

**「画像処理技術による山林健康管理センサシステムの都市内緑地保全への適用」
報告書**

東京工科大学 コンピュータサイエンス学部教授 三田地成幸 2011.2.10

目次

1 「民学産公」協働研究事業(協働研究事業)の概要	3
2 幹事団体(東京工科大学)のプロフィール	3
3 協働研究事業参加団体のプロフィール	4
4. 協働研究事業の企画・実施の背景	5
5. 協働研究事業の詳細	6
5-1 現地調査報告 [2010.07.26]	6
No.1「三鷹市内公園等緑地及び対象街路樹選定、画像撮影(緑の季節) 7月」	
5-2 現地調査報告 [2010.11.11]	22
No.2「三鷹市内対象街路樹枝葉高さ測定、画像撮影(紅葉の季節) 11月」	
5-3 現地調査報告 [2010.11.16]	44
No.3「三鷹市内対象街路樹枝葉高さ自動センサ組み立て、測定、画像撮影(紅葉時)」	
5-4 現地調査報告 [2010.11.25]	51
No.4「三鷹市内公園等対象緑地及び対象街路樹選定、画像撮影(落葉時) 11月」	
5-5 現地調査報告 [2011.1.6]	59
No.5「三鷹市内公園等緑地画像撮影(冬枯れの季節) 1月」	
6. 結論	64
7. 今後の計画	65
8. 参考文献	65
付属資料	66
5-1-7. 付録 [2010.7.26]	67
5-2-7. 付録 [2010.11.11]	72
5-3-6. 付録 [2010.11.16]	85
5-4-6. 付録 [2010.11.25]	87
5-5-6. 付録 [2011.1.6]	89

1. 「民学産公」協働研究事業(協働研究事業)の概要

東京工科大学三田地研では、画像処理技術による樹幹密度を用いた山林健康管理センサシステムを研究開発している。このシステムを三鷹市内の公園内の樹木林、特別緑地保全地区、あるいは国立天文台などの樹木林に適用し、都市部での緑地保全のための剪定の判断基準をより定量的で客観的なものとして提示することを可能とし、緑地保全のための稼働低減に貢献して三鷹地域社会環境の健全性を維持発展させることに役立てる。さらに、この山林健康管理センサシステムにステレオ法を機能付加して奥行き補正を可能とする。その結果、より正確な数値で定量的に街路樹の手入れ時期の判断を行うことを可能とし、三鷹市内の街路樹の保全と交通の安全確保に貢献する。

2. 幹事団体(東京工科大学)のプロフィール

東京工科大学は昭和 61 年の開学以来、教育の原点である大学のあり方や教職員一人ひとりの判断や行動の基軸として

- (A) 実社会に役立つ専門の学理と技術の教育
- (B) 先端研究開発を介した教育とその研究成果の社会還元
- (C) 理想的な教育と研究を行うための理想的な環境整備

という三つの基本理念を掲げて教育と研究活動を進めている。

これらの理念の究極の目標は学生の個性を尊重し、創造性、自立性、実学、ICT スキルを身に付けた世界に通用する人材を育成し、産業界や社会に貢献することである。

本学は基本理念を実現するために、4つのミッションを定めている。これらのミッションを達成するため「ONLY ONE,BEST CARE」(OBC)という行動規範を掲げ、教職員が一丸となって教育改革に取り組んでいる。

- (A) 学生の個性を重視した教育の実施
- (B) 先端技術教育による実社会に役立つ技術者や多様なエキスパートの育成
- (C) ICT に精通した技術者や多様なエキスパートの育成
- (D) 国際的人材育成のための外国語（特に英語）の実践教育

キャンパスの大きさ： 380,811m²

教職員数： 366 名(2008 年 5 月 1 日現在)

学生数：(2008 年 5 月 1 日現在) 6,213 名

学部・専攻： メディア学部、応用生物学部、コンピュータサイエンス学部
医療保険学部、デザイン学部
大学院バイオ・情報メディア学研究科

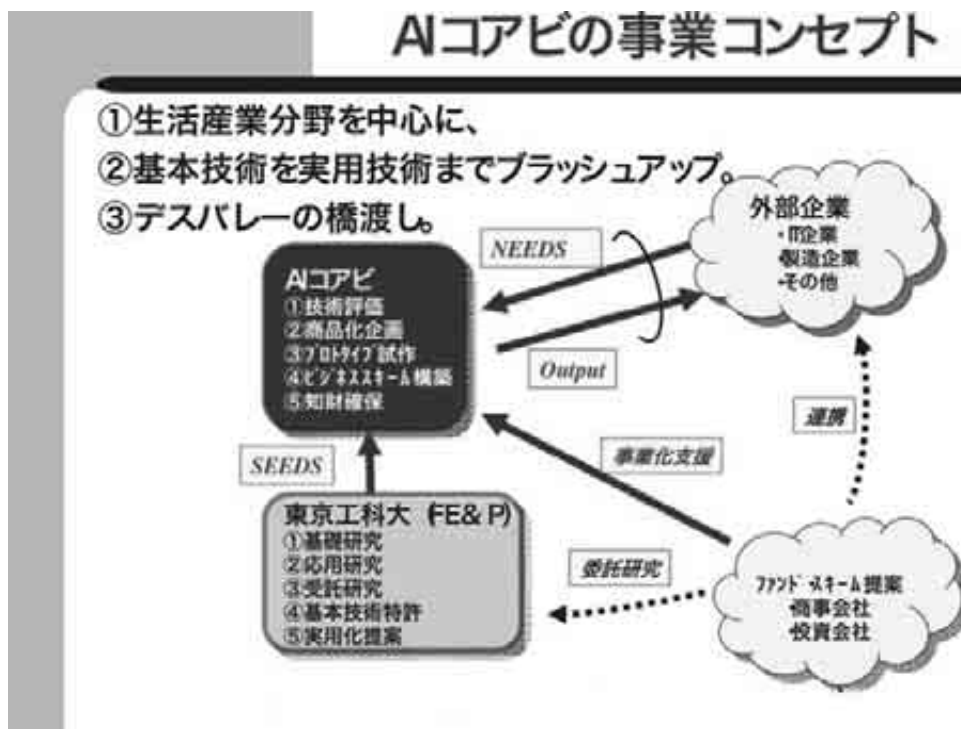
所在地： 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

TEL.042-637-2111(代) FAX.042-637-2112

3. 協働研究事業参加団体のプロフィール

【(有)AI コアビプロフィール】

技術評価からビジネススキーム構築までを視野に、電子産業分野における新規技術のインキュベーション、センサをコアとした生活支援技術の開発、知的財産／特許調査事業を業務とする、小回りの利く研究開発のベンチャー企業です。



会社のプロフィールは下記のとおりです。

会社名	有限会社 AIコアビ
取締役	岡田武司
設 立	2004年9月
資本金	300万円
本 社	〒311-4145 水戸市双葉台五丁目6の13 電話 029 (252) 4177

4. 協働研究事業の企画・実施の背景

4-1. 背景

【社会的な背景】

日本では建築や燃料などに多くの木材を使用するため、林業が盛んに行われてきた。しかしながら 1950 年代に木材輸入の自由化が始まり、最終的に全面自由化となると、木材価格・木材生産量は低下し、これに伴って林業従事者数も減少した。その結果、近年では放置林が増加し、樹木の倒壊、川やダムのはり滞等の災害につながる危険性が指摘されている。図 1.1 は熊本県 阿蘇放置林の写真である。



図 4-1 風倒木災害, <http://www.ee.e-mansion.com/~tkubota/wind.htm>(26/01/2005)

これに対して、三田地研究室では、山林カラー画像から、簡易かつ客観的に山林の健康状態を測定する方法を、“山林健康管理センサの研究開発”というテーマで研究してきた。すなわち、林道等の間近な山林の写真から簡単に山林の健康を管理、センシングし、間伐等の手入れを促すシステム研究である。樹幹密度という指標を山林の健康状態の判定に用

いるものである。

【技術的な背景】

これまでの研究で、山林画像に画像処理（輪郭抽出等）を施し、樹幹密度という指標を算出し、これを用いることで、間伐等の手入れの必要性を判断できることが分かっている。これまで“山林健康管理センサの研究開発”では、山林の樹木を対象にセンシングを行って来た。しかし、市街部の緑地である公園にも山林同様、簡易かつ客観的な管理手法が必要とされる樹林が多くある。

そこで今回、平成 22 年度三鷹ネットワーク大学推進機構「民学産公」協働研究事業採択課題「画像処理による山林健康管理センサシステムの都市内緑地保全への適用」の下に、実地調査を行い、今後の研究対象として適当な測定場所の選定と、山林健康管理センサの公園への適用可能性を検討した。

(A) 山林健康管理センサの市街地への適用

本調査研究では、市街地の公園内樹林を対象として樹幹密度測定を行い、山林健康管理センサと同様の手法で公園内樹林の間伐必要性がセンシング可能であるか検討した。

(B) レーザセンサを用いた街路樹のセンシング

街路樹には多くの重要な役割があるが、適切な手入れを怠ると車両通行の障害になり危険である。これまで、街路樹の剪定の必要性の判断は人間が目視で行なってきた。しかしながら、この測定手法は主観的であり人為的な誤差が発生することが問題であった。これを改善するために、レーザ距離センサを用いて街路樹の剪定の必要性を精度良く客観的にセンシングしようと試みた。

5. 協働研究事業の詳細

上記の、(A) 山林健康管理センサの市街地の公園内樹林への適用と (B) レーザセンサを用いた街路樹のセンシングについて、三鷹市内の公園緑地を季節を変えて現場撮影、現場測定を行った。

- (i) 2010 年 7 月 6 日（深緑の季節）
- (ii) 2010 年 11 月 11 日（紅葉の季節）
- (iii) 2010 年 11 月 16 日（紅葉の季節）
- (iv) 2010 年 11 月 25 日（落葉の季節）
- (v) 2011 年 1 月 6 日（冬枯れの季節）

これらの結果について、季節ごとに (A) と (B) の 2 点について以下に詳細を報告する。

5-1 現地調査報告 [2010.07.26]

—No.1「三鷹市内公園等緑地及び対象街路樹選定、画像撮影（緑の季節）7 月」—

5-1-1 測定場所の選定

以下の地図（図 5-1-1）に示す 5 公園（北野公園，新川天神青少年広場，大沢雑木林公園，丸池公園および丸池公園に隣接するみはらしやま公園）と 3 道路（三鷹通り、天神山通り、大沢コミュニティ通り）で実際の樹林および街路樹を東京工科大学三田地研と共に観察することで、今後の研究対象の選定および現時点での樹木の手入れの必要性を判断した。



図 5-1-1 三鷹市内の緑地（公園）および街路樹ある道の位置

5-1-2 公園での樹幹密度測定

公園内の樹林に対して樹幹密度測定を行い、山林での樹幹密度測定との違いを把握し、適用可能性を検討した。

5-1-3. 原理

山林の健康を管理，センシングし，間伐等の手入れを促すシステムの原理は下記の通りである。

5-1-3-1. 樹幹密度

山林カラー画像には、樹木の幹や地面等が写っているが、樹木の幹が写っている領域を樹幹領域と呼ぶ。また、それ以外の領域を背景領域と呼ぶ。

山林カラー画像に対して、輪郭抽出フィルタをかけ、輪郭を抽出し、樹幹領域と背景領域を分離する。その後、樹幹領域および背景領域の画素数を数える。この結果から樹幹密度を求めることが出来る。

樹幹密度とは、山林カラー画像中の樹幹領域の割合であり、(1)式で示される。

$$(\text{樹幹密度}) = (\text{樹幹領域の画素数}) / (\text{全画素数}) \quad \cdots(1)\text{式}$$

ここで、

$$(\text{全画素数}) = (\text{樹幹領域の画素数}) + (\text{背景領域の画素数}) \quad \cdots(2)\text{式}$$

である。

Sobel フィルタは、ある注目画素を中心とした上下左右の9つの画素値に対して、右に示すような係数をそれぞれ乗算し、結果を合計する。垂直方向、水平方向の二つの係数行列を用いてこの処理を行う。他のフィルタ(Roberts フィルタ等)と比較して垂直、水平方向の輪郭に対して強く輪郭を抽出する特徴を持つ。樹木は垂直に伸びており、輪郭線も垂直に伸びる。従って Sobel フィルタによる抽出が最適と考えられる。

標準画像 lenna の輝度成分画像



元の画像

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

垂直方向



Sobelフィルタ処理した画像

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

水平方向

赤で示した中央の係数が注目画素の部分

図 5-1-2 ソーベルフィルタ

Sobel フィルタによる山林画像からの樹幹の輪郭抽出例を下図に示す。



高尾山の山道から撮影した写真

元画像



Sobelフィルタを適用した画像

適用後の画像

撮影条件 {

- ・場所: 高尾山山道降り口から1.2 km付近
- ・日時: 平成18年6月27日午前10:50
- ・天候: 晴天

次に植林地である山林現場への適用例を示す。

5-1-3-2 樹幹密度の性質

樹幹密度には、手入れのされている山林ほど大きく、逆に手入れのされていない山林ほど小さいという傾向があることが分かっている（図 3-3）。これは、手入れのされている山林ほど、より奥の樹幹が画像に写るためである。手入れのされていない山林では枝葉によって遮蔽されるため相対的に樹幹密度が小さくなる。昨年度の奥多摩地方での実地調査（図 3-3）により、山林での間伐の要不要を判断するしきい値は 50～55%とであると結論している。

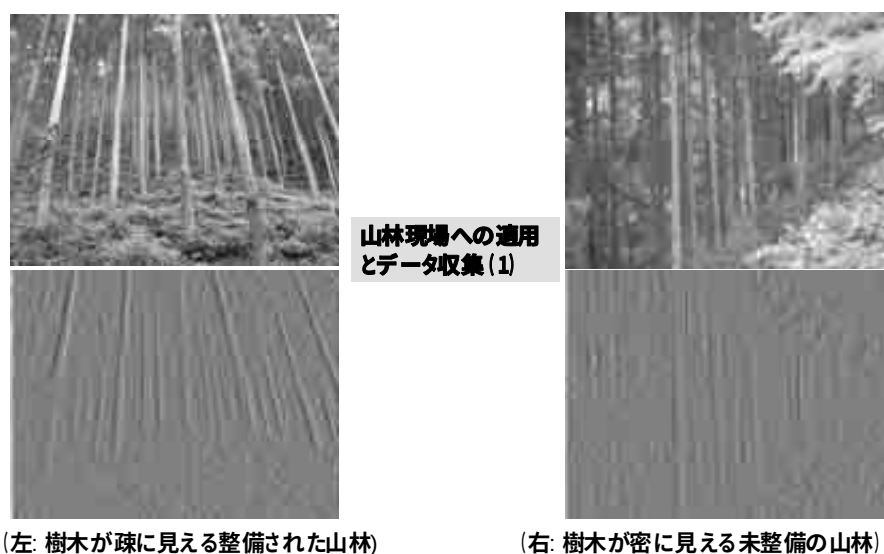
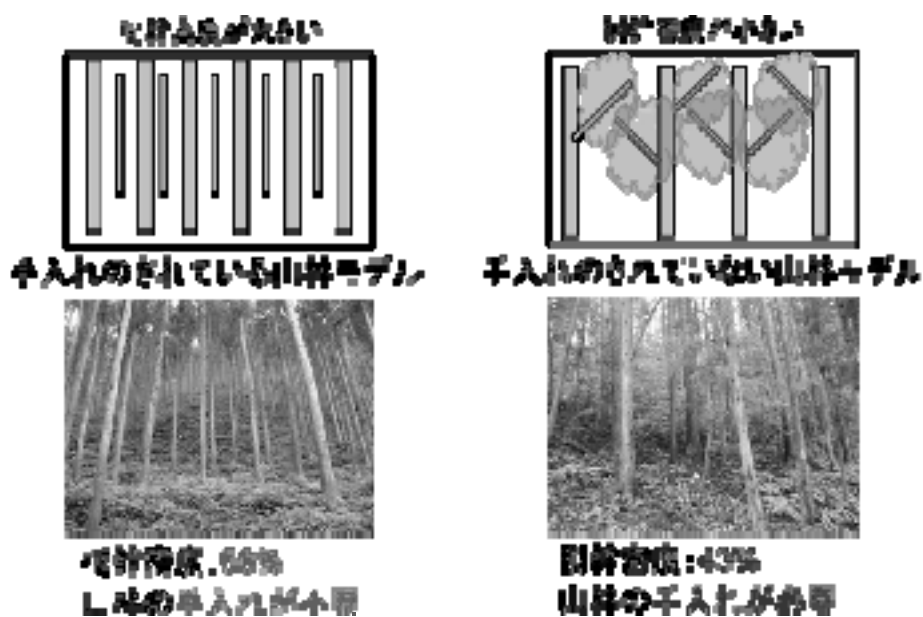


図 5-1-4 奥多摩の林道から撮影した山林画像 (1280画素×960画素) (2008年9月26日)

樹木が疎な左の画像では樹幹密度は38.0%、樹木が密な右の画像では46.8%の樹幹密度を示した。このように、山林現場撮影画像に対し樹木の粗密に対応する値が得られている。

【山林手入れ作業要否の閾値設定】

東京都奥多摩地方での実地調査で得られた（図 3.5 に示す）実際の山林画像を間伐等の手入れが必要な画像と不要な画像に分け、樹幹密度を算出し、山林手入れ作業要否の閾値設定が下記に示す方法で行われている。表 3.1 に手入れの要不要と樹幹密度の関係を示す。20～25 年生前後の植林地では、手入れが不要な山林の画像は樹幹密度が大きく、手入れが必要な山林の画像は、樹幹密度が小さくなるという傾向が見られた。これは手入れが必要な山林では下草や枝が、画像奥に位置する立木の幹を遮蔽することによると思われる。このように樹幹密度の大小と手入れの要不要に相関がみられた。

