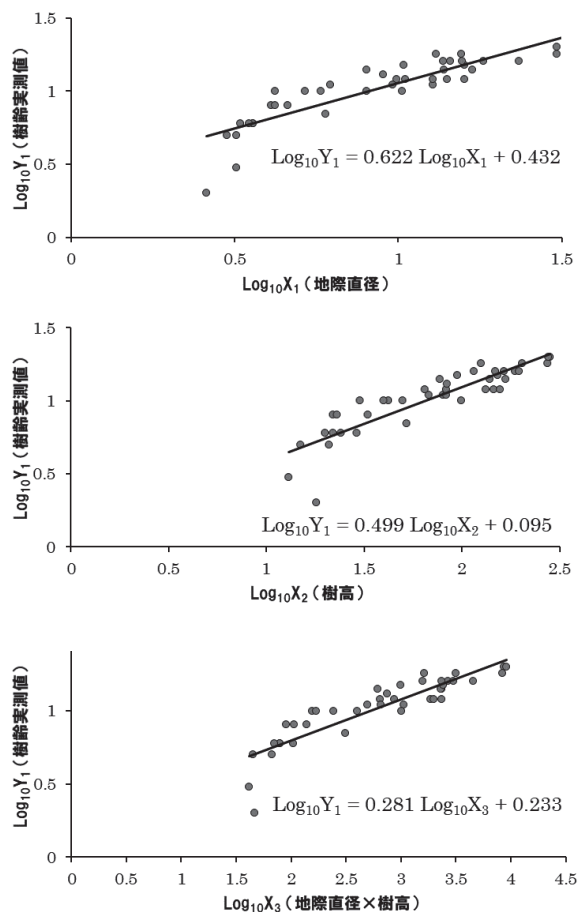


図-2 針葉樹区ヤチダモの地際直径 (X₁) と樹齢実測値 (Y₁) との関係, 樹高 (X₂) と樹齢実測値 (Y₁) との関係および地際直径と樹高の積 (X₃) と樹齢実測値 (Y₁) との関係

樹齢実測値 5 齢 (2~9 齢), マユミ (28 本) は地際直径 6.5 mm (2.4~26.7 mm), 樹高 54 cm (12~152 cm), 樹齢実測値 7 齢 (2~16 齢), ヤチダモ (41 本) は地際直径 11.0 mm (2.6~33.0 mm), 樹高 99 cm (13~283 cm), 樹齢実測値 12 齢 (2~20 齢), ハリギリ (24 本) は地際直径 15.5 mm (5.3~36.3 mm), 樹高 140 cm (12~371 cm), 樹齢実測値 10 齢 (3~18 齢) であった。

3.2 樹齢推定式の作成とその有効性

樹齢推定式の作成とその有効性の検討については, ヤチダモの結果を抜粋して示す。図-2 に針葉樹区ヤチダモの地際直径 (X₁) と樹齢実測値 (Y₁) との関係, 樹高 (X₂) と樹齢実測値 (Y₁) との関係および地際直径と樹高の積 (X₃) と樹齢実測値 (Y₁) との関係, 表-1 に樹種ごとの実測個体数 (n), 説明変数別にみた樹齢推定式および相関係数 (r) を示した。

針葉樹区ヤチダモは, 表-1 に示したように地際直径 (r = 0.88), 樹高 (r = 0.89) および地際直径と樹高の積 (r = 0.89) となり, 樹齢実測値との間にいずれも p < 0.05 の有意な相関がみられ, 図-2, 表-1 に示した樹齢推定式が得られた。

同様に作成した各林分の樹種ごとの樹齢推定式では (表-1), 広葉樹区ヤマグワおよび広葉樹区エゾニワトコを除いた樹種で, 地際直径, 樹高および地際直径と樹高の積と樹齢実測値との関係で p < 0.05 の有意な相関がみられた。

