

都市植生の多次元管理手法に関する 総合研究

齊藤保典¹⁾, 高木直樹¹⁾, 宮崎敏孝²⁾, 石澤 孝³⁾
1) 信州大学工学部, 2) 信州大学農学部, 3) 信州大学教育学部

A study and trial on a planning of vegetation
control and reservation based on results with
multi-monitoring technique

Yasunori Saito¹⁾, Naoki Takagi¹⁾,
Toshitaka Miyazaki²⁾ and Takashi Ishizawa³⁾

¹⁾ Faculty of Engineering, Shinshu University

²⁾ Faculty of Agriculture, Shinshu University

³⁾ Faculty of Education, Shinshu University

Key words: urban planning, control and management,
vegetation, satellite sensing, lidar sensing,
sampling
都市計画, 管理, 植生, 人工衛星リモートセンシング,
ライダーセンシング, ポイントサンプリング

はじめに

植物の存在が地球環境変化に果たしてきた役割は非常に大きい。光合成活動による1次生産工場としての機能は良く知られているが、その他にも実に様々な機能を通じて、地球環境変成に関わってきた。

例えば植物葉から放出される植物由来揮発性物質(BVOCs: Biogenic volatile organic compounds)は、その高い反応性のため大気構成分子や人類活動由来人工物と容易に結合し、それら物質の除去あるいは新たな物質を生成する¹⁾。NO_xとの反応を通じて対流圏オゾンの生成²⁾などにも関わっている。従って植物(圏)の急激な減少・破壊は地球大気組成を変化させたり、その結果として地球環境自身の破壊へとつながっていく。

このような地球環境科学以外にも、植物が現代人に与える“癒し”効果を、都市空間内に求める傾向が、近年特に注目されるようになってきたように思われる。公園等の屋外大規模空間はもちろん、ビル間や建物内部等の小規模空間内に植物を配置したアトリウム、屋上庭園、緑化建築などが検討されてい

る。平野はその極相的な都市のフィジカルプラントを森林都市と呼んだ³⁾。

本報告では、このような貴重な植物資源(特に樹木)保全のために有効と考えられる、異なる3種類のセンシング技術要素開発と、これらのデータを有機的に結合した、政策論も含めた新規な多次元管理手法について検討する。

手法とシステム

植生を検討する場合にはその対象域をどう捕らえるかが重要である。生態系レベル、群集レベル、あるいは樹木毎、葉1枚毎、さらには地勢、歴史的経緯なども含まれる。人的リソースや経済的理由から、通常はそれぞれ個別的に扱われる場合が多い。しかしながら、これらは独立に成り立っているのではなく、お互いが相互に入り組み関係しあって成立しているべきものである。

このような観点から、本研究では図1に示すような4つの異なる次元を統合した多次元管理手法を提案し、実現のためのシステムを構築することとした。

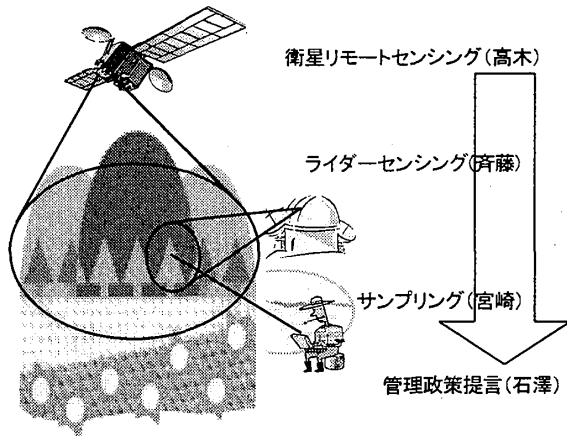


図1 樹木多次元管理手法の概念説明図
()内は担当者

1) 衛星リモートセンシング手法によるグローバル植生評価 (高木)

地球上空 数100km を航行する人工衛星に観測機器を搭載し、主にセンシング対象物の太陽光反射特性を測定することにより、地球環境をパッシブにセンシングする手法である。数 km 四方に渡る広範囲の領域を同時に捉えることができるため、グローバル植生評価に威力を発揮する。

図2に、今回使用したLANDSAT (5号) 衛星を示す。アメリカ合衆国NASAの人工衛星で、7バンド(可視3バンド、近赤外2バンド、赤外域1バンド)の観測周波数を持つ。地上分解能は30m(赤外域バンド6は120m)である。

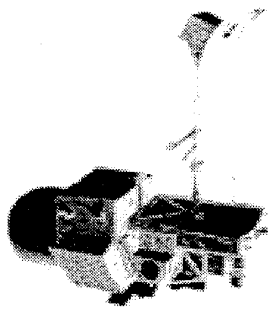


図2 LANDSAT (5号) 人工衛星

2) ライダーセンシング手法によるメソスケール(樹木単体) 植生評価 (齊藤)