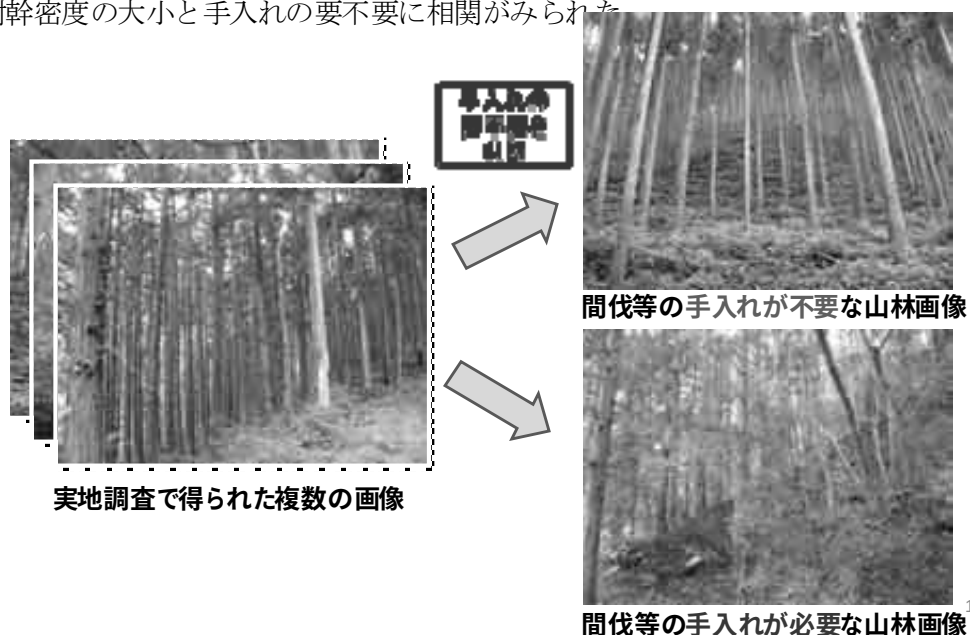


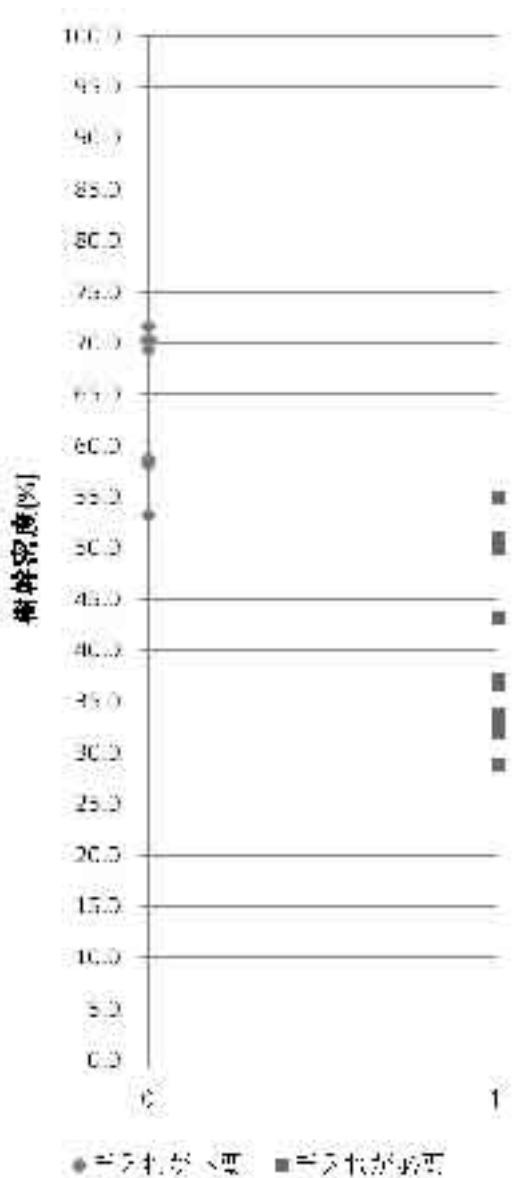
表. 5-1-1 間伐等の手入れの必要性と樹幹密度

サンプル番号	樹齢 (年生)	手入れ	樹幹密度 (%)	平均 (%)
1D (白丸湖3)		不要	70.2	56.5
2.A(白丸湖1)		不要	58.1	
3B (白丸湖2)	20～25	不要	70.5	
4. (鳩ノ巣溪谷1)		不要	53.1	
5F (白丸湖5)	20～25	不要	69.4	
6. (鳩ノ巣溪谷2)		不要	71.7	
7. (鳩ノ巣溪谷3)		不要	58.7	
8.C (海沢大橋)		必要	54.8	40.4
9E (白丸湖4)		必要	43.1	
10. (鳩ノ巣溪谷4)	20～25	必要	37.1	
11. (鳩ノ巣溪谷5)		必要	49.9	
12. (鳩ノ巣溪谷6)		必要	28.8	
13. (鳩ノ巣溪谷7)		必要	51.0	
14. (鳩ノ巣溪谷8)		必要	36.7	
15. (鳩ノ巣溪谷9)		必要	36.7	
16. (数馬峽橋)		必要	33.6	
17. (鳩ノ巣溪谷10)		必要	32.1	

これらの結果をまとめると、(1) 50%前後が手入れが必要な場合と不要な場合の境界(閾値)であると考えられる。(2) 50%未満であれば手入れが必要であり、55%以上であれば手入れは不要であると判断できるのではないかという結果が得られている (表 5-1-2)。

表 5-1-2

サンプル番号	手入れ	樹幹密度(%)	平均(%)
1 (D)	不要	70.2	56.5
2 (A)	不要	58.1	
3 (B)	不要	70.5	
4	不要	53.1	
5 (F)	不要	69.4	
6	不要	71.7	
7 (C)	不要	58.7	
8	必要	54.8	40.4
9 (E)	必要	43.1	
10	必要	37.1	
11	必要	49.9	
12	必要	28.8	
13	必要	51.0	
14	必要	36.7	
15	必要	36.7	
16	必要	33.6	
17	必要	32.1	



【山林健康管理センサ自動化】

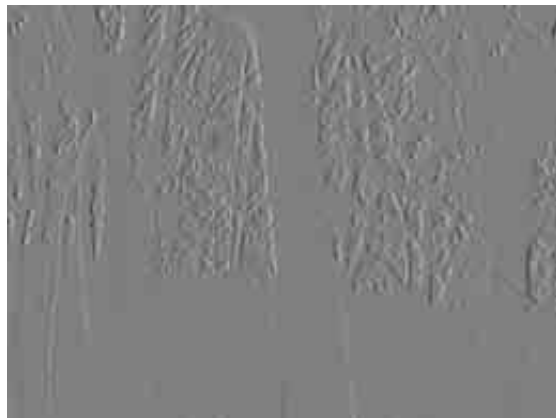
上記の山林健康管理センシング方法を自動化する検討もなされ、ソフトウェア作成が行われている。

【広葉樹林への適用】

上記の結果は、植林地における針葉樹林に対する結果であったが、既に東京工科大学内の広葉樹林を対象に、上記の樹幹密度算出方法が可能であることが、図 3.6 のように初期検討結果として示されている。



樹幹密度 74.59%



樹幹密度 69.20%

図 5-1-6 広葉樹林への適用

5-1-4. 現場実験方法

5-1-4-1. 測定場所の選定

2010 年 7 月 26 日に、三鷹市内の 5 公園（北野公園，新川天神青少年広場，大沢雑木林公園，丸池公園および丸池公園に隣接するみはらしやま公園）と 3 道路（三鷹通り、天神山通り、大沢コミュニティ通り）で実際の樹林および街路樹を観察する。

公園の選定については、樹木の本数が一定以上あり、樹幹密度測定が可能かどうかという点で選定した。

道路の選定については、街路樹の枝葉が大型車両等に接触する危険性があるかどうかという点と、今後実地調査を行う際に交通の妨げになりにくい場所かという点から判断し、適当な道路を選定した。

5-1-4-2. 公園での樹幹密度測定

2010 年 7 月 26 日に、三鷹市内の 5 公園（北野公園，新川天神青少年広場，大沢雑木林公園，丸池公園および丸池公園に隣接するみはらしやま公園）の樹林に対して、デジタルカメラを用いて山林カラー画像を取得し、樹幹密度測定を行った。

5-1-5. 現場実験結果

5-1-5-1. 測定場所の選定

5-1-5-2. 三鷹市内の公園

(1) 北野公園

図 5-1-5 に北野公園の様子を示す。樹幹密度測定に十分な本数の樹木があった。したがって測定場所とすることとした。



図 5-1-5-1 北野公園の様子

(2) 新川天神青少年広場

図 5-2 に新川天神青少年広場の様子を示す。樹幹密度測定に十分な本数の樹木があった。したがって測定場所とすることとした。



図 5-1-5-2 新川天神青少年広場の様子

(3) 丸池公園

図 5-3 に丸池公園の様子を示す。樹木間の距離がとても大きく、樹幹密度測定は困難だと考えられた。したがって測定場所とはしないこととした。



図 5-1-5-3 丸池公園の様子

(4) みはらしやま公園

図 5-1-5-4 にみはらしやま公園の様子を示す。樹幹密度測定に十分な本数の樹木があった。したがって測定場所とすることとした。



図 5-1-5-4 みはらしやま公園の様子

(5) 大沢雑木林公園

図 5-5 に大沢雑木林公園の様子を示す。樹幹密度測定に十分な本数の樹木があった。したがって測定場所とすることとした。



図 5-1-5-5 大沢雑木林公園の様子

5-1-5-3. 三鷹市内の道路(街路樹)

(1) 三鷹通り

図 5-1-5-6 に三鷹通りの様子を示す。街路樹の枝葉はよく手入れがされており、大型車両への接触の可能性も小さく、選定の必要な箇所は見られなかった。また、交通量が多く、実地調査には不向きな場所であった。したがって測定場所とはしないこととした。



図 5-1-5-6 三鷹通りの様子

(2) 天神山通り

図 5-1-5-7 に天神山通りの様子を示す。交通量は比較的少なく、実地調査は可能な場所であったが、街路樹の枝葉はよく手入れがされており、大型車両への接触の可能性も小さく、選定の必要な箇所は見られなかった。したがって測定場所とはしないこととした。



図 5-1-5-7 天神山通りの様子

(3) 大沢コミュニティ通り

図 5-1-5-8 に大沢コミュニティ通りの様子を示す。街路樹の枝葉は低い位置から道路の中心まで伸長しており、大型車両への接触が見られた。また、交通量は比較的少なく、実地調査は可能な場所であった。したがってこの大沢コミュニティ通りを今後の測定場所とすることとした。



図 5-1-5-8 大沢コミュニティ通りの様子

5-1-5-4. 公園での樹幹密度測定

測定場所の選定の結果、測定場所とすることとした4公園（北野公園、新川天神青少年広場、大沢雑木林公園、みはらしやま公園）にて山林カラー画像を取得し、樹幹密度測定を行った。その結果を表5-1および図5-1-5-9に示す。図5-1-5-9を見ると、間伐の必要な公園と、不要な公園で明らかな差が見られた。手入れの必要な公園の方が、比較的樹幹密度が小さいという傾向が見られた。また、間伐の要不要を判断する閾値は30~40%であると考えられる。

また、図5-1-5-10に山林での樹幹密度測定と今回の公園での樹幹密度測定を比較したグラフを示す。これをみると、今回の公園への適用結果は、山林での測定結果と同様の傾向であることが分かる。したがって、山林健康管理センサの公園への適用可能性を得たといえる。

しかしながら、間伐の要不要を判断する閾値には差が見られた。具体的には山林では50~55%、公園では30~40%であった。この差は、公園では広葉樹が多く、山林（針葉樹林）に比べ樹木間の距離が大きい傾向であることが原因と考えられる。また、公園は山林に比べ面積が小さく、奥行きも小さいため、山林のように遠く（奥の）樹木が無いことも原因の1つであると考えられる。

表 5-1-5-1 公園での樹幹密度測定結果

公園名	手入れの必要性	樹幹密度
北野公園 1	不要	58.4
北野公園 2	不要	47.1
新川天神青少年広場 1	必要	37.0
新川天神青少年広場 2	必要	22.9
大沢雑木林公園 1	不要	35.7
大沢雑木林公園 2	不要	43.5
大沢雑木林公園 3	不要	45.2
みはらしやま公園 1	必要	27.5
みはらしやま公園 2	必要	26.7

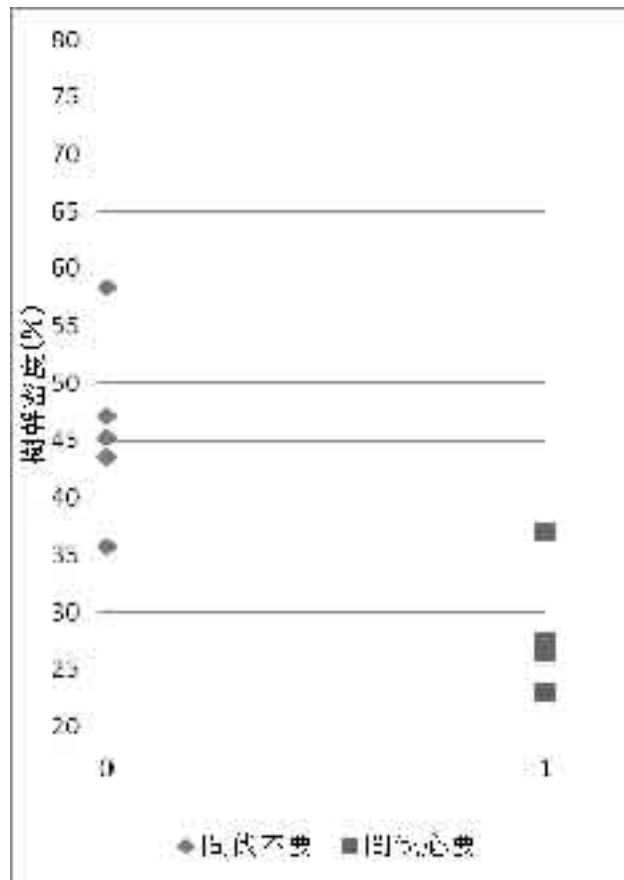


図 5-1-5-9 公園での樹幹密度測定結果

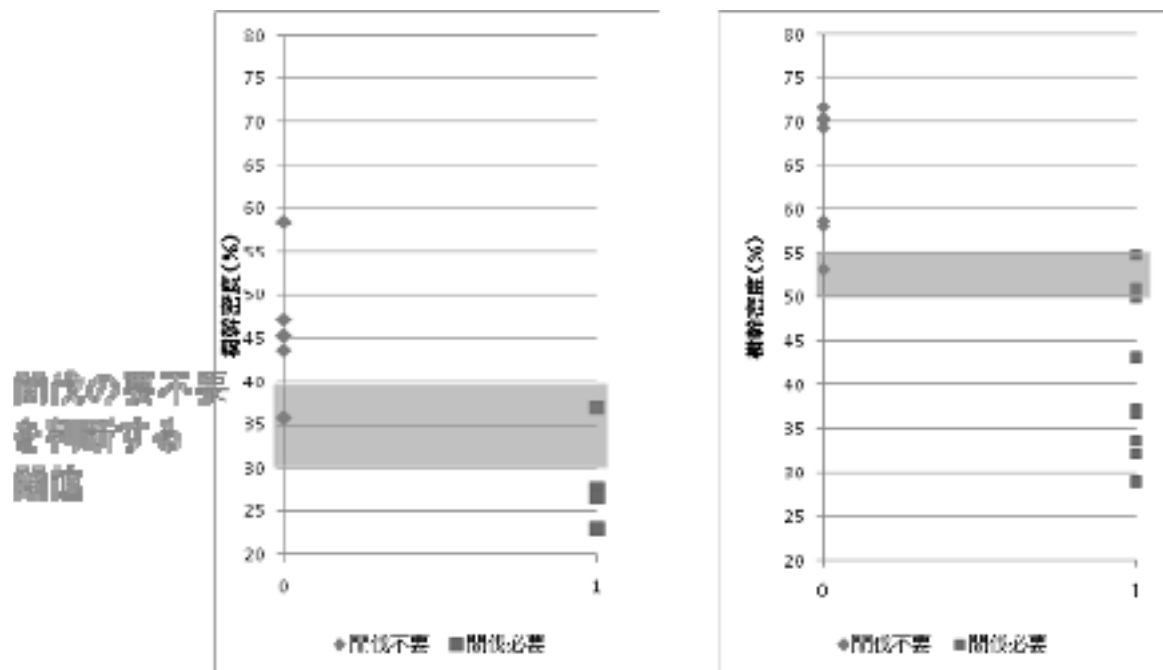


図 5-1-5-10 公園と山林での樹幹密度測定
(左：公園への適用結果，右：山林での測定結果)

5-1-6. まとめ

5-1-6-1. 測定場所の選定

現地調査を通して、三鷹市内の 5 公園および 3 道路を観察した。

公園では樹幹密度が測定可能な樹林があるか否かを判断基準とし、その結果、北野公園、天神青少年広場、みはらしやま公園、大沢雑木林公園の 4 公園を測定場所に選定した。

道路では、車両に接触する可能性のある枝葉のある街路樹があること、交通量が比較적으로少なく今後も実地調査が可能であることを判断基準とし、その結果、大沢コミュニティ通りを測定場所に選定した。

5-1-6-2. 公園の測定

測定場所に選定された 4 公園の樹林に対して、山林同様の手法を用いて樹幹密度を測定した。その結果、山林と同様の“間伐が不要な樹林の方が、必要な樹林に比べ樹幹密度が大きい”という傾向が得られた。したがって、山林健康管理センサの公園への適用可能性が得られた。ただし、間伐の要不要を判断するための閾値に、山林の場合と公園の場合では差が見られた。これは樹種（山林は針葉樹林、公園は広葉樹林）の差が影響していると考えられる。