広葉樹区ヤマグワは標本数 3 本と少なかったことから有意な相関が得られず, エゾニワトコは樹齢実測値に対して地際直径および樹高のばらつきがそれぞれ大きかったことから有意な相関が得られなかった。

標本数は少ないものの, 広葉樹区マユミ 8 本, 針葉樹区オニグルミ 10 本および針葉樹区ナナカマド 14 本からも有意な相関を得ることができた。

表-1 樹種ごとの実測個体数 (n), 説明変数別にみた樹齢推定式および相関係数 (r)

樹種	実測個体数 (n)	地際直径 (X _d)	相関係数 (r)	樹高 (X _h)	相関係数 (r)	地際直径×樹高 (X _{dh})	相関係数 (r)
広葉樹区							
ヤマグワ	3	Log ₁₀ Y _a = 0.391Log ₁₀ X _d + 0.596	0.81	Log ₁₀ Y _a = 0.356Log ₁₀ X _h + 0.272	0.92	Log ₁₀ Y _a = 0.189Log ₁₀ X _{dh} + 0.415	0.88
マユミ	10	Log ₁₀ Y _a = 0.961Log ₁₀ X _d - 0.010	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.494Log ₁₀ X _h - 0.070	0.81 *	Log ₁₀ Y _a = 0.356Log ₁₀ X _{dh} - 0.121	0.89 *
エゾニワトコ	14	Log ₁₀ Y _a = 0.369Log ₁₀ X _d + 0.288	0.50	Log ₁₀ Y _a = 0.304Log ₁₀ X _h + 0.086	0.39	Log ₁₀ Y _a = 0.179Log ₁₀ X _{dh} + 0.139	0.46
ヤチダモ	17	Log ₁₀ Y _a = 0.832Log ₁₀ X _d + 0.254	0.96 *	Log ₁₀ Y _a = 0.707Log ₁₀ X _h - 0.277	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.387Log ₁₀ X _{dh} - 0.045	0.95 *
針葉樹区							
イチイ	24	Log ₁₀ Y _a = 0.560Log ₁₀ X _d + 0.432	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.505Log ₁₀ X _h + 0.088	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.269Log ₁₀ X _{dh} + 0.244	0.93 *
アズキナシ	25	Log ₁₀ Y _a = 0.528Log ₁₀ X _d + 0.459	0.79 *	Log ₁₀ Y _a = 0.507Log ₁₀ X _h - 0.032	0.82 *	Log ₁₀ Y _a = 0.268Log ₁₀ X _{dh} + 0.179	0.82 *
エゾヤマザクラ	20	Log ₁₀ Y _a = 0.707Log ₁₀ X _d + 0.285	0.85 *	Log ₁₀ Y _a = 0.640Log ₁₀ X _h - 0.316	0.88 *	Log ₁₀ Y _a = 0.344Log ₁₀ X _{dh} - 0.054	0.87 *
ナナカマド	16	Log ₁₀ Y _a = 0.662Log ₁₀ X _d + 0.279	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.685Log ₁₀ X _h - 0.463	0.92 *	Log ₁₀ Y _a = 0.347Log ₁₀ X _{dh} - 0.120	0.94 *
ハルニレ	29	Log ₁₀ Y _a = 0.406Log ₁₀ X _d + 0.585	0.72 *	Log ₁₀ Y _a = 0.422Log ₁₀ X _h + 0.148	0.80 *	Log ₁₀ Y _a = 0.211Log ₁₀ X _{dh} + 0.358	0.77 *
ヤマグワ	23	Log ₁₀ Y _a = 0.584Log ₁₀ X _d + 0.288	0.76 *	Log ₁₀ Y _a = 0.604Log ₁₀ X _h - 0.398	0.70 *	Log ₁₀ Y _a = 0.303Log ₁₀ X _{dh} - 0.069	0.74 *
オニグルミ	12	Log ₁₀ Y _a = 1.063Log ₁₀ X _d - 0.270	0.90 *	Log ₁₀ Y _a = 1.174Log ₁₀ X _h - 1.560	0.95 *	Log ₁₀ Y _a = 0.571Log ₁₀ X _{dh} - 0.918	0.93 *
マユミ	28	Log ₁₀ Y _a = 0.843Log ₁₀ X _d + 0.136	0.84 *	Log ₁₀ Y _a = 0.655Log ₁₀ X _h - 0.312	0.85 *	Log ₁₀ Y _a = 0.385Log ₁₀ X _{dh} - 0.156	0.86 *
ヤチダモ	41	Log ₁₀ Y _a = 0.622Log ₁₀ X _d + 0.432	0.88 *	Log ₁₀ Y _a = 0.499Log ₁₀ X _h + 0.095	0.89 *	Log ₁₀ Y _a = 0.281Log ₁₀ X _{dh} + 0.233	0.89 *
ハリギリ	24	Log ₁₀ Y _a = 0.726Log ₁₀ X _d + 0.161	0.88 *	Log ₁₀ Y _a = 0.463Log ₁₀ X _h + 0.055	0.90 *	Log ₁₀ Y _a = 0.286Log ₁₀ X _{dh} + 0.085	0.89 *

