

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04674

研究課題名（和文）老朽化した街路樹のスクリーニング手法の開発

研究課題名（英文）Development of a screening method for dilapidated roadside trees

研究代表者

徳永 光晴（Tokunaga, Mitsuharu）

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：00301135

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：道路脇の衰弱した樹木を赤外線カメラを利用して自動的に抽出する手法を開発した。本手法は、健全な樹木と衰弱している可能性のある樹木と分別することにある。日本において樹木は夏に活性化し冬に向かって活性度が低下するなど季節により変化する。衰弱した樹木は、健全木と比べて活性度の変化が異なることを突き止めた。すなわちこの活性度を分析することで衰弱した樹木を抽出することが可能となった。本手法を特許申請することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的な意義として、異なる日時に車上から撮影した動画の位置を合わせ比較することを可能にする手法を開発した。社会的な意義としては、現在専門家は街路樹などの道路脇樹木を観察、触診、打音などの方法でそれが衰弱しているかどうかを検査している。道路脇の樹木数は膨大であり、専門家数が不足しているのが現状である。本提案手法を提案することにより、専門家は衰弱している可能性のある樹木に対してのみ点検すればよいことになる。その作業量およびコストが大幅に削減されることが期待できるので実用化の社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：A method for automatically extracting weakened trees on the roadside using an infrared camera was developed. The method consists in separating healthy trees from trees that may be weakened. Trees in Japan change with the seasons, such as being active in summer and declining in winter. We found that weakened trees showed different changes in activity compared to healthy trees. In other words, it became possible to extract debilitated trees by analyzing this activity. We were able to apply for a patent for this method.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：生育不良木抽出 倒木 道路脇樹木 近赤外動画 植生指標 リモートセンシング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では高度成長期から、道路、橋梁、トンネルなどのインフラが急速に整備され、それに合わせて道路脇の街路樹も整備されてきた。街路樹は、排ガスなどの大気環境、根を張る地中の環境が過酷な条件にあり、また植樹して 50 年以上経過し寿命が近づいてきた樹木が多く存在する。このため、台風など特別な気象条件ではないときにも、街路樹の倒木が発生している。例えば、中央高速道路脇の樹木が倒木し、その樹木にトラックが乗り上げ、運転手が死亡する事故が発生した。このように、道路脇の樹木が倒木すると、大きな事故を誘発する危険性がある。現在、道路脇の街路樹の点検は、樹木医などの専門家が、初期診断として目視検査をする。次に問題がありそうな樹木について木槌で叩くなどして外観検査をおこなう。それでも問題がありそうな樹木に対して、機材を用いた精密検査が行われている。このように樹木を検査することに多くの手間と時間を要する。さらに、対象が広範囲に渡るため膨大なコストと人手を必要としている。さらに専門家になるためには、多くの経験を積まなければならない、専門家の数が不足しているのが現状である。このような状況の中で、安全性を損なうことなく効率的に樹木を点検する方法が望まれている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、近赤外と熱赤外データから倒木の危険もしくは衰弱している樹木の特徴を示す指標を考案し、樹木の状態を判定する手法を開発することである。この手法を樹木の初期診断として活用することができれば、膨大な数の街路樹の点検作業を大幅に削減することが可能となる。たとえば、道路脇の樹木を予め、車に搭載した赤外カメラで撮影する。この撮影に樹木の専門家が同行する必要はなく、専門家はシステムが示した問題がありそうな樹木に対してのみ診断すればよいことになる。多くの樹木は健全であるので、健全な樹木をスクリーニングすることで専門家が点検する樹木の数は大幅に削減されることになる。その結果、専門家の作業量およびそれに関わるコストが大幅に削減されることが期待できるので実用化の社会的意義は大きいと考える。

3. 研究の方法

(1) 撮影機材と撮影方法

近赤外撮影カメラ(PENTAX KP IR)と通常のデジタルカメラ(PENTAX K-S2)を車内より同時に撮影した。撮影は車から側道に向けてカメラを設置し動画(Full HD)で撮影した。静止画による連続撮影にしなかった理由は、車の速度によってはシャッタースピードが間に合わず、樹木の撮影に欠損が生じるためである。撮影位置を把握するために、GPSにより撮影位置を 100 ミリ秒毎に計測した。事前の実験で植生指標値は天候によって大きく変化することが確かめられたので、光量による補正処理を行うにしても、その変化量を少なくするために曇りの日を選んで撮影した。