また、公園は広葉樹が多いため、季節変化による紅葉や落葉があるため、その場合に樹幹密度に影響があるか今後確認する必要がある。

5-2 現地調査報告 [2010.11.11]

—No.2「三鷹市内対象街路樹枝葉高さ測定、画像撮影(紅葉の季節) 11月」—

5-2-1. 背景

前回 7 月 26 日の現地調査で、測定場所の選定および公園での樹幹密度測定を行った。その結果、次のような事が分かった。

(1) 公園に関しては、北野公園、天神青少年広場、みはらしやま公園、大沢雑木林公園の 4 公園が測定場所として適当であった。また、道路では、大沢コミュニティ通りが測定場所として適当であった。

(2) 公園での樹幹密度測定結果は、山林での測定結果と同様の傾向が見られた。ただし、間伐の要不要を判断する閾値には若干の差があった。これは樹種の違いが原因の 1 つであると考えられる。また、公園における樹木林の中心である広葉樹の紅葉や落葉も、針葉樹を中心にした山林にはない要素であるので、これまでの山林（針葉樹林）における検討結果が適用可能かどうか、今後詳細な検討が必要である。

以上のようなことから、紅葉や落葉した公園の樹林に対して樹幹密度測定を行う必要があると考えられる。また、街路樹の樹高や、手入れの必要性の判断については、まだセンシング法や判定方法が全く検討されていないので、これも提案・検討の必要がある。

5-2-2. 目的

5-2-2-1. 紅葉した公園の樹幹密度測定

7 月の公園での樹幹密度測定では、樹木の葉は緑で、落葉もなかった。今回、11 月となり紅葉が始まったため、緑葉と紅葉の差を調べることを試みた。

5-2-2-2. レーザセンサによる街路樹のセンシング

街路樹に対してレーザセンサを用いたセンシング方法を提案する。その前提として、レーザセンサの特性を評価するための実験を行う。その後、センサシステムを車に搭載し、学内および三鷹市大沢コミュニティ通りで現地測定を行い、本手法の実用可能性を検討した。

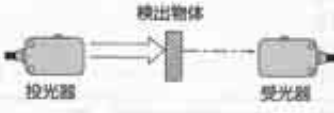
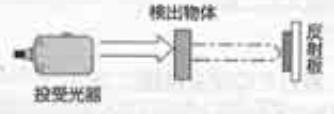
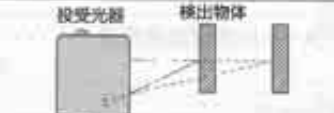
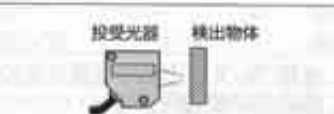
5-2-3. 原理

5-2-3-1. レーザセンサ

レーザセンサ（光電センサ）は、可視光線、赤外線などの“光”を、投光部から信号光として発射し、検出物体によって反射する光を受光部で検出（反射型）したり、遮光される光量の変化を受光部で検出（透過型、回帰反射型）し出力信号を得るものである。検出物体に接触せずに検出が行えるため、検出物体を傷つけることがない。また、センサ自体も傷つかず、寿命が長くメンテナンスフリーである。物体の表面反射または遮光量によって検出するので、ガラス、金属、プラスチック、木、液体などほとんどの物体を検出可能である。検出距離は透過型で 10m、反射形で 1m である。最高 20 μ s（1/50000 秒）の

高速応答で、人間の目では追従できない速さに対応できる。色は光の特定波長に対して、反射・吸収の比率が異なり、この特性から受光量の変化で色の検出、判別が可能になる。(表 5-2-3.1 参照)

表 5-2-3.1 レーザセンサの種類、原理、特徴

種 類	検 出 方 式	特 長
透過型		対向する投光・受光器間の光軸を検出物体がさえぎること で検出します。 ・検出距離が長い。 ・検出位置精度が高い。 ・不透明体であれば、形状・色・材質に関係なく検出できる。 ・レンズの汚れ、ゴミに強い。
回帰反射型		センサから出て反射板から戻ってくる光を検出物体がさえ ぎること検出します。 ・片側が反射板なので狭いスペースに取り付けられる。 ・配線が簡単で、反射型に比べ長距離検出。 ・光軸合わせが容易。 ・不透明体であれば、形状・色・材質に関係なく検出できる。
拡散反射型		検出物体に光を照射し、検出物体からの反射光を受光して 検出します。 ・センサ本体だけの取り付けで済み、スペースをとらない。 ・光軸合わせが不要。 ・反射体であれば透明体も検出できる。 ・色判別が可能。
狭視野反射型		検出物体に光をスポット照射し、検出物体からの反射光を 受光して検出します。 ・小物検出ができる。 ・マーク検出が可能。 ・機械等のすき間から検出できる。 ・検出スポットを確認できる。
限定反射型		投光部と受光部を角度をもった構造にすることにより、そ れぞれの光軸の交差する限られた領域のみで検出しま す。 ・背景の影響が少ない。 ・応答距離が短い。 ・小さな凹凸の検出が可能。
距離設定型		検出物体にスポットを照射して、検出物体からの反射光の 角度の違いで検出します。 ・反射率の高い背景物の影響を受けない。 ・検出物体の色・材質の反射率が違っても、安定した検出が 可能。 ・小物体の高精度検出が可能。
光沢度判別用反射型		検出物体にスポットを照射して正反射と拡散反射の違いにより、 光沢度の違いを検出します。 ・オンラインでの使用が可能。 ・色の影響を受けない。 ・透明体でも検出できる。

5-2-3-2. 自動車の車高制限 (<http://www.pref.kagawa.jp/police/koutsuu/syakou/index.htm>)

道路交通法及び道路交通法施行令により、道路を走行する自動車の積載物を含めた高さの制限（以下「車高制限」という。）については、3.8メートルとされていたが、平成16年3月22日から、

道路又は交通の状況により支障がないと認めた道路を通行する自動車にあっては、車高制限を4.1メートル

に緩和し、さらに平成18年4月1日から、車高制限4.1メートル指定道路を変更(追加)した。

5-2-3-3 東京都道路交通規則

東京都道路交通規則を下記に示すが、この規則の第2条の3 令第22条第3号ハの規定による公安委員会が定める自動車の高さは、4.1メートルと規定されている。東京都や千葉県では大型車両の通行の多い特定の道路を定めて4.1mとしているが、他の一般道および他府県の道路では多くが自動車の高さ制限は3.8mが一般的である。

5-2-4 実験方法

5-2-4-1. 紅葉した公園の樹幹密度測定

2010年11月11日に、三鷹市内の4公園（北野公園，新川天神青少年広場，大沢雑木林公園，みはらしやま公園）にて、樹幹密度測定を行った。

5-2-4-2. ステレオ法の測定精度の検討

- ・ ステレオ法の測定精度の検討
 - － 対象物までの距離測定
 - － 対象物の高さ測定

5-2-4-3. レーザセンサの特性の評価

本研究ではLV-H32というレーザセンサを用いる。このレーザセンサの特性を調べるため、レーザセンサを水平方向および垂直方向（下方向）に向け、対象物（壁・床）との距離を10~100cmに離して測定し、受光量の変化を観察した。

5-2-4-4. 実地調査による街路樹の選定の必要性の判断

レーザセンサ（KEYENCE社製LV-H32）、およびアンプ（KEYENCE社製LV-20A・FS-RS1）、定電圧電源、AC/DCアダプタを図4-1のように車に設置した。道路交通法で定められている車両の高さ制限3.8m（一部、地域・道路によっては4.1m、東京都は4.1m）をセンシング可能な3.05m位置にレーザセンサ（1mの測距可能）を設置した。電源は車のバッテリーとした。反射光の受光量はアンプに表示され、車内後部座席からモニターでできるようにした。

作成したセンシングシステムを用いて、実際の街路樹を測定した。2010年11月9~10日に学内で、2010年11月11日には三鷹市大沢コミュニティ通りで測定を行った。測定では、街路樹の下にセンサを移動させ、受光量と対象物までの距離を測定した。

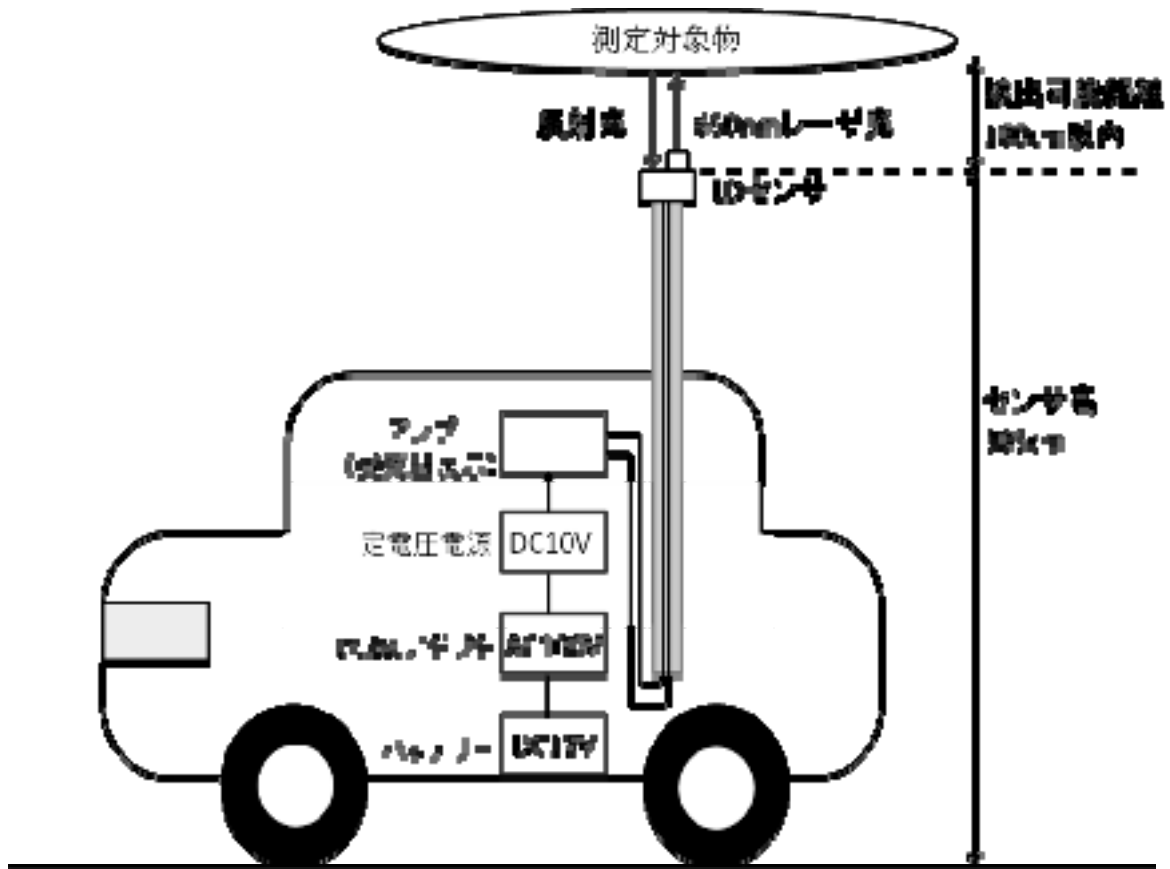


図 5-2-4-1 街路樹枝葉センシングシステム測定回路構成図

5-2-5. 実験結果

5-2-5-1. 紅葉した公園の樹幹密度測定

2011年11月11日に各公園で測定した樹幹密度と、7月26日に測定した樹幹密度を図5-1に示す。7月、11月ともに同様の結果が得られた。

7月および11月の結果を考慮すると、間伐の必要性を判別する閾値は40%程度であると考えられる。また、この結果から、紅葉しても樹幹密度には影響が見られないということが分かった。一部、閾値を超える（もしくは閾値に満たない）結果もあるが、同公園で複数画像を取得し、総合的に判断することで妥当な判断をすることが可能と考える。図5-1の詳しい測定結果を示した表が表5-1であるが、表5-1を見ると、11月11日の大沢雑木林公園の測定結果は43.1%、51.0%、36.6%となっており、3つの測定結果のうち2つは40%以上で平均すると43.6%である。したがって大沢公園雑木林公園では間伐は不要であると妥当な判断が可能であるといえる。

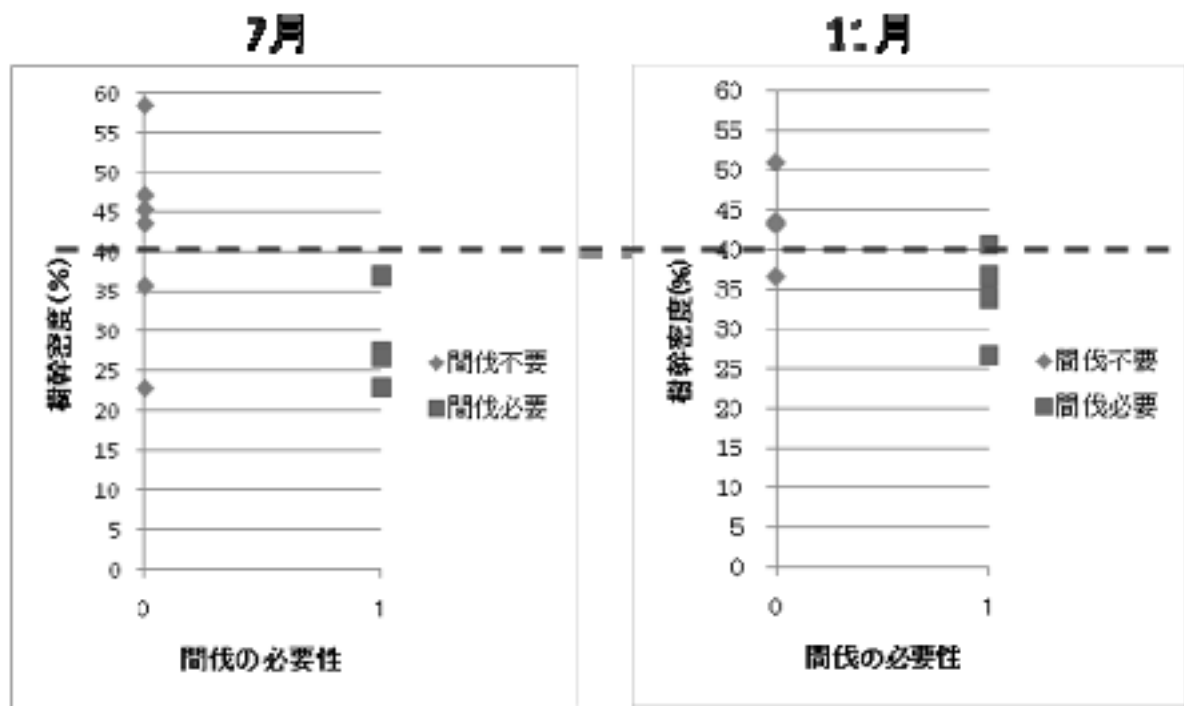


図 5-2-5-1 公園での樹幹密度測定結果（7月、11月）

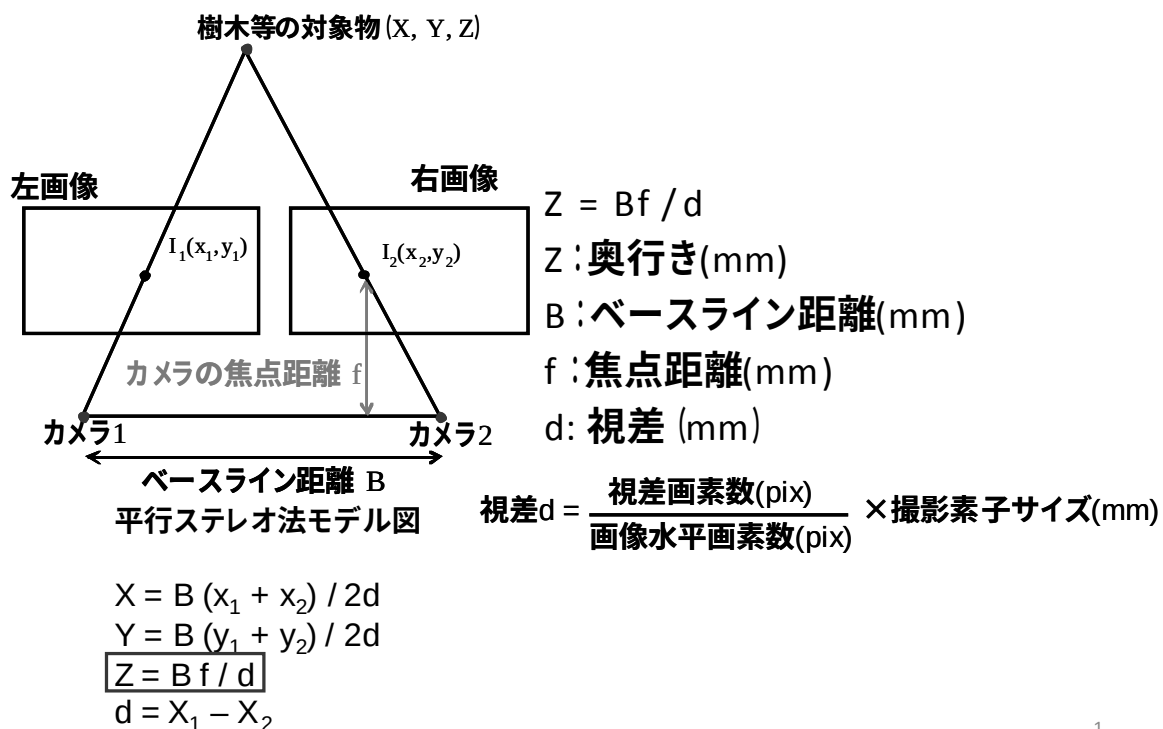
表 5-2-5-1 公園での樹幹密度測定結果（2011.11.11）

日付	場所	間伐の必要性	樹幹密度(%)
11月11日	北野公園 1	不要	43.6
	北野公園 2	不要	43.4
	新川天神青少年広場 1	必要	36.7
	新川天神青少年広場 2	必要	26.7
	大沢雑木林公園 1	不要	43.1
	大沢雑木林公園 2	不要	51.0
	大沢雑木林公園 3	不要	36.6
	みはらしやま公園 1	必要	40.5
	みはらしやま公園 2	必要	33.8
	みはらしやま公園 3	必要	34.2