t検定の結果 * : p < 0.05 有意

したがって、自然侵入した若齢木の樹齢推定は最低でも10本程度の円盤採取により、地際直径、樹高および地際直径と樹高の積と樹齢実測値とのいずれの相関関係からも、樹齢推定が可能であることが示唆された。

有意な相関関係が得られた樹種のうち、地際直径および樹高を用いたそれぞれの樹齢推定式の相関係数は、地際直径と樹高の積を用いた場合とほとんど変わりなかった。樹高を測定するよりも地際直径を測定するほうが簡便で作業効率が良い。したがって、地際直径だけで若齢木の樹齢を迅速に推定することが可能であることが把握された。

3.3 樹齢推定式の適用性

表-2に樹齢推定式を同一林分・異なる林分に適用した樹齢実測値と樹齢推定値の平均誤差(齢)、標準偏差(齢)および最大差(齢)を示した。

針葉樹区で作成した樹齢推定式を針葉樹区に当てはめたヤチダモ、マユミおよびヤマグワの場合、平均誤差1.6~2.1齢、標準偏差1.1~2.5齢、最大差5~11齢となり、平均誤差は小さかったが、誤差10齢以上となる個体がみられた。

針葉樹区の樹齢推定式を広葉樹区に当てはめたヤチダモ、マユミの場合、平均誤差0.7~1.3齢、標準偏差0.6~0.9齢、最大差2~3齢となり、平均誤差は小さかった。ヤマグワは平均誤差2.0~2.7齢、標準偏差0.8~1.4齢となったが、標本数が少なく統計的に評価できなかった。

広葉樹区の樹齢推定式を広葉樹区に当てはめたヤチダモおよびマユミの場合、平均誤差0.8~1.2齢、標準偏差0.5~0.8齢、最大差2~3齢となり、平均誤差は小さかった。

広葉樹区の樹齢推定式を針葉樹区に当てはめたマユミの場合、平均誤差1.6~2.3齢、標準偏差1.9~2.7齢、最大差9

表-2 樹齢推定式を同一林分・異なる林分に適用した樹齢実測値と樹齢推定値の平均誤差(齢)、標準偏差(齢)および最大差(齢)