(2) 異なる日時に撮影した動画の位置情報を合わせる手法

衰弱した樹木の推移を把握するためには、経年・経月変化を調べることが必要となる。車に搭載した赤外線カメラで街路樹を動画として撮影するが、撮影条件はその都度こととなることになる。例えば、カメラの向き、カメラの位置、車の速度、走行の位置がそれぞれ異なるため、それらを比較できるように同じ場所を撮影したフレームの位置を合わせる必要がある。実際に車を走行させ、動画が比較できるようなシステムを開発した。

(3) 衰弱木を判定する指標の考案

異なる時期に撮影した画像データを比較する際に、位置情報を求め、画像を幾何補正する必要がある。それでも、樹木は成長したり、風の影響などで葉がゆらいだり、完全に以前撮影した樹木と比較することができない。そのため、画像をブロック化して、ブロック同士を比較する手法を開発する。

4. 研究成果

(1) 対応フレームの自動抽出処理

異なる時期に観測した樹木の植生指標の変化を調べるために、別々の動画から同じ樹木を撮影したフレームを自動的に抽出する手法が開発された。はじめに、撮影を開始した日の動画を基準データとする。基準となる動画から、道路脇の景色がすべて漏れなく撮影されるようにフレームが抽出される。フレームは静止画像であるが、動画からフレームを抽出することで、今後の処理は、静止画を対象としたアルゴリズムを適用できるようになる。

抽出されるフレーム画像は、フレーム間に抜けがないように、またフレーム画像がなるべく重なり合わないよう抽出される。フレームを抽出する間隔は、近赤外カメラを搭載する車の速度、画像の画角、および frames per second (fps) から求めることができる。

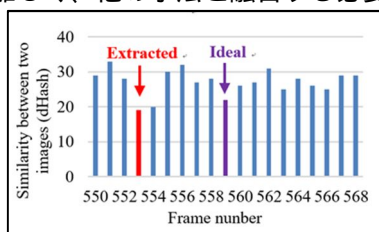
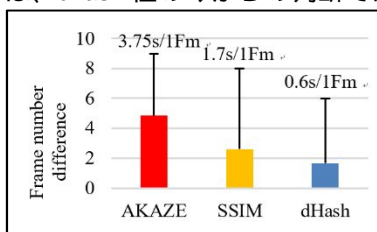
次に基準データと比較するための参照動画から、基準となるフレーム画像と同じ場所を撮影し

たフレームを抽出する。今回の手法は撮影時の位置情報を利用していない。なぜならば静止画と異なり動画のフレームには位置情報が付加されないためである。将来、GPS と連動させて位置情報を取得する方法も考えられるが、それは今後の検討課題とする。基本的には、同じような速度で対象物を撮影するため、フレームを抽出する間隔はある程度想定できる。そのフレームを中心に前後の数フレームから、基準フレームと最も類似している画像を抽出する。

この処理は、基準画像とおなじ画像を動画から探し出すことに等しい。画像の類似度を計測するいくつかの手法が提案されているが、本研究が対象とするのは植生なので、特徴点を抽出するのが難しい。そのため、次の手法をテストし、どの手法が適用可能であるかが検討された。AKAZE 特徴量による Hamming 距離, SSIM (structural similarity), dHash (difference hash) を候補とした。それぞれの手法を街路樹の動画に適用し、最も確からしいと判断された画像の組み合わせが正しいのか検証した。これらの手法が自動的に抽出したフレームと目視で判断したフレームのフレーム番号の差を誤差として図に示す。その結果、今回のケースでは、dHash による自動抽出が最も良い結果となった。