5-2-5-2. ステレオ法距離測定精度

	実験1	実験2
実測値(m)	1.5	3.0
ベースライン距離(mm)	190	190
焦点距離(mm)	4.3	4.3
視差画素数(pix)	376	181
画像水平画素数(pix)	4320	4320
撮影素子水平サイズ(mm)	6.2	6.2
算出結果(mm)	1514	3145
// (m)	1.5	3.1

【原理】



【対象物までの距離測定】



1m



0.5m刻み



5m

対象物 (椅子の背もたれの頂点) を
1mから5mまで0.5m刻みで移動させ
その距離をステレオ法で測定した。

対象物までの距離は
メジャーを用いて測定した。

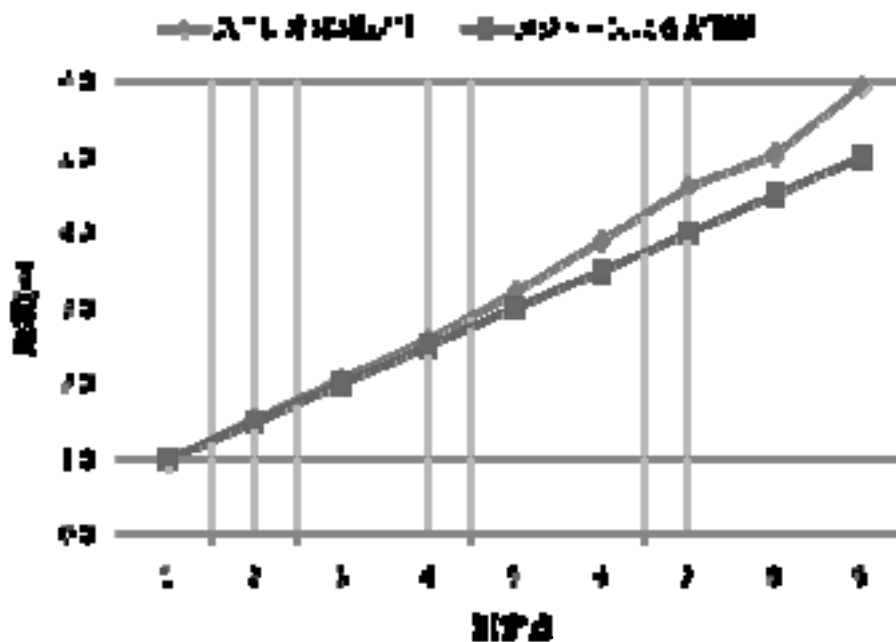
3.0m 程度までは誤差も小さかったが、4.0m 以降では50cm 以上となった。誤差が一定でないことから、2台のカメラの位置が撮影毎に微小に動き平行でなくなったこと等が原因と考えられる。

また、メジャーが短いため、実測値に誤差がある可能性も考えられる。

次回は撮影毎に対象物を移動させるのではなく、一度に複数の物体の位置を測定することで、誤差の原因の究明を図る。

実験結果（距離測定）

メジャー 実測値(m)	ステレオ法 測定値(m)	誤差(m)
1.0	1.0	0.0
1.5	1.5	0.0
2.0	2.1	0.1
2.5	2.6	0.1
3.0	3.2	0.2
3.5	3.9	0.4
4.0	4.6	0.6
4.5	5.0	0.5
5.0	5.9	0.9



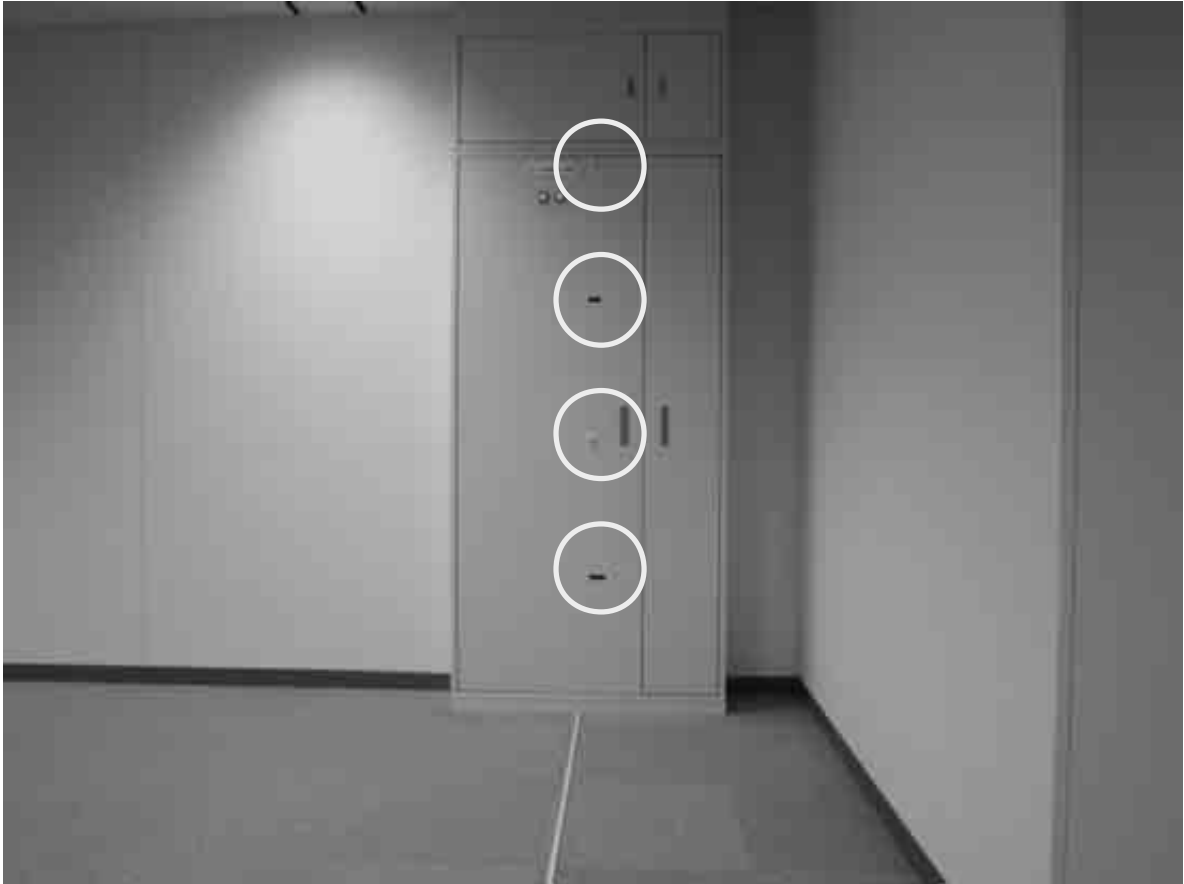
5-2-5-3. レーザセンサの特性の評価

水平方向、垂直方向（下方向）へセンサと対象物の距離を変更させたときの受光量を示した図を図 5-2 に示す。垂直・水平ともに同様の傾向が見られた。わずかに値に差が見られた原因は、外部の光の影響や対象物の材質の違いと考えられる。

表 5-2-5 - 1 対象物との距離と受光量

距離 実測値(cm)	光量	
	垂直	水平
0	2	15
10	500	995
20	143	255
30	68	116
40	43	87
50	33	50
60	25	41
70	24	29
80	24	18
90	23	19
100	15	17

【対象物の高さの測定】



【実験結果（高さ測定）】

奥行き(m)	メジャー 実測値(m)	ステレオ法 測定値(m)	誤差(m)
3	0.5	0.2	0.3
	1.0	0.9	0.1
	1.5	1.7	0.2
	2.0	2.3	0.3
5	0.5	0.5	0.0
	1.0	0.9	0.1
	1.5	1.4	0.1
	2.0	1.8	0.2

奥行きが3mの場合も5mの場合もほぼ正確に高さを測定することができた。
3mの場合の方がやや精度を欠く結果となった原因は、レンズの歪みであると考え。
カメラで得られた画像はレンズの歪みによって、
画像の中心から離れれば離れるほど歪みの影響を受ける。
これを回避するためには、補正ソフトを用いるなどの方法が考えられる。

【レンズの歪みと補正の実例】



補正前



補正後

レンズの歪み補正 (1)

http://watanabe410st.com/02_archi/digi_archi/log_30.html

補正前はレンズの歪みによって、建物の上部が丸みを帯びていたり、車道が手前にカーブしているように見えたりしている。画像処理ソフトで補正をかけることで自然な画像に仕上げる事が可能である。

【誤差の原因について】



3m離れた位置からの測定画像



5m離れた位置からの測定画像

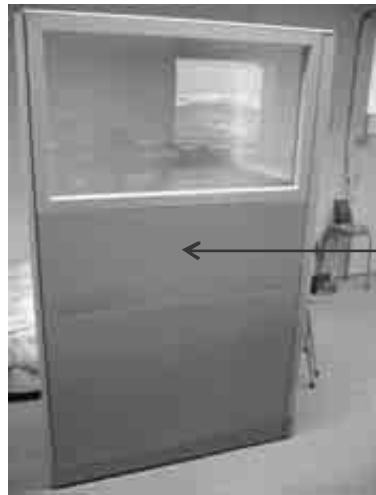
各測定対象の誤差とY座標

奥行き(m)	メジャー 実測値 (m)	ステレオ法 測定値(m)	誤差(m)	右画像上 の対象 のY座標
3	0.5	0.2	0.3	-498
	1.0	0.9	0.1	8
	1.5	1.7	0.2	522
	2.0	2.3	0.3	1026
5	0.5	0.5	0.0	-297
	1.0	0.9	0.1	5
	1.5	1.4	0.1	318
	2.0	1.8	0.2	623

※画像中央を原点(0,0)とする

【レーザセンサによる距離の測定】

- LD を水平方向および垂直方向（下方向）に向け、対象物（壁・床）との距離を 10~100cm に離して測定した。



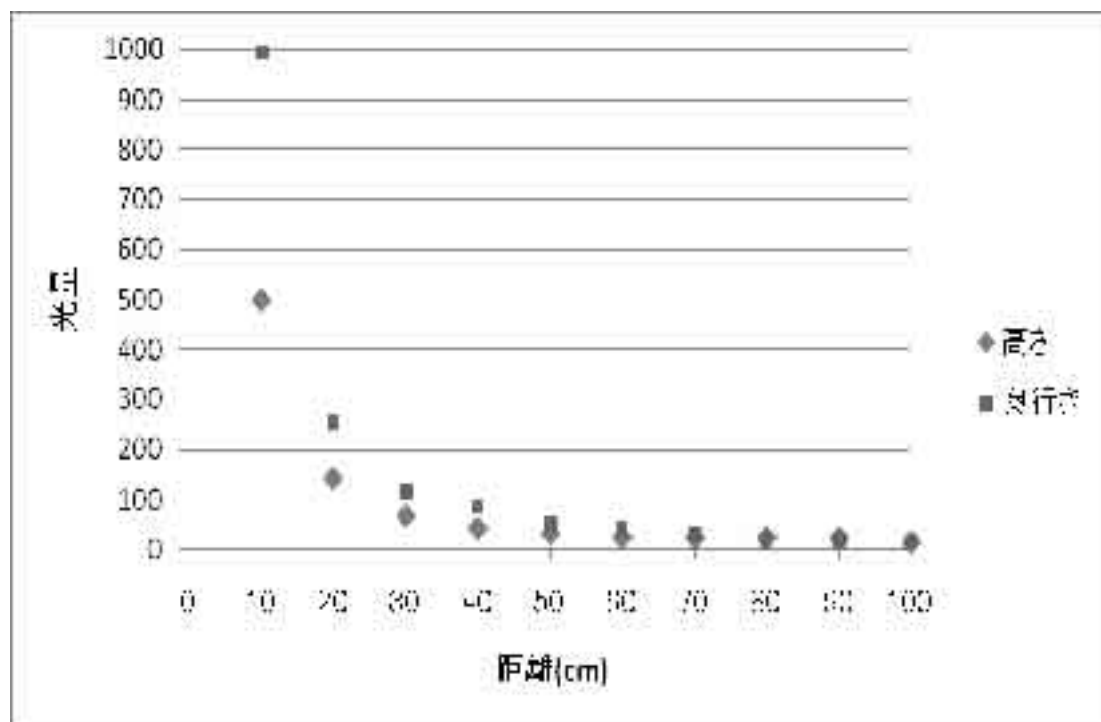


図 5-2-5-2 対象物との距離と受光量の関係

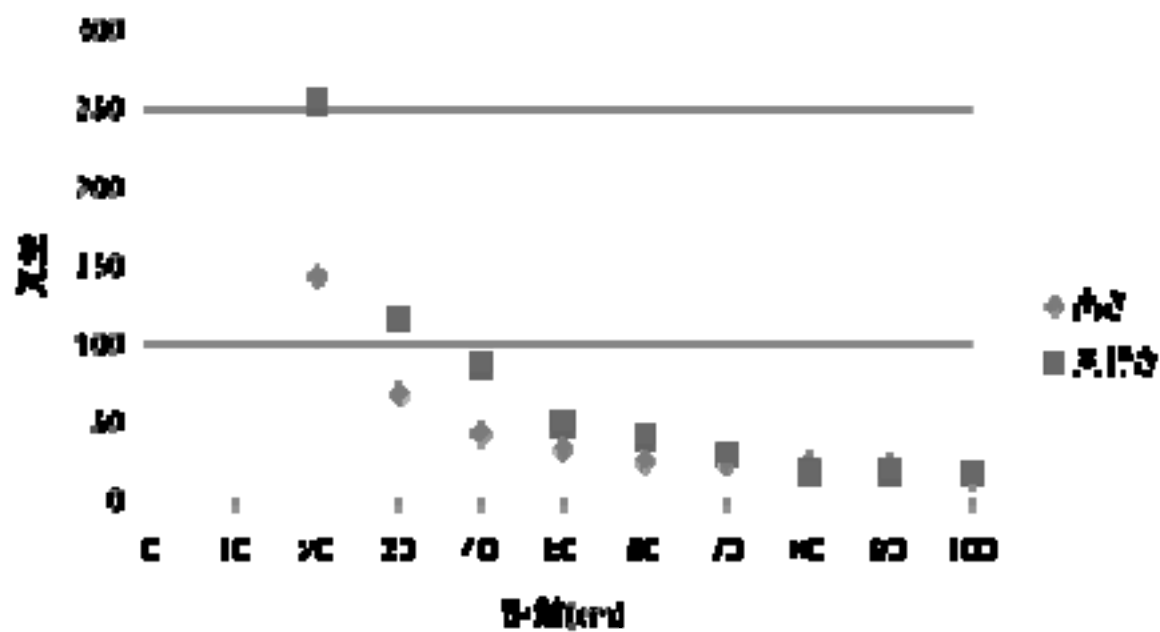


図 5-2-5-3 対象物との距離と受光量の関係（拡大図）

【対象物の色の依存性の検討】

- ・ 8色の紙を用意し、センサ(LV-H32)から50cm離れた状態で受光量を測定した



【実験結果（色の依存性）】

対象物の色と受光量の関係

色	受光量
黒●	23
茶●	66
青●	27
緑●	25
黄●	111
橙●	122
赤●	117
白○	127

今回の測定に用いたセンサ（LV-H32）は光源に波長 650nm の可視光半導体レーザを用いているため、赤やそれに近い色ではレーザ光の反射量が大きくなり受光量も大きくなる傾向が見られた。

実際の街路樹に適用する場合でも、空の場合、枝の場合、青葉の場合、紅葉の場合で差が見られると予想される。

5-2-5-4 実地調査による街路樹の選定の必要性の判断

測定日 H22.11.9
測定開始時刻 16:18
測定終了時刻 17:05
天候 晴れ
測定場所 東京工科大学正門付近
測定対象 イチョウ(並木)
葉の色 黄色
センサ方向 垂直(上方向)

枝葉との距離	受光量
5	300
10	100
10	500
30	15
40	20
50	18
55	10
60	10
60	15
95	5
150	4
空	3

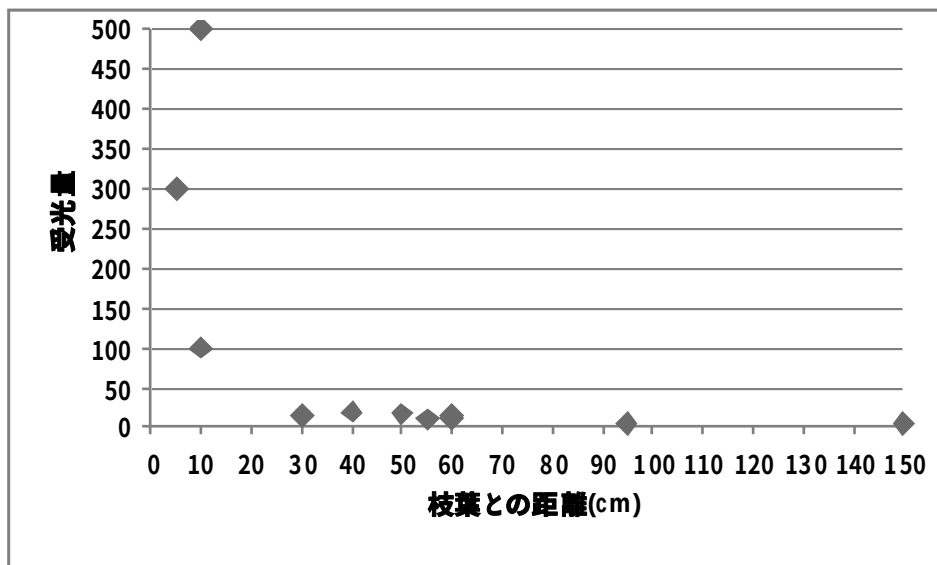


図 5-2-5 -4 イチョウの枝葉との距離とセンサの受光量

実地調査の結果を表 5-5-1 および図 5-5-2 に示す。実地調査においてもセンサの受光量と枝—センサ間の距離について相関が見られた。学内においては、ケヤキ・サクラ・イチョウと樹種を変えて測定したが、どれも同様の傾向が見られた。受光量 10 以上であれば 50cm 以内に枝があると考えられるため、この値を閾値に設定することで、街路樹の選定の必要性は判断できるといえる。