林分	説明変数	広葉樹区			針葉樹区				
		n	平均誤差	標準偏差	最大差	n	平均誤差	標準偏差	最大差
ヤチダモ									
広葉樹区	直径(X ₁)	17	1.0	0.7	3	41	2.9	2.9	12
	樹高(X ₂)	17	1.2	0.7	2	41	3.0	2.1	9
	直径×樹高(X ₃)	17	1.2	0.7	2	41	3.1	2.5	11
針葉樹区	直径(X ₁)	17	0.8	0.9	3	41	1.9	1.4	5
	樹高(X ₂)	17	0.8	0.8	3	41	1.6	1.3	5
	直径×樹高(X ₃)	17	0.7	0.7	3	41	1.7	1.1	5
マユミ									
広葉樹区	直径(X ₁)	10	0.8	0.7	2	28	2.3	2.7	12
	樹高(X ₂)	10	1.1	0.8	2	28	1.6	2.0	9
	直径×樹高(X ₃)	10	0.9	0.5	2	28	1.7	1.9	8
針葉樹区	直径(X ₁)	10	0.8	0.6	2	28	1.8	2.5	11
	樹高(X ₂)	10	1.3	0.6	2	28	1.7	1.7	8
	直径×樹高(X ₃)	10	0.9	0.7	2	28	1.7	2.0	8
ヤマグワ									
針葉樹区	直径(X ₁)	3	2.0	1.4	3	23	2.0	2.1	7
	樹高(X ₂)	3	2.7	0.9	4	23	2.1	2.0	7
	直径×樹高(X ₃)	3	2.0	0.8	3	23	2.0	1.9	7

~12齢となり、平均誤差は小さかったが、誤差10齢以上となる個体がみられた。ヤチダモでは平均誤差2.9~3.1齢、標準偏差2.1~2.9齢、最大差9~12齢となり、平均誤差は3齢まで大きくなり、誤差10齢以上となる個体がみられた。

したがって、ある林分で作成した樹齢推定式を異なる林分に適用すると、樹種によっては樹齢実測値と樹齢推定値との平均誤差が大きくなる危険性があることが把握された。樹齢推定の平均誤差を小さく留めるには、樹齢推定式は同一林分のみへの適用が適切であることが示唆された。

4. まとめ

本研究では都市人工林「帯広の森」において、自然侵入した若齢木は地際直径、樹高および地際直径と樹高の積と樹齢実測値との間に相関関係が認められる樹種について、10本程度の樹齢解析から、樹齢推定が可能であることが示唆された。

有意な相関関係が得られた樹種のうち、地際直径、樹高および地際直径と樹高の積と樹齢実測値とのそれぞれの相関係数は、ほとんど変わりなかったため、地際直径だけで簡便で迅速な樹齢推定が可能であることが考えられた。

異なる林分への樹齢推定式の適用は、樹種によっては樹齢推定の精度が低下したため、樹齢推定式は同一林分での適用が適切であることが示唆された。

今後、汎用性の高い樹齢推定式の提案にあたっては、林内環境や生育段階の異なる林分で、さまざまな樹種の測定値の積み重ねから同様の検証をおこない、樹齢推定値の精度を検証する必要がある。

謝辞: 本研究にあたり、調査地・材料の提供にご協力頂いた帯広市都市建設部みどりの課、帯広の森づくり活動団体の皆様および現地調査・樹齢解析にご協力頂いた帯広畜産大学・平田研究室の学部学生の皆様に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 藤原道郎・岩崎 寛・大藪崇司・澤田佳宏 (2007) 名勝に指定されている海岸クロマツ林におけるクロマツ大径木の樹齢と年輪成長. 海岸林学会誌, 6(2): 19-22.
- 2) 藤原宜夫・山岸 裕・村中重仁 (2002) 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, 28(1): 26-31.
- 3) 石坂健彦 (1987) 大規模緑地における植生管理研究の課題と展望. 造園雑誌, 50(3): 167-180.
- 4) 帯広市都市開発部公園緑地課 (1975) 帯広の森計画基礎調査報告書, 79 pp.
- 5) 坂本圭児 (1999) 都市林の保全と管理. 岡田光正・大沢雅彦・鈴木基之編, 環境保全・創出のための生態工学. 丸善, pp. 32-42.
- 6) 梅澤弘一 (2011) 十勝地方の耕地防風林の適正更新に関する研究. 岩手大学大学院連合農学研究科博士論文, 172 pp.

(2019年7月7日受理)