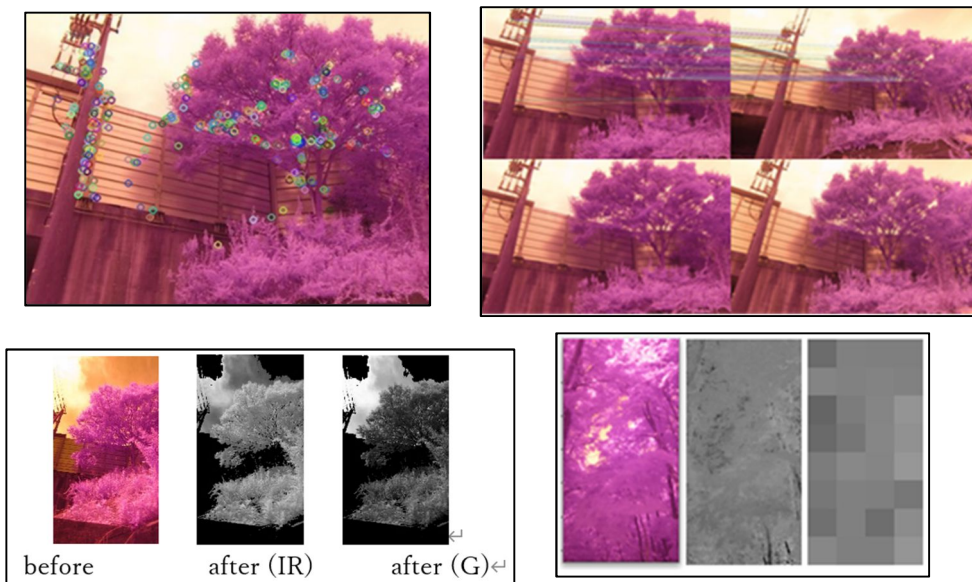
しかし dHash においても完璧に同じ場所を撮影したフレームを抽出できたわけではなく、平均で 1.65 フレームのずれが発生した。最大で 6 フレームずれた場所があった。その箇所の dHash 値を図 4 に、そのときの画像を図 5 に示す。

図 5 から分かる通り、ミスマッチした画像は非常に類似性が高い。このエラーをふせぐためには、dHash 値のみからの判断では難しく、他の手法と融合する必要があることがわかった。



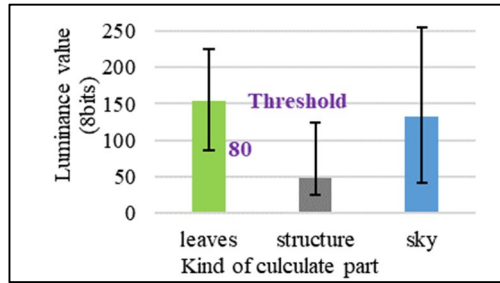
(2) 幾何補正処理

前項では、異なる時期に撮影した動画から、同一の場所を撮影したフレームが抽出された。ただし、撮影時のカメラの位置および向きが異なるため、画像を比較するためには幾何補正をする必要がある。幾何補正は、ORB 法 (Oriented FAST and Rotated BRIEF) により特徴点を抽出し、この特徴点から対応ベクトルを算出し、このベクトルから対応点の誤検知がないと思われる対応点の組をマッチングポイントとして設定され、射影変換により幾何補正が行われた。葉の NDVI を算出する際に不必要な背景を削除する処理がなされた。近赤外画像から葉構造物、空の輝度値を取得し、それぞれの平均値と最大値、最小値を算出した。



(3) ブロック化された NDVI の算出

対応するフレームを自動抽出し、さらにそのフレームを幾何補正しても、画像は正確には一致しない。なぜならば、樹木の葉は樹木の成長、風による変化、カメラの向きにより、樹木の形状が異なるためである。植生指標、今回は最も一般的な NDVI を採用したが、その NDVI の変化を求めることが本研究の目的である。そのためピクセルベースの処理ではなく、それをまとめたブロック化された NDVI の比較を行うことにした。ブロックサイズは可変であるが、縦 240 × 横 270px をブロック化処理した結果を図に示す。



(4) 光量の相違による NDVI の補正

鉢植えコニファー木を用意し、改造した近赤外カメラで、定時に毎日観測した。図 13 に示すとおりコニファーの NDVI 値の変動が大きかった。植物の状態は同じであることから、この変動は植生の活性度の変化を示すものではない。コニファーを観測すると同時に白板を観測したので、NDVI と白板の観測値の散布図を図 14 に示す。これからわかるとおり、光量と NDVI には正の相関が確認できる。そのため、NDVI 値を光量で補正する必要がある。今回取得されたデータを用いて、最小二乗法により補正式が算出された。

$$\text{Modify_NDVI} = -0.0502 \times \text{LUX} + 0.268$$

LUX: 光量計から得られた lux 値

(5) 強制的に枯らせた木の NDVI の観測

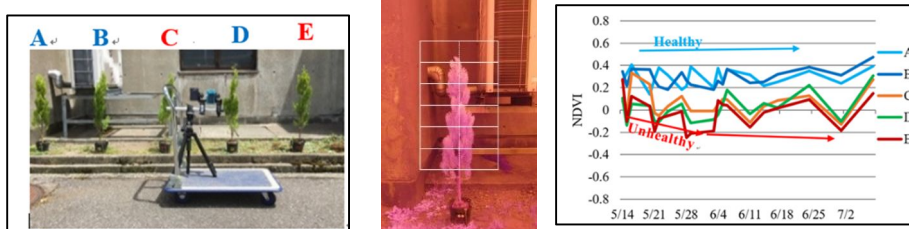
2本の鉢植えコニファー木を用意し、1本の木を傷つけ除草剤を塗布し強制的に枯らせた。改造した近赤外カメラで、NDVI の変化を観測する実験が行われた。NDVI の観測値を図に示す。