表 5-2-5-5-1 樹木の種類毎の枝葉との距離と
受光量との関係

樹木の種類	枝葉との距離	受光量
ケヤキ(青葉)	13	105
ケヤキ(青葉)	35	30
ケヤキ(青葉)	1	1500
ケヤキ(青葉)	18	123
ケヤキ(青葉)	25	86
ケヤキ(青葉)	20	35
サクラ(紅葉)	1	700
サクラ(紅葉)	55	7
サクラ(紅葉)	75	7
サクラ(紅葉)	50	12
サクラ(紅葉)	38	22
サクラ(紅葉)	25	42
サクラ(紅葉)	45	13
イチョウ(黄)	5	500
イチョウ(黄)	23	58
イチョウ(黄)	15	385
イチョウ(黄)	25	57
イチョウ(黄)	50	25
イチョウ(黄)	5	500
イチョウ(黄)	45	12
イチョウ(黄)	35	15
イチョウ(黄)	65	6
イチョウ(黄)	120	4
イチョウ(黄)	50	12
イチョウ(黄)	5	300
イチョウ(黄)	10	100
イチョウ(黄)	10	500
イチョウ(黄)	30	15
イチョウ(黄)	40	20
イチョウ(黄)	50	18
イチョウ(黄)	55	10
イチョウ(黄)	60	10
イチョウ(黄)	60	15
イチョウ(黄)	95	5
イチョウ(黄)	150	4
空		3

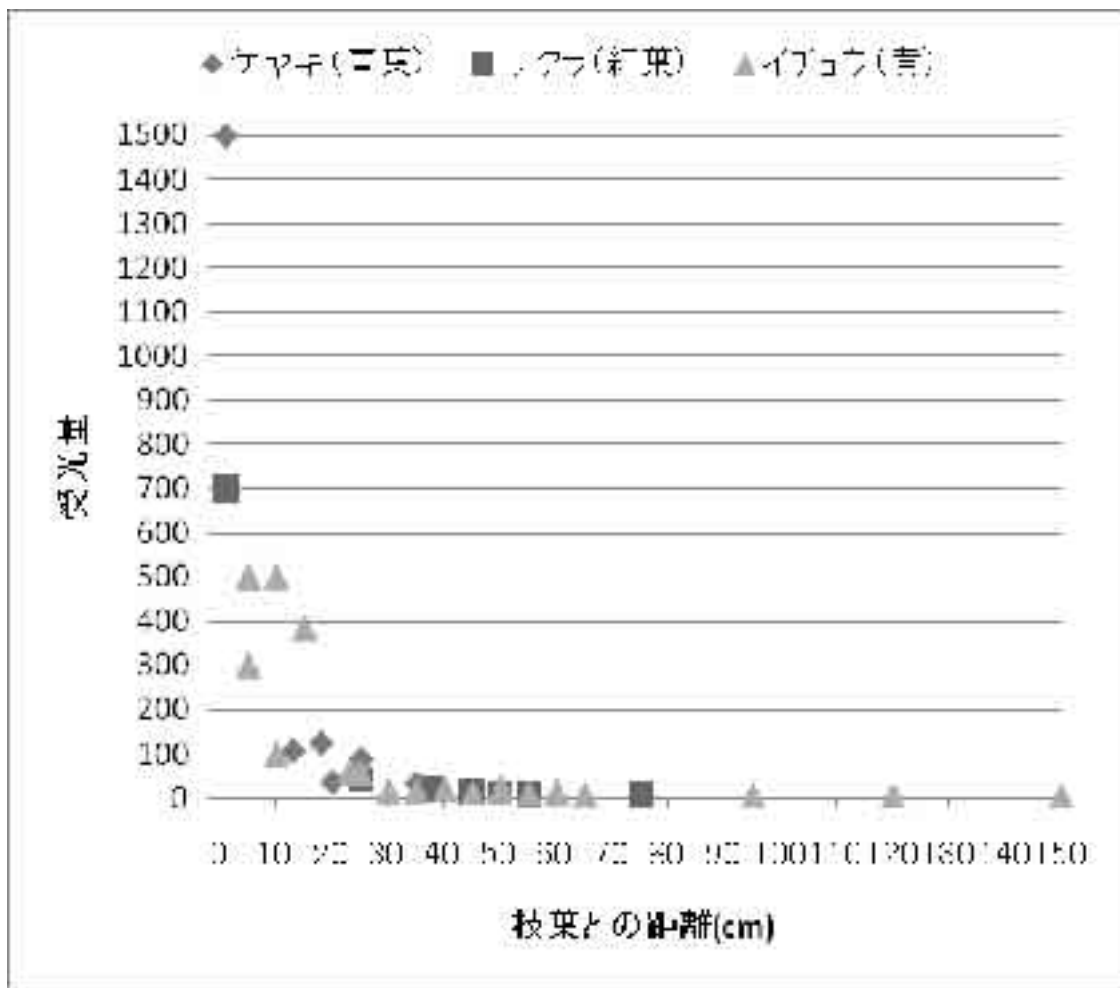


図 5-2-5-5-2 枝葉との距離と受光量の関係 (学内)

次に、三鷹市大沢コミュニティ通りの街路樹の測定結果を図 5-5-5 と図 5-5-6 に示す。ややバラつきは見られたものの、受光量と枝との距離に相関がみられ、街路樹の選定の必要性をセンシングできる可能性を得た。

2010.11.09-10 東京工科大学学内樹木測定

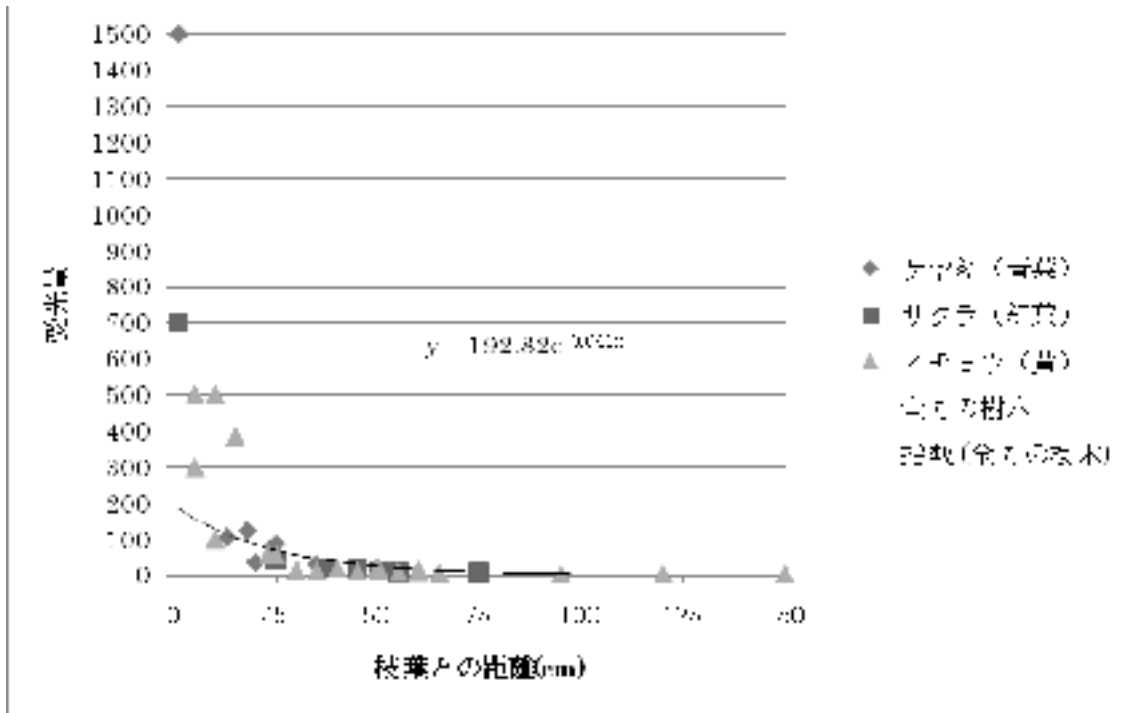


図 5-2-5-5-3 枝葉との距離と受光量の関係

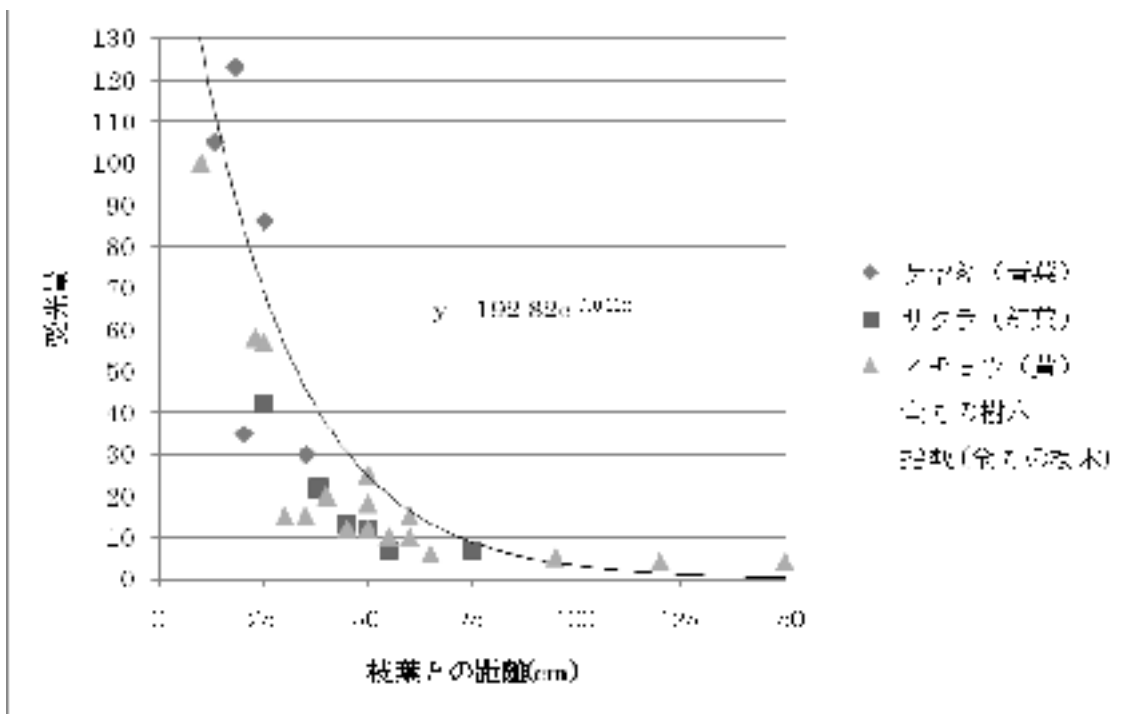


図 5-2-5-5-4. 図 5-3 の拡大図

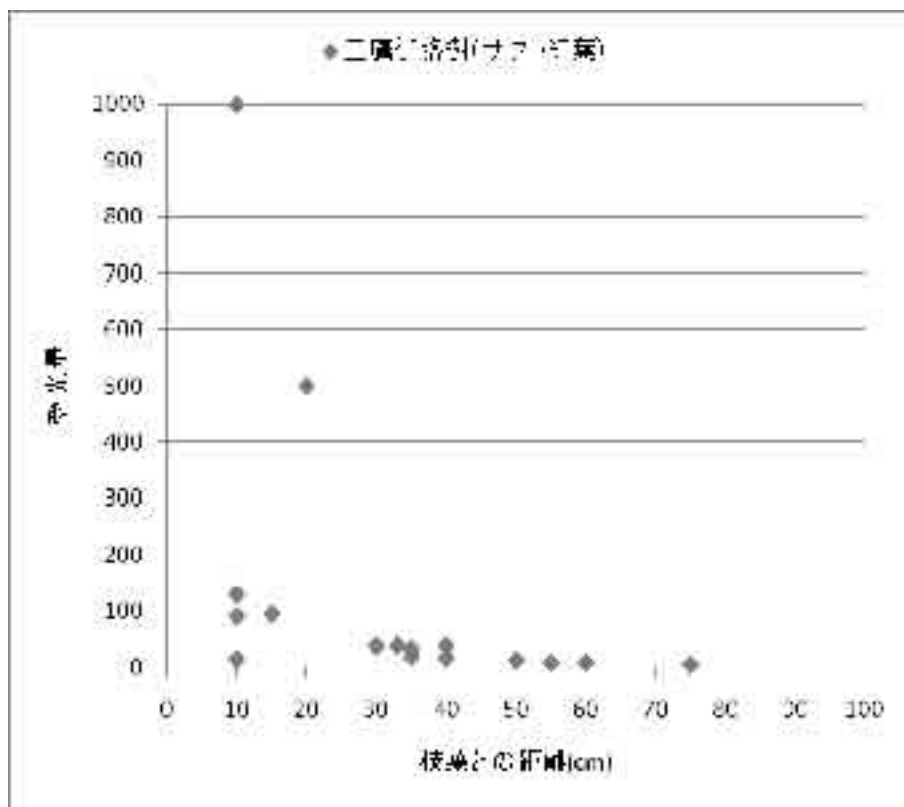


図 5-2-5-5-5 枝葉との距離と受光量の関係（三鷹市大沢コミュニティ通り）

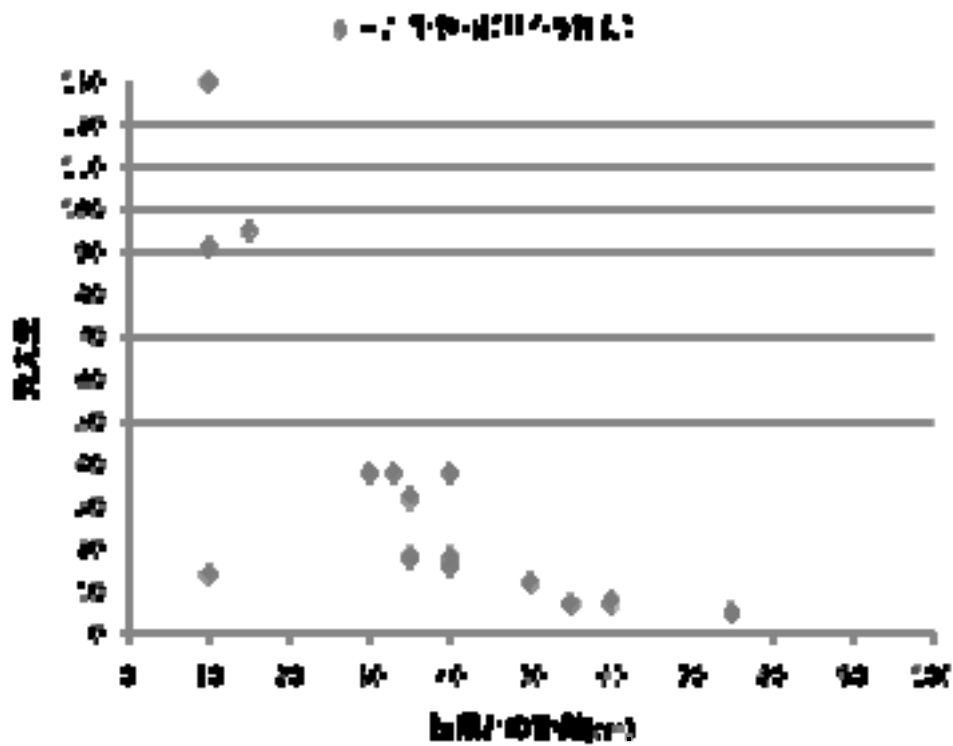


図 5-2-5-5-6. 図 5-2-5-5-5 の拡大図

5-2-6. まとめ

5-2-6-1. 紅葉した公園の樹幹密度測定

今回の測定と、前回（7月）の測定で、ほぼ同じ結果が得られた。したがって、樹幹密度測定に紅葉の影響はないという結論が得られた。また、前回の測定結果を考慮すると、公園における樹林の間伐の要不要を判断する閾値は 40%であると考えられることが分かった。

5-2-6-2 ステレオ法の奥行き測定

ステレオ法の奥行き測定では距離が大きくなるにつれて誤差も大きくなり 5m では 1m の誤差が見られた。複数の位置を同時に測定することで原因の特定を図る。ステレオ法の高さ測定では、どの高さもほぼ正確に測定できた。しかしながらレンズの歪みが原因と思われる誤差が見られた。

5-2-6-3. レーザセンサの特性の評価

屋内にてレーザセンサと対象物との距離を徐々に変化させ、受光量の変化を観察した。その結果、距離と受光量には相関があることが分かった。このセンサを利用して、街路樹の剪定必要性をセンシングできる可能性を得た。