8月20日から21日にかけて、健康な木の NDVI 変化量が+0.03/日と増加したが、劣化させた木の NDVI 変化量が-0.02/日と減少した。図 16 に示すとおり、この日を境に、健康な木と劣化させた木の NDVI の差が大きくなった。その一方で、図 17 で示した 8月23日の写真からは、目視では葉枯れなどの劣化を確認することができなかった。写真を掲載していないが 8月27日に劣化させた木が葉枯れしているのを確認することができた。この後劣化の進行が進み、9月4日の画像では完全にコニファーは枯れていた。このことから、目視では確認できない、植生の劣化を改造した近赤外カメラで捉えることができることを確認することができた。

前項では、デジタルカメラから赤外線カットフィルターを取り除いた改造カメラによって、植生の活性度を捉えることができることを検証した。この実験では、本研究目的である街路樹の観測をするために移動体から木を観測する実験が行われた。観測は動画で行った。最終的に道路脇樹木を車上から撮影することが目的なので、静止画のインターバル撮影では撮影が間に合わないためである。静止画で撮影すれば、撮影時の位置情報を画像に記録することができるがデータの欠損の恐れがあるため断念した。

図に示すように五本の類似したコニファーを並べ、CとDの木を傷つけ強制的に枯らせた。目視で枯れることが確認できるまでの経過を、台車に設置した近赤外カメラにより、台車を移動しながら動画にて毎日撮影した。

撮影された動画からコニファーの映ったフレームを抽出し、そのフレームを 13×4 (138×270 画素/1 ブロック) に分割し、ブロック毎の NDVI 平均値が算出された。観測日が異なる動画から対象のフレームを前章で説明した方法で抽出し、ブロック化した NDVI 値の比較が行われた。はじめに、フレームの自動抽出処理を行い、そのフレームを幾何補正し、ブロック化した NDVI を算出した。図にブロック化したエリアを示す。図に背景を除去するために作成したマスク画像を示す。



図に各コニファーの NDVI 推移を示す。データは各ブロックの NDVI を平均したものである。なお、光量補正はしていない。健康な木である A と B は高い NDVI 値を示した。劣化した木の C と E は、A と B に比べると低い値を示した。この通り、健康な樹木と劣化した樹木を分けることが可能である。しかし健康な木 D は、不健康な木と同様の推移を示した。その理由として D はもともと葉の量が少なく、かつ密集していなかった。そのため、葉の隙間の背景により NDVI が低く見積もられた結果と推察される。このように葉が少ない樹木に対して、提案手法の適用が難しいことを示唆している。

(6) 道路脇の樹木の観測実験結果

自動車に近赤外カメラを搭載し、金沢市森本の道路脇の植生を観測した。観測時の車はおよそ 20km/h で走行した。基準となる月を 6 月に設定し、毎月 1 回同じ場所を観測し、植生指標の比

較が行われた。比較の方法として、基準月からの観測したそれぞれの植生指標の差分を計算するパターン1と各月の経月変化を計算するパターン2によりNDVIの推移を分析した。一般的に北半球において植生指標は夏に高くなり秋に向けて下がっていく。また、晴天のときに高くなり、曇天のときは低くなる傾向がある。さらに、植生の種別によって植生指標の値は異なる。そのため、植生指標の値自体から、その植生が健康であるか弱っているかを判断することが難しい。

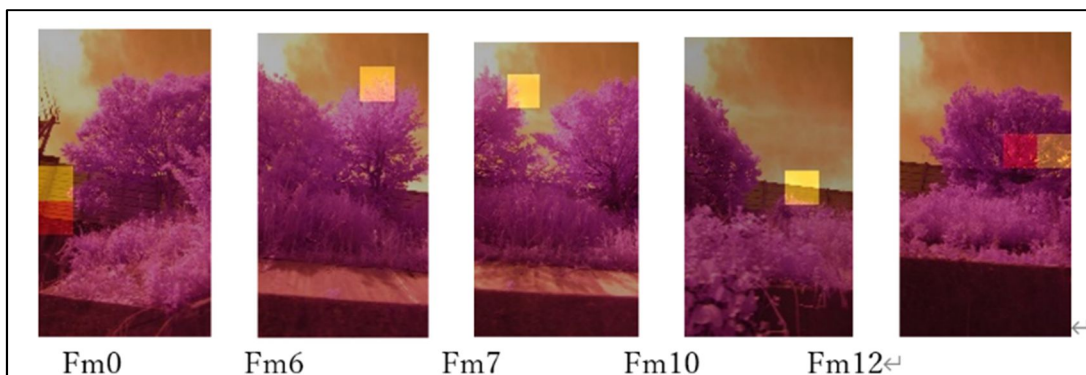
そのため、本研究では、植生指標の増加率がその周囲の植生に比べて低い場合に、その植生が弱っている可能性があるとして、マークする。例えば、ある場所の植生指標が増加している場合、それほど増加していない下位5%を衰弱の可能性のある木と判断する。5%は正規分布の2シグマ外の範囲を示している。また、その場所の植生指標が減少している場合でも、他に比べて減少の量が大きい場所を衰弱可能木とする。

対象月のデータと基準とするデータの差分が、この5%の範囲に例えば3回入ったときに、衰弱している植生の場所として定義する。この回数と変化率により、植生が衰弱している確率として画像にアラームの色付けをする。

図に抽出されたフレームを示す。色付きの四角が、本提案手法により植物が劣化していると示された場所である。Fm10では植生ではない部分が抽出されている。この理由は、背景削除がうまくいかなかったことが理由である。その一方で、植生が弱っている場所を確実に捉えていた。

Fm6とFm7に示された色付きのブロックは、同一の樹木を示している。この樹木は抽出フローのパターン1において、特に6月～10月の比較で大きなNDVIの減少傾向を示した。図24にFm6の6月～10月のNDVI変化量/日を示す。抽出された黄色のブロックの周囲もNDVIが減少傾向にあることから、樹木全体のNDVIが減少傾向を示していることがわかる。従って、この樹木は劣化していると考えられることができる。

この時点では葉は生い茂っており、目視では容易に樹木が劣化しているかどうかを判断することは難しい。しかしこの樹木のそれ以降の推移を追ってみると、この樹木が劣化して落葉していくのを確認することができる。他の場所でも抽出された場所を図25に示す。この樹木もその後落葉しているのが確認できる。



(7)結論

本研究では、市販のデジタルカメラから赤外線カットフィルターを取り除いた改造カメラを用い、移動している車から植生を撮影し、衰弱している植生を抽出するアルゴリズムを開発した。異なる時期に撮影した動画から、同じ樹木を撮影しているフレームを自動的に抽出し、そのフレームを特徴点から幾何補正した。人手による特徴点の抽出、基準点の取得など行っておらず、自動的に処理することができた。植生指標を比較するために、光量補正式を考案した。植生を比較できるようにブロック化を提案し、それが有用であることを示した。さらに、植生指標の経月変化から、衰弱している植生の抽出に成功した。

提案したアルゴリズムから抽出された植生は、その後落葉するなど衰弱したのを確認することができた。これは、今後衰弱する樹木を予想することができることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Tokunaga	4. 巻 XLIII-B3
2. 論文標題 EXTRACTION OF DEBILITATED TREES ALONG THE ROAD BY BLOCKED NDVI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.	6. 最初と最後の頁 209-214
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Mitsuharu Tokunaga
2. 発表標題 EXTRACTION OF DEGRADED STREET TREES BY BLOCKED VEGETATION INDEX
3. 学会等名 IGARSS 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 HIDA KOHSUKE , TOKUNAGA MITSUHARU
2. 発表標題 Distinguishing unhealthy potted tree using Blocked NDVI derived from NIR video
3. 学会等名 The 40th Asian Conference on Remote Sensing（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飛田 紘佑、徳永 光晴
2. 発表標題 近赤外動画の解析によるブロック化されたNDVIを用いた不健康な鉢植え木の区別
3. 学会等名 令和元年度秋季学術講演会発表論文集、日本写真測量学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 道路脇の注意木診断方法及び危険木診断システム	発明者 徳永光晴、泉浩一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2021-108582	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------