また、対象物の材質や外部光の入射の度合いによって影響を受ける可能性があることもわかっている。

5-2-6-4. 実地調査による街路樹の選定の必要性の判断

5-2-5-2 で特性を評価したセンサを用いた車載センサシステムを構築した。本センサシステムを用いて学内にて実地調査を行った結果、センサー枝葉間の距離と受光量に相関が見られた。このことから屋外においてもレーザセンサは有効であることが分かった。また、樹種（イチョウやサクラ等）が異なっても同様の結果が得られることが分かった。

実際に、三鷹市内の大沢コミュニティ通りでも同様の実験を行い、本センサシステムの有効性を示した。

5-3 現地調査報告 [2010.11.16]

—No.3「三鷹市内対象街路樹枝葉高さ自動センサ組み立て、測定、画像撮影(紅葉時)」—

5-3-1. 背景

前回 11 月 11 日までの実験で、レーザセンサを用いて街路樹のセンシングができる可能性を得た。しかしながら、デジタル数値を測定者が常に監視し、リアルタイムで読み取るという手法をとっているため、簡易に自動センシングできていないという問題があった。

5-3-2. 目的

1.背景のような現状を踏まえ、今回シーケンサ等の機器を新たに購入し、新レーザセンサシステムを構築した。この新システムでは、データを PC にロギングしつつリアルタイムで受光量を監視することができる。したがって、新システムでは従来のシステムより自動的にセンシングできるといえる。この新システムを用いて実地調査を行い、実用可能性を検討した。

5-3-3. 実験方法

新たにシーケンサを購入し、PC と接続しデータを自動的にロギングできるようにした。新たに構築した回路構成図を図 3-1 に示す。シーケンサからノート PC に受光量のデータが送られ、記録される。このとき、リアルタイムでノート PC の画面に受光量が表示される。この新システムを用いて、2010 年 11 月 16 日に三鷹市大沢コミュニティ通りを走行し、剪定の必要のある枝に反応があるか調べた。

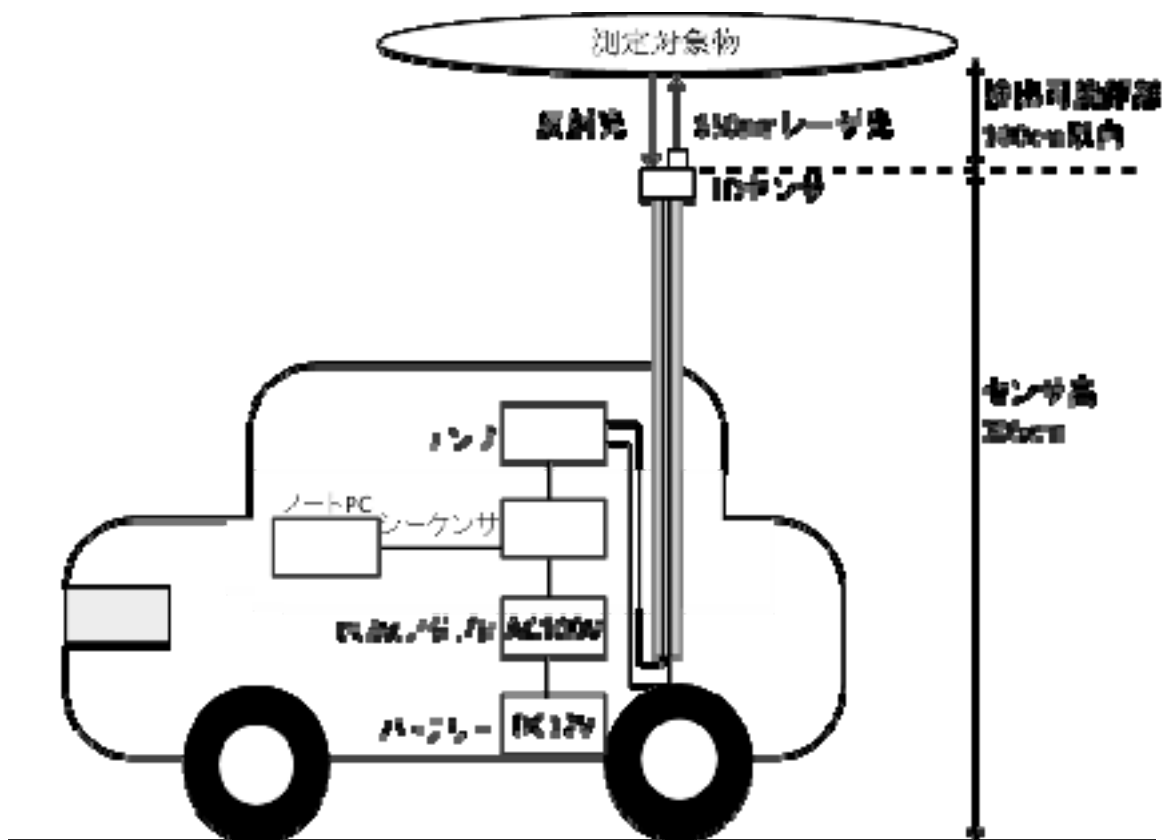
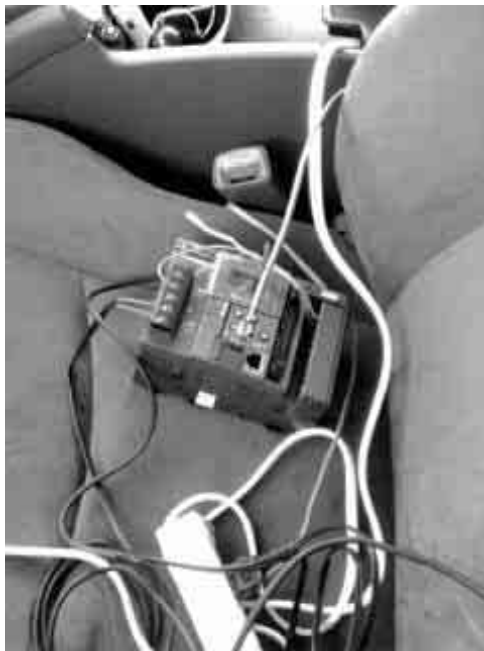


図 5-3-3-1 街路樹枝葉自動センシングシステム測定回路構成図



街路樹枝葉自動センシングシステムのシーケンサ接続写真
(2010年11月16日15時14分)



街路樹枝葉自動センシングシステムのレーザアンプ調整写真
(2010年11月16日15時14分)



街路樹枝葉自動センシングシステムの自動記録調整
三鷹市大沢コミュニティ通りにおける現場測定時
(2010年11月16日15時15分)



三鷹市大沢コミュニティ通りにおける
街路樹枝葉自動センシングシステムの自動記録状況
(2010年11月16日15時17分) 晴れ



三鷹市大沢コミュニティ通りにおける街路樹枝葉自動センシングシステムの自動記録状況
(2010年11月16日15時17分) 晴れ

5-3-4. 実験結果

自動的に測定した場合の結果を図 4-1 に示す。問題のある枝の下を通過した場合に反応が見られることが分かった。受光量の幅を 0~10,000 に設定したため、反応が無い場所では受光量は 0~150 の周辺で揺れた。図 4-2 に、受光量に大きな変化があった場合の受光量と枝葉—センサ間の距離の関係を示す。受光量が 200 前後になっている場合、レーザセンサに反応があり、枝葉—センサ間の距離はおよそ 80cm 以内といえることが分かった。したがって受光量が 200 以上あれば剪定が必要な枝の下を通過したと判断できることが分かった。

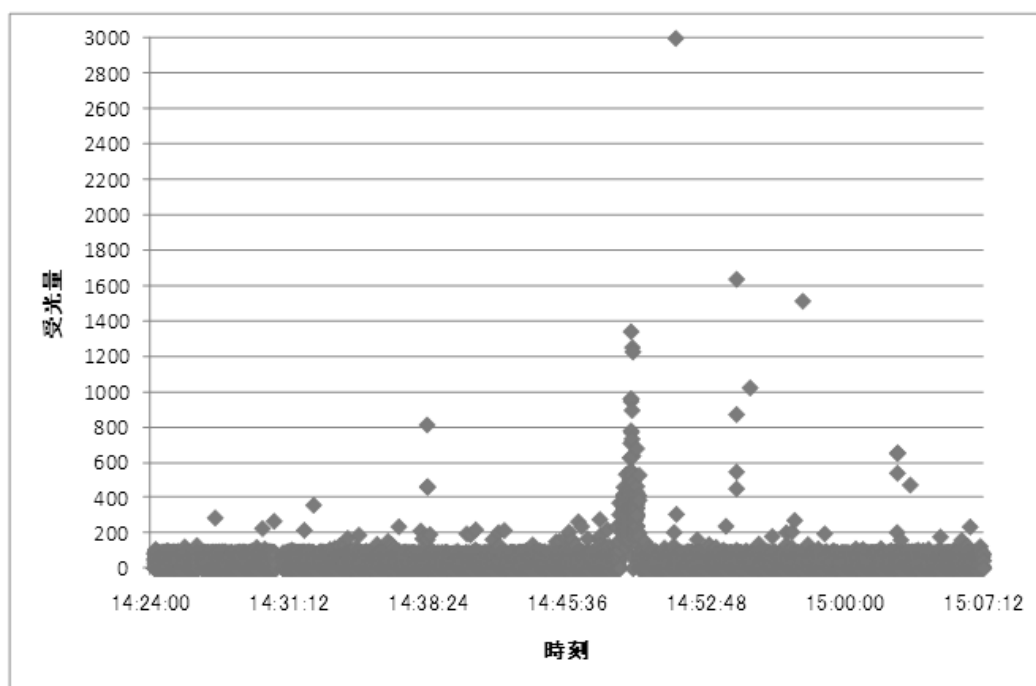


図 5-3-4-1 時刻と受光量変化（自動測定・大沢コミュニティ通り・サクラ紅葉）

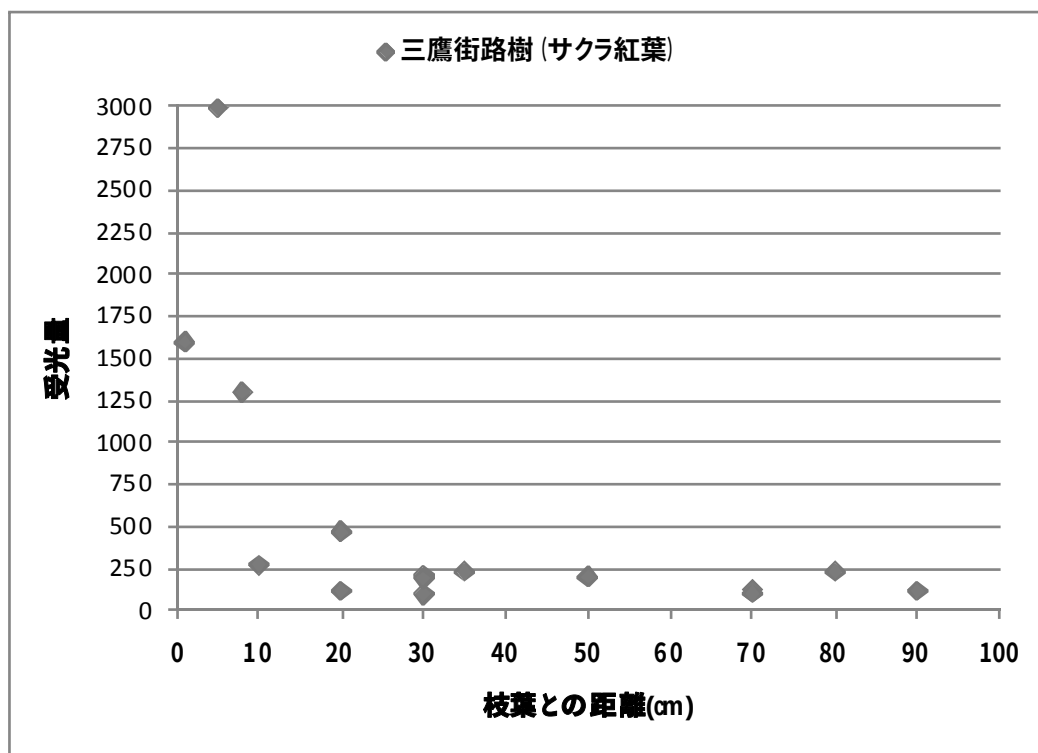


図 5-3-4-2 受光量と枝葉—センサ間の距離の関係
(手動測定・大沢コミュニティ通り・サクラ紅葉)

5-3-5. まとめ

自動的に測定出来るシステムを構築し、実際の街路樹で走行し測定した。その結果、剪定の必要がある低い枝には反応が見られ、街路樹の剪定の必要性を簡易かつ高速に行える可能性を得た。

5-4 現地調査報告 [2010.11.25]

No.4「三鷹市内公園等対象緑地及び対象街路樹選定、画像撮影(落葉時) 11月」

5-4-1. 背景

前回 11 月 16 日の街路樹センシングの実地調査では、自動測定を受光量のレンジを 0～10,000 とした。このため、受光量の値が非常に揺れ、測定結果が分かりにくいという問題があった。

また、11 月 16 日の段階では、街路樹は紅葉しており、一部落葉しているという状態であった。

5-4-2. 目的

5-4-2-1. 実地調査

今回は、受光量のレンジを 0～1,000 とし、受光量の変化を分かりやすくした。

また、前回 16 日から 1 週間以上経ち、街路樹もほぼ落葉した。したがって再度、三鷹市大沢コミュニティ通りにて街路樹をセンシングし、落葉前と落葉後でセンシングにどのような影響があるか、検討した。

5-4-2-2. 自動車速度依存性の検討

本センサシステムは車両に搭載され、走行しつつセンシングする。一般道の街路樹をセンシングするという目的や、センシング効率を考えたとき、車両の速度にセンシングシステムが依存しているのか確認する必要があるので、検討した。

5-4-3. 実験方法

5-4-3.1 実地調査

センサシステムを搭載した車を用意した(図 3-1)。ノート PC からシーケンサの受光量レンジの設定を受光量のレンジを 0～10,000 から 0～1,000 へと変更した。設定を変更したセンサシステムを搭載した車で、2010 年 11 月 25 日に三鷹市大沢コミュニティ通りを走行し、測定実験を行った。

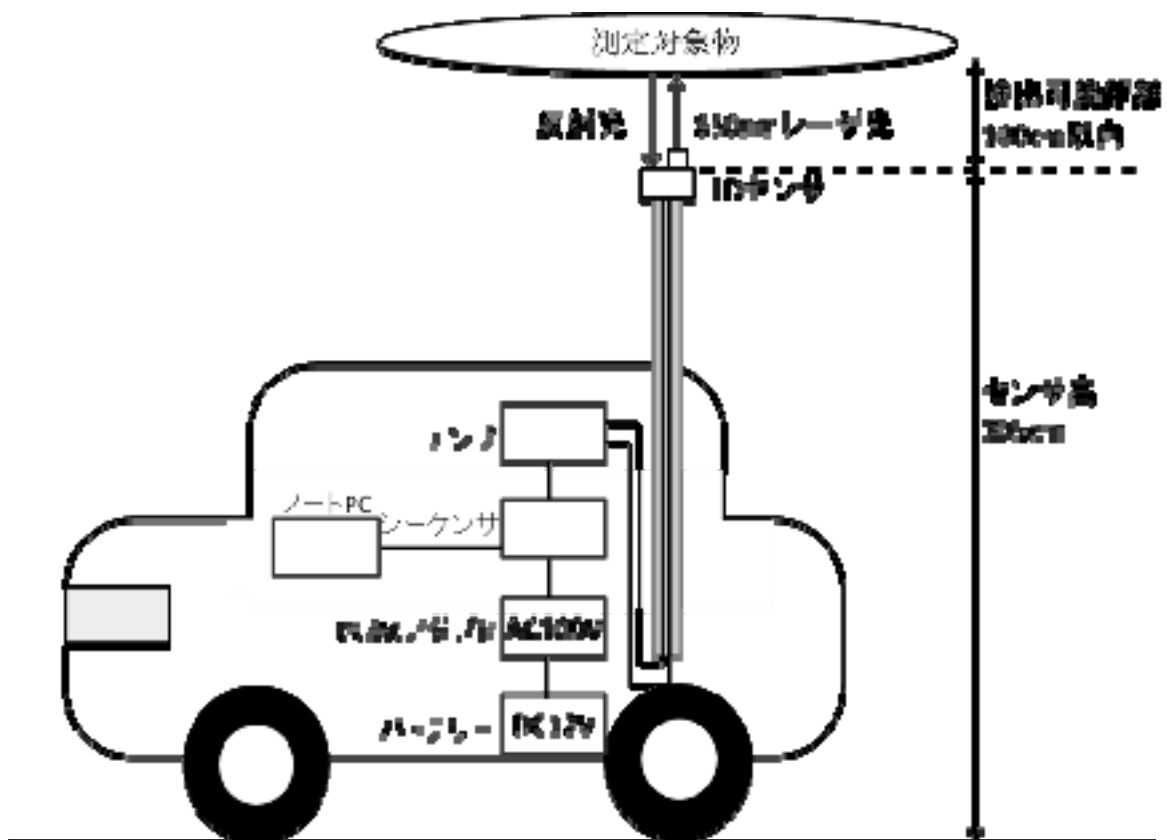


図 5-4-3-1 街路樹枝葉高さ自動センシングシステム測定回路構成図



図 5-4-3-2 街路樹枝葉高さ自動センシングシステム

5-4-3-2 自動車速度依存性の検討

本センサシステムは車両に搭載されており、車両を走行させることで枝打ちの必要のある枝をセンシングしようと試みている。このとき、車両の走行速度がセンシングにどのような影響を及ぼすか検討した。東京工科大学学内の地下駐車場にて、本センサシステムを搭載した車両を時速 10~30km まで速度を変化させながら測定を行った。



図 5-4-3-3 三鷹市大沢コミュニティ通りにおける街路樹枝葉高さ自動センシングシステムの自動記録時の枝葉高さ確認計量状況
(2010 年 11 月 25 日 14 時 15 分) 曇り



図 5-4-3-4 三鷹市大沢コミュニティ通りにおける街路樹枝葉高さ自動
センシングシステムの自動記録時の枝葉高さ確認計量状況
(2010 年 11 月 25 日 14 時 16 分) 曇り

5-4-4. 実験結果

5-4-4-1. 実地調査

2010年11月25日に測定したデータを図4-1に示す。受光量表示を0～1,000としたことで、受光量の揺れが小さく、少なくなり、監視しやすくなった。図4-1をみると、落葉した枝でも、反応が見られることが分かった。また、本測定では受光量が20以上であれば、剪定が必要であると考えられる。

ただし、葉が落ち、枝のみが反射対象となることで枝を拾いきれていない可能性が感じられた。落葉した街路樹に対してセンシングする場合は、車両の速度を落とすなどの工夫が必要である。

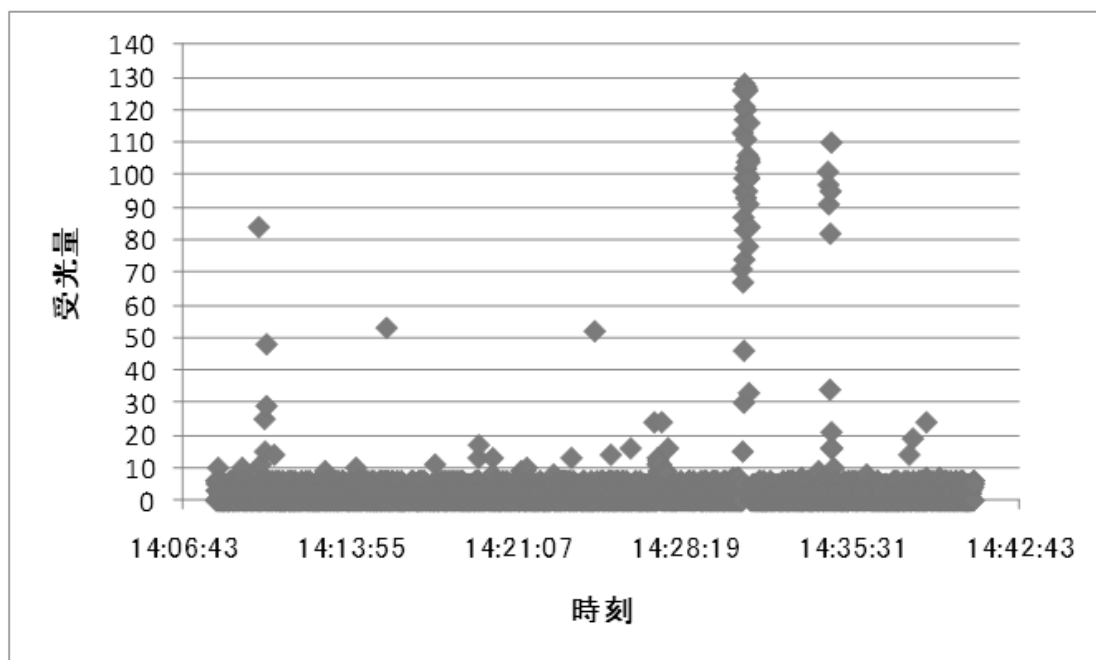


図 5-4-4-1 時刻と受光量変化（自動測定・大沢コミュニティ通り・サクラ落葉）

5-4-4-2 自動車速度依存性の検討

速度を変更させながら地下駐車場を走行・測定した結果を図 4-2 に示す。図 4-2 を見ると、地下駐車場の天井の梁などの凹凸に対応していることが分かる。また、この応答は 30km/h で走行している時でも見られた。

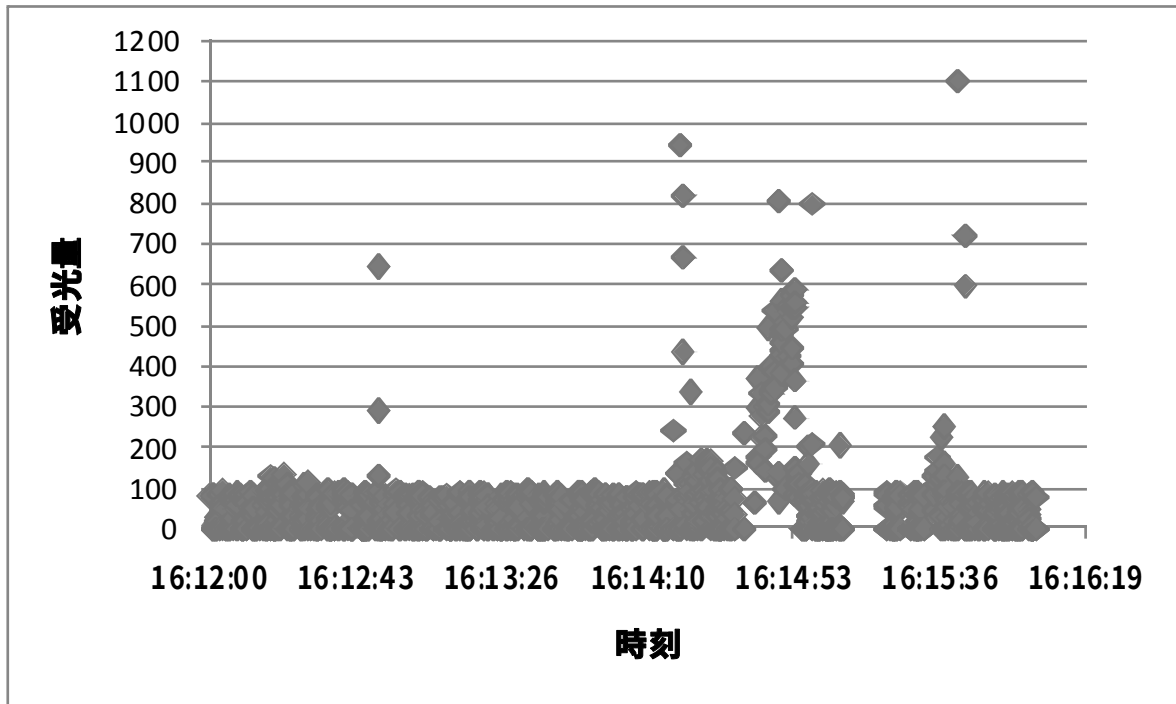


図 5-4-4-2 地下駐車場走行実験結果

5-4-4-3. 緑葉の季節と枯れ木の季節の枝葉高さ測定の精度比較

緑葉と枯れ木の高さ測定の精度を比較するため、2010 年 11 月 16 日（葉あり）の街路樹高さ測定結果（図 4-3）と 2010 年 11 月 25 日（葉なし）の街路樹高さ測定結果（図 4-4）を積分し、時間当たりの受光量を算出した。ただし、図 4-3 と図 4-4 では受光量表示のレンジの変更を行っており、レンジは図 1 では 0～10,000、図 4-4 では 0～1,000 としている。したがって、同じ受光量でも図 4-4 は図 4-3 の 1/10 の値となっている。

時間当たりの受光量は、図 4-3（葉あり）では 38.3、図 4-4（葉なし）では 3.32 となった。レンジを合わせるため、図 4-4 を 10 倍すると 33.2 となる。したがって、枯れ木の場合の方が、精度が低いといえる。これは、葉が無い場合、レーザセンサに反射する対象が枝のみになり、小さくなることや、枝は茶色であり、センサ光を吸収しやすく反射しにくいことが原因と考えられる。

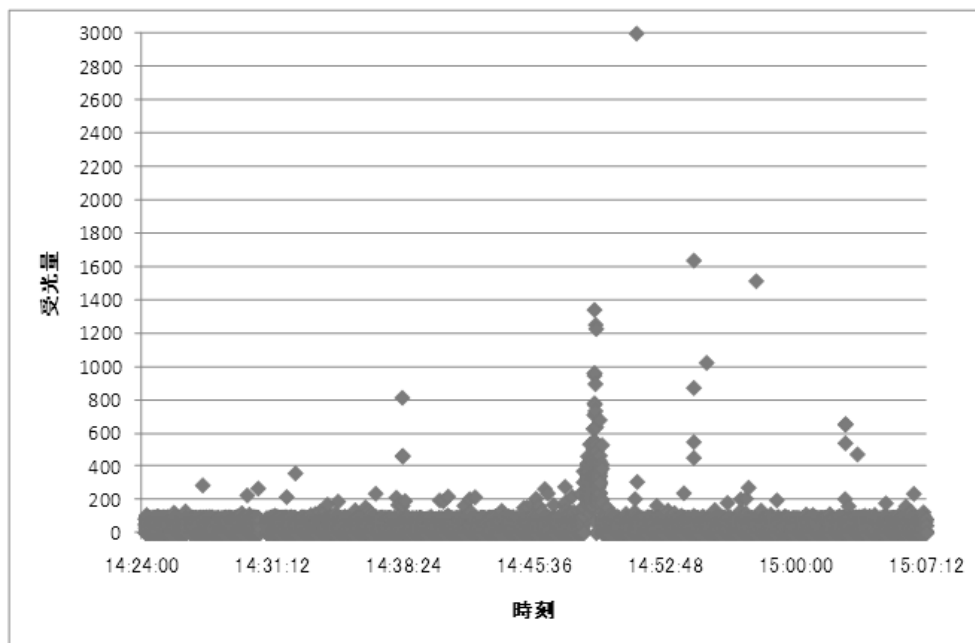


図 5-4-4-3 時刻と受光量変化（自動測定・大沢コミュニティ通り・11月16日）

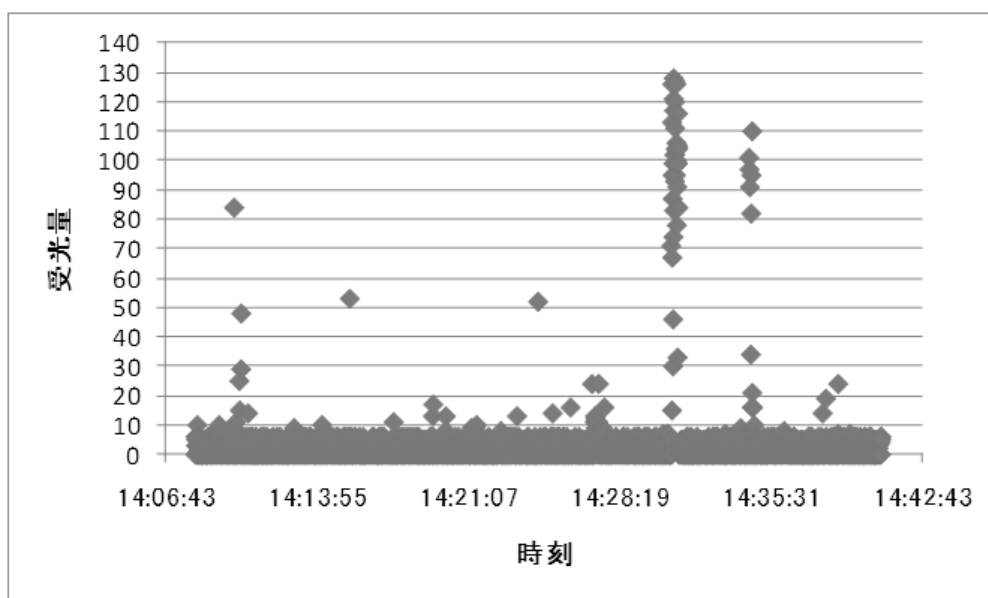


図 5-4-4-4 時刻と受光量変化（自動測定・大沢コミュニティ通り・11月25日）

5-4-5. まとめ

受光量表示を 0～1,000 に変更したレーザシステムを用いて、落葉しても、剪定の必要のある枝に反応が見られることが分かった。ただし、葉が落ち枝のみが対象となったことで、枝を拾いきれていない可能性が感じられた。これには、車両の走行速度を落とすことなどの工夫が必要である。

また、自動車速度依存性の検討を行い、30km/h 以下であれば問題なく街路樹の枝葉高さをセンシングできるということが分かった。

枯れ木の方が、紅葉の季節に比較して精度が低いといえる。これは、葉が無い場合、レーザセンサに反射する対象が枝のみになり、小さくなることや、枝は茶色であり、センサ光を吸収しやすく反射しにくいことが原因と考えられる。

5-5 現地調査報告 [2011.1.6]

—No.5「三鷹市内公園等緑地画像撮影(冬枯れの季節) 1月」—

5-5-1. 背景

三鷹市内の公園の樹幹密度測定を2010年7月および11月に行った。7月の実地測定では公園内の広葉樹林は葉が青々と茂っていた。11月の実地測定では葉は紅葉し、一部葉が落ち始めていた。それぞれの測定結果を見ると、ほぼ同様の傾向が見られ、季節（樹木の葉の量）には依存性はないと結論している。

5-5-2. 目的

しかしながら、11月の時点では紅葉が進み、葉が落ち始めているという状況であったので、今回、2011年1月6日に完全に落葉した公園で測定を行い、1で述べた結論と矛盾しないか確認した。

5-5-3. 実験方法

2011年1月6日に、三鷹市内の4公園（北野公園、新川天神青少年広場、大沢雑木林公園、みはらしやま公園）にて、樹幹密度測定を行った。

5-5-4. 実験結果

2011年1月6日に各公園で測定を行った結果を図4-1および表4-1に示す。図4-1をみると、間伐が不要な樹林の方が、間伐が必要な樹林よりも樹幹密度が大きく出る結果となった。これは、山林での樹幹密度測定および2010年7月・11月に行った公園での樹幹密度測定と同様の傾向となった。

2010年7月、2010年11月、2011年1月の測定結果を比較した図を図4-2に示す。これをみると、間伐の要不要を判断する閾値は40%であるというこれまでの結論と矛盾していないことが分かった（図5-5-4-3）。

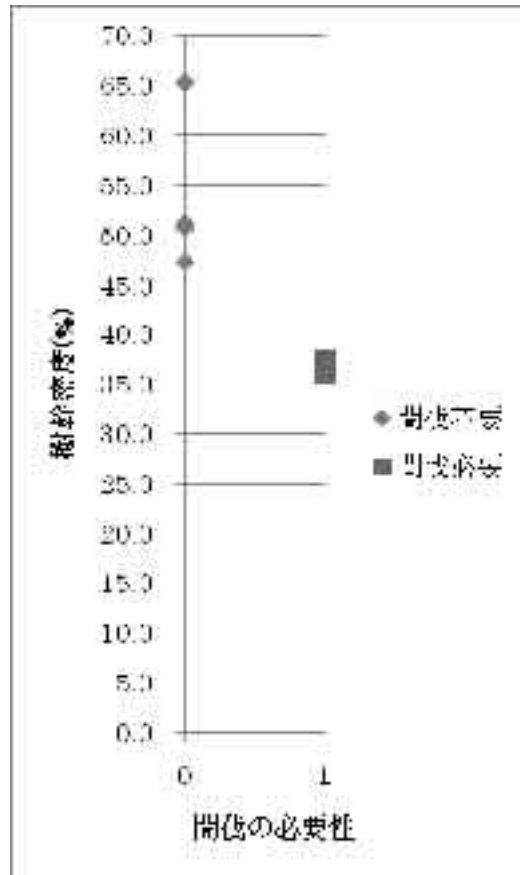


図 5-5-4-1 公園での樹幹密度測定結果

表 5-5-4-1 公園での樹幹密度測定結果

場所	間伐の必要性	樹幹密度 (%)
北野公園 1	不要	65.3
北野公園 2	不要	51.2
新川天神青少年広場 1	必要	36.0
新川天神青少年広場 2	必要	36.9
大沢雑木林公園 1	不要	50.7
大沢雑木林公園 2	不要	47.3
みはらしやま公園 1	必要	37.5
みはらしやま公園 2	必要	36.9

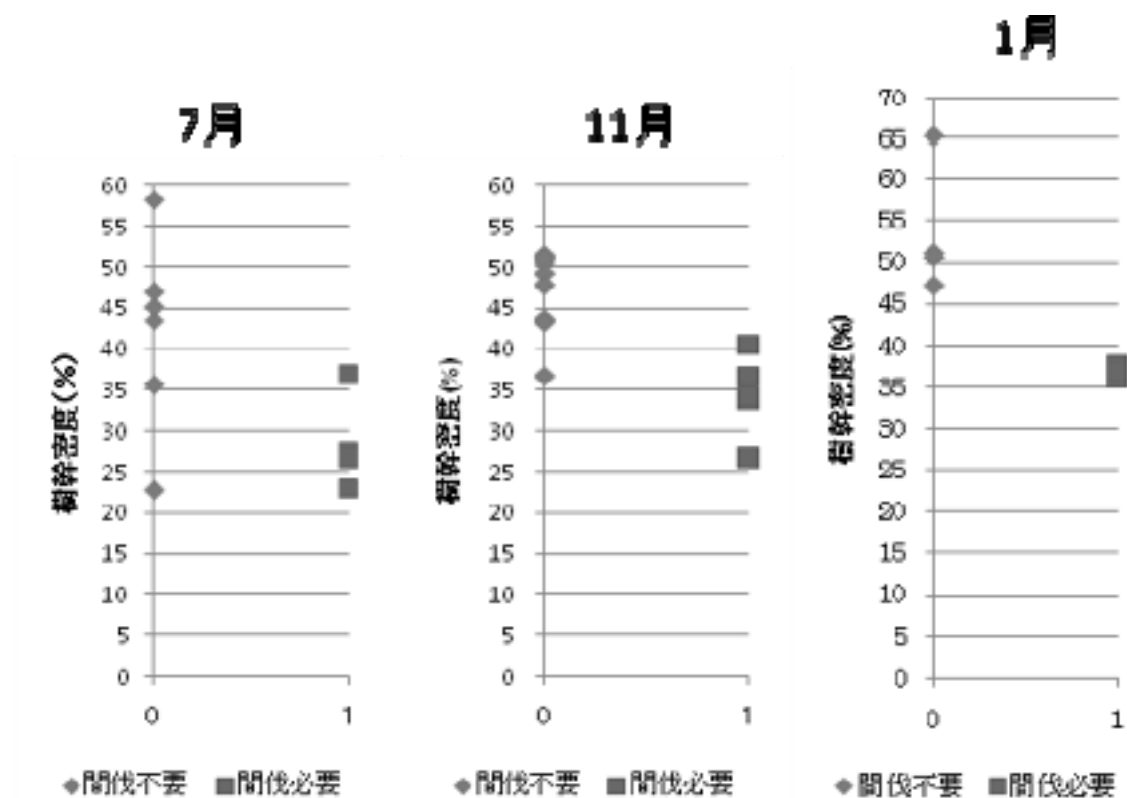


図 5-5-4-1 季節ごとの公園での樹幹密度測定

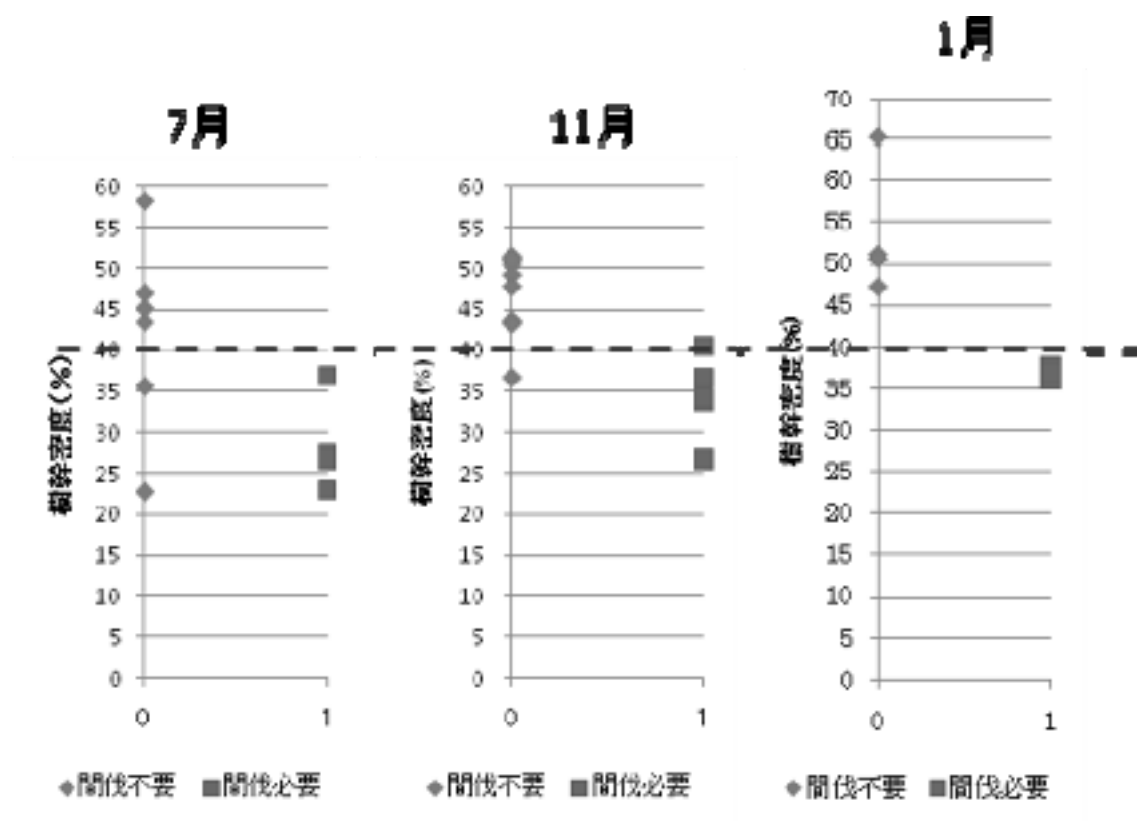


図 5-5-4-3 間伐の要不要を判断する閾値

5-5-5. まとめ

2010 年 7 月（青葉）、2010 年 11 月（紅葉）、2011 年 1 月（落葉）と季節ごとに樹幹密度測定を行った。その結果、どの季節でも間伐が不要な樹林の樹幹密度が、間伐が必要な樹林に比べ小さくなるという傾向が得られた。したがって、季節依存性はないといえる。また、全ての結果を踏まえると、間伐の要不要を判断する閾値は 40%であることが分かった。

6. 結論

(1) 現地調査を通して、三鷹市内の樹幹密度が測定可能な樹林を有する北野公園、天神青少年広場、みはらしやま公園、大沢雑木林公園の4公園を測定場所に選定した。

(2) 道路では、車両に接触する可能性のある枝葉のある街路樹があること、交通量が比較的少なく今後も実地調査が可能であることを判断基準とし、大沢コミュニティ通りを測定場所に選定した。

(3) 公園の樹幹密度測定に紅葉の影響はないという結論が得られた。

(4) 公園における樹林の間伐の要不要を判断する閾値は40%であると考えられる。

(5) ステレオ法の奥行き測定では距離が大きくなるにつれて誤差も大きくなり5mでは1mの誤差が見られた。

(6) レーザセンサと対象物との距離を徐々に変化させ、受光量の変化を観察した。その結果、距離と受光量には相関があることが分かった。このセンサを利用して、街路樹の剪定必要性をセンシングできる可能性を得た。

(7) 特性を評価したレーザセンサを用いた車載センサシステムを構築した。本センサシステムを用いて学内にて実地調査を行った結果、センサー枝葉間の距離と受光量に相関が見られた。このことから屋外においてもレーザセンサは有効であることが分かった。また、樹種（イチョウやサクラ等）が異なっても同様の結果が得られることが分かった。

(8) 実際に、三鷹市内の大沢コミュニティ通りでも同様の実験を行い、本センサシステムの有効性を示した。

(9) 自動的に測定出来るシステムを構築し、実際の街路樹で走行し測定した。その結果、剪定の必要がある低い枝には反応が見られ、街路樹の剪定の必要性を簡易かつ高速に行える可能性を得た。

(10) 落葉しても、剪定の必要のある枝に反応が見られることが分かった。ただし、葉が落ち枝のみが対象となったことで、枝を拾いきれていない可能性が感じられた。これには、車両の走行速度を落とすことなどの工夫が必要である。

(11) 枯れ木の場合の方が、紅葉の季節に比較して精度が低いといえる。これは、葉が無い場合、レーザセンサに反射する対象が枝のみになり、小さくなることや、枝は茶色であり、センサ光を吸収しやすく反射しにくいことが原因と考えられる。

(12) また、自動車速度依存性の検討を行い、30km/h以下であれば問題なく街路樹の枝葉高さをセンシングできるということが分かった。

(13) どの季節でも間伐が不要な樹林の樹幹密度が、間伐が必要な樹林に比べ小さくなるという傾向が得られ、季節依存性はないといえる。

(14) また、全ての結果を踏まえると、間伐の要不要を判断する閾値は40%であることが分かった。

7. 今後の計画

- (1) 公園内の樹林の健康センシングについては、剪定業者の判断との対応関係を検討する。
- (2) 測定公園数を増やし、剪定などの手入れの要不要の閾値の樹種依存性を検討する。
- (3) 公園樹林内の明るさの閾値への影響を検討する。
- (4) 街路樹センシングにおいては、レーザセンサのスポットサイズ依存性を検討する。
- (5) 街路樹センシング結果の測定装置実装車の速度依存性を検討する。
- (6) 大沢コミュニティ（桜）以外の街路樹での測定を検討する。

8. 参考文献

- [1] 東京都森林事務所, “東京の森林・林業の概要”
http://www.forestry-office.metro.tokyo.jp/area/data_gaiyo.pdf (2009)
- [2] kubota 気象予報士, “風倒木災害” <http://www.ee.e-mansion.com/~tkubota/wind.htm> (2005)
- [3] 近藤浩元, “人流及び森林の画像処理計測の研究” 東京工科大学バイオ・情報メディア研究科 2007 年度修士論文 (2008)
- [4] 近藤浩元, 三田地成幸, “山林健康管理センサの研究開発” 電子情報通信学会 (2008)
- [5] 熊澤圭, “山林健康管理センサの研究開発—樹幹密度の算出と輪郭抽出フィルタの剪定—” 八王子産学公連携機構第 8 回研究成果発表講演会 (2008)
- [6] 熊澤圭, “山林健康管理センサの研究開発” 東京工科大学バイオニクス学部 2008 年度卒業論文 (2009)
- [7] 村上伸一, “画像処理工学 第二版” 東京電機大学出版局 (2004)
- [8] KEYENCE, “透明体検出センサ 光電センサーとは”
<http://www.sensor.co.jp/switch/jiten/kouden01.html> (2010)
- [9] 三田地成幸, 西功雄, “フォトリクス計測技術” 東京工科大学 (2007)
- [10] KEYENCE, “株式会社キーエンス KEYENCE Japan レーザセンサ ヘッド LV-H32”
<http://www.sensor.co.jp/switch/jiten/kouden01.html> (2010)
- [11] 熊澤圭, 三田地成幸, “山林健康管理センサの研究開発—解析の自動化—” 2009 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 (2009.09)
- [12] 熊澤圭, “山林健康管理センサのための樹幹領域抽出自動化方法の検討” 2009 年大学コンソーシアム八王子 (2009.12)
- [13] 熊澤圭, 三田地成幸, “山林健康管理センサの研究開発—解像度変化による樹幹密度への影響の検討—” 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 (2010.09)
- [14] 熊澤圭, 三田地成幸, “レーザセンサを用いた街路樹センシング” 2011 年電子情報通信学会総合大会 (2011.03)

付属資料

5-1-7. 付録 [2010.7.26]

< 撮影画像集 >

三鷹通り [2010.7.26]



天神山通り [2010.7.26]



大沢コミュニティ通り [2010.7.26]



北野公園 [2010.7.26]



新川天神青少年 [2010.7.26]



丸池公園 [2010.7.26]



みはらしやま公園 [2010.7.26]



大沢雑木林公園 [2010.7.26]



5-2-7. 付録 [2010.11.11]

11 月 11 日の三鷹市大沢コミュニティ通りの様子および
センサシステムを搭載した車の様子



北野公園 [2010.11.11]



新川天神青少年広場 [2010.11.11]



みはらしやま公園 [2010.11.11]



大沢雑木林公園 [2010.11.11]



街路樹枝葉センシングシステム検量調整現場試験



東京工科大学 学内銀杏並木枝葉検量測定
(2010年11月9日 16時55分)



街路樹枝葉センシングシステム測定回路調整
(2010年11月9日 16時56分)



街路樹枝葉センシングシステム測定回路調整
(2010 年 11 月 9 日 16 時 56 分)



東京工科大学 学内櫟枝葉検量測定
(2010 年 11 月 10 日 11 時 27 分)



東京工科大学 学内櫟枝葉検量測定
(2010 年 11 月 10 日 11 時 28 分)



街路樹枝葉センシングシステム測定回路調整
(2010 年 11 月 10 日 11 時 28 分)



街路樹枝葉センシングシステム測定回路調整
(2010 年 11 月 10 日 11 時 29 分)



東京工科大学 学内銀杏並木枝葉検量測定
(2010 年 11 月 10 日 12 時 19 分)



東京工科大学 学内銀杏並木
(2010年11月10日13時55分)



東京工科大学 学内銀杏並木検量測定状況
(2010年11月10日13時56分)

5-3-6. 付録 [2010.11.16]

図 4-1 の詳細なデータ

日付	時刻	受光量
10/11/16	14:24:14	0
10/11/16	14:24:14	0
10/11/16	14:24:15	0
10/11/16	14:24:15	0
10/11/16	14:24:15	30
10/11/16	14:24:15	0
10/11/16	14:24:15	82
10/11/16	14:24:15	52
10/11/16	14:24:15	0
10/11/16	14:24:15	49
10/11/16	14:24:15	48
10/11/16	14:24:16	85
10/11/16	14:24:16	80
10/11/16	14:24:16	0
10/11/16	14:24:16	0
10/11/16	14:24:16	0
10/11/16	14:24:16	91
10/11/16	14:24:16	0
10/11/16	14:24:16	80
10/11/16	14:24:16	0
10/11/16	14:24:17	92
10/11/16	14:24:17	18
10/11/16	14:24:17	0
10/11/16	14:24:17	0
10/11/16	14:24:17	2
10/11/16	14:24:17	50
10/11/16	14:24:17	52
10/11/16	14:24:17	2
10/11/16	14:24:17	62
.	.	.

図 5-3-4-2 の詳細なデータ **[2010.11.16]**

樹木の種類	枝葉との距離(cm)	受光量
サクラ (紅葉)	70	130
サクラ (紅葉)	90	121
サクラ (紅葉)	120	118
サクラ (紅葉)	70	104
サクラ (紅葉)	150	107
サクラ (紅葉)	80	235
サクラ (紅葉)	30	214
サクラ (紅葉)	50	205
サクラ (紅葉)	10	276
サクラ (紅葉)	8	1300
サクラ (紅葉)	30	102
サクラ (紅葉)	5	2990
サクラ (紅葉)	1	1600
サクラ (紅葉)	30	195
サクラ (紅葉)	20	471
サクラ (紅葉)	35	234
サクラ (紅葉)	20	119
サクラ (紅葉)	1	593
サクラ (紅葉)	30	170

5-4-6. 付録 [2010.11.25]

2010 年 11 月 25 日に、大沢雑木林公園および北野公園で樹林画像を取得した。11 月 11 日の結果と併せたものを、図 6-1、表 6-1 に示す。図 6-1 をみると、今回 11 月 25 日の結果はこれまでの結果と矛盾しないことが分かった。したがって山林健康管理センサの公園への適用は可能であり、また、再現性があるといえることが明らかとなった。

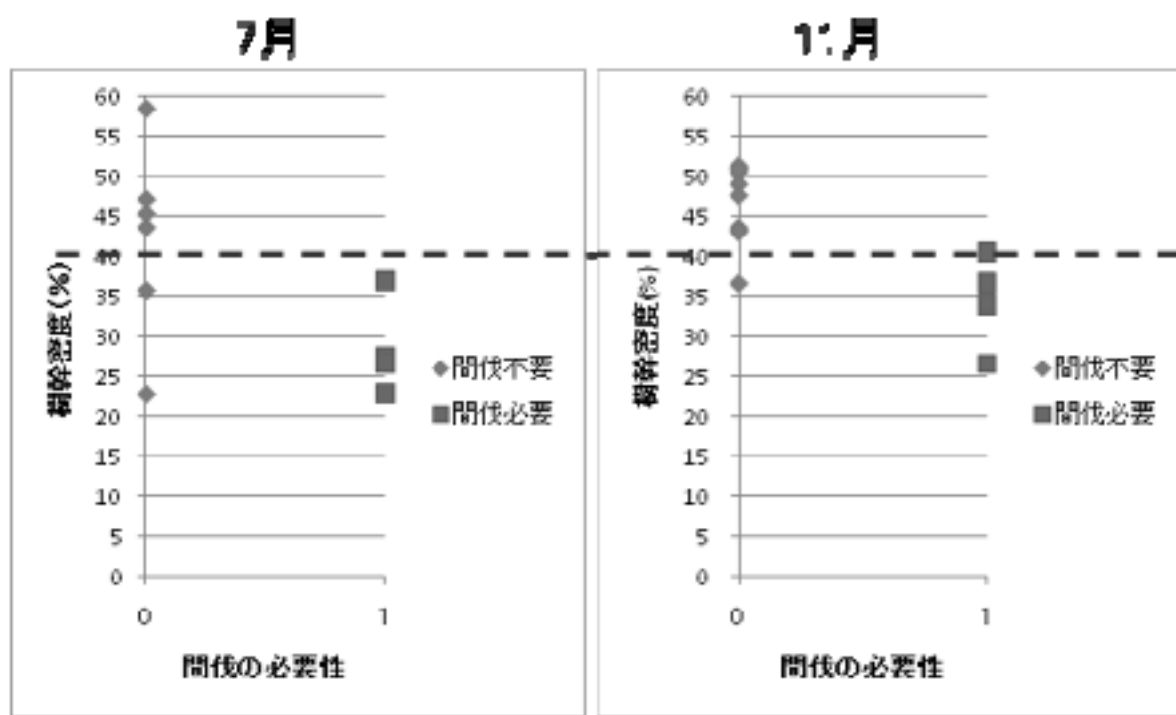


図 5-4-6-1 公園での樹幹密度測定結果（7 月 26 日、11 月 11・25 日）

表 5-4-6-1 公園での樹幹密度測定結果（2011.11.11・25）

日付	場所	間伐の必要性	樹幹密度(%)
11 月 11 日	北野公園 1	不要	43.6
	北野公園 2	不要	43.4
	新川天神青少年広場 1	必要	36.7
	新川天神青少年広場 2	必要	26.7
	大沢雑木林公園 1	不要	43.1
	大沢雑木林公園 2	不要	51.0
	大沢雑木林公園 3	不要	36.6
	みはらしやま公園 1	必要	40.5
	みはらしやま公園 2	必要	33.8
	みはらしやま公園 3	必要	34.2
11 月 25 日	北野公園 1	不要	50.5
	北野公園 2	不要	49.1
	大沢雑木林公園 1	不要	47.7
	大沢雑木林公園 2	不要	51.4
	大沢雑木林公園 3	不要	51.0

自動車速度依存性、
構内高さ一定建物測定結果

5-5-6 付録[2011.1.6]

各公園のサンプル画像

北野公園【2011.1.6】



新川天神青少年広場【2011.1.6】



大沢雑木林公園【2011.1.6】



みはらしやま公園【2011.1.6】