ライダー(レーザーレーダとも言う)とは、レーザーを対象物に照射したときに得られる分光情報を基に、対象物の特性をアクティブにセンシングする手法で

ある。樹木や植物以外、大気・水・土壌等のセンシング例が、多く報告されている⁹⁾。

図3に、製作したレーザー誘起蛍光(LIF)イメージングライダーの構成を示す。レーザー(波長532nm、パルスエネルギー10mJ、パルス時間幅6ns、繰り返し10Hz)を、凹レンズを介して約65m離れた樹木全体に照射した。樹木葉はレーザー照射に伴い極微弱な蛍光を発し、この蛍光スペクトルより植物生理活動に関する種々の情報を抽出することができる⁹⁾。微弱な蛍光を効率良く検出するため、イメージンテンシファイヤー付きのCCDカメラを、デレイゲート動作させるなどの工夫を行った⁹⁾。

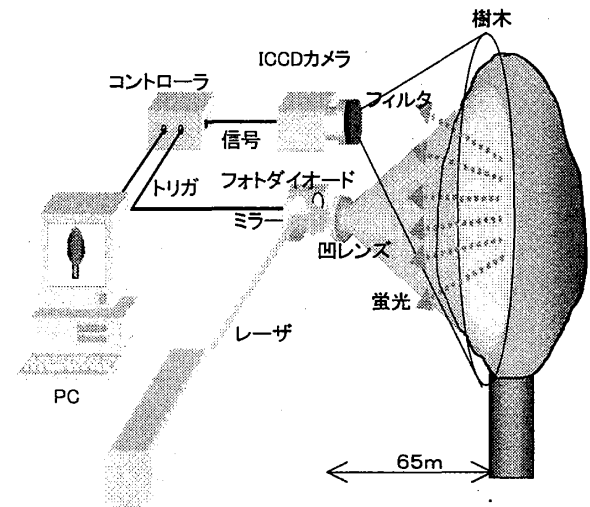


図3 レーザ誘起蛍光ライダーセンシングシステム

3) サンプリング手法によるミクロスケール(葉別毎) 植生評価 (宮崎)

衛星やライダーセンシングの結果は、最終的には現地でのサンプリング結果と照合させる必要がある。通常植物生体では、ミクロスケールは細胞程度の大きさを意味するが、衛星やライダー手法との比較という点で、葉一枚毎をミクロスケールと定義した。

今回は図4に示すレーザー誘起蛍光計測システム⁹⁾を用いて、ライダー手法との照合を行うこととした。基本的には図3の構成を屋内用に再構築したものであるが、より広い波長範囲の蛍光スペクトルを検出できるように、蛍光誘起波を355nm(パルスエネルギー0.1mJ、パルス時間幅6ns、繰り返し10Hz)とし、さらに分光器と一次元ダイオードアレイを組み合わせ、400nm~800nmの波長領域を一度に測定できるように改良した。

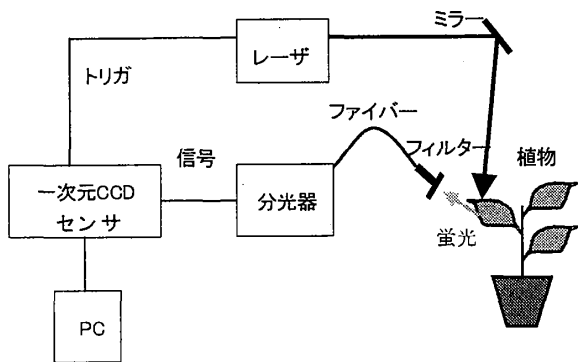


図4 レーザ誘起蛍光計測システム

4) データに裏付けされた管理政策の提言 (石澤)

本研究で提案している植生次元管理手法を都市計画・環境計画・山と人との共生共存戦略、山岳地域社会形成・山岳総合科学等へと有効利用するための政策提言を検討する。あえて“データに裏付けさ

れた”という表現を入れた。これは、(例えば)地球温暖化防止京都会議に見られたような議決書有効性のあいまいさ(森林による二酸化炭素吸収量の測定が正確にできない⁸⁾)を、極力避けるような管理政策作りを目指したためである。

成果と検討

1) 衛星リモートセンシング手法によるグローバル植生評価

長野県や長野市にとって、植生と都市環境を考える観点で、最近の最も大きなエポック的イベントは1999年の長野冬季オリンピックと考えられる。ここでは長野オリンピック前後の、オリンピックスケート会場エムウェーブ付近の衛星画像データを基に検証した(図5参照)。左側の画像が人口衛星画像を解析した結果であり、色の濃い部分が緑地の豊かな地域である。エムウェーブや選手宿泊施設(エムウェーブの上隣)が建てられた場所はもちろんであるが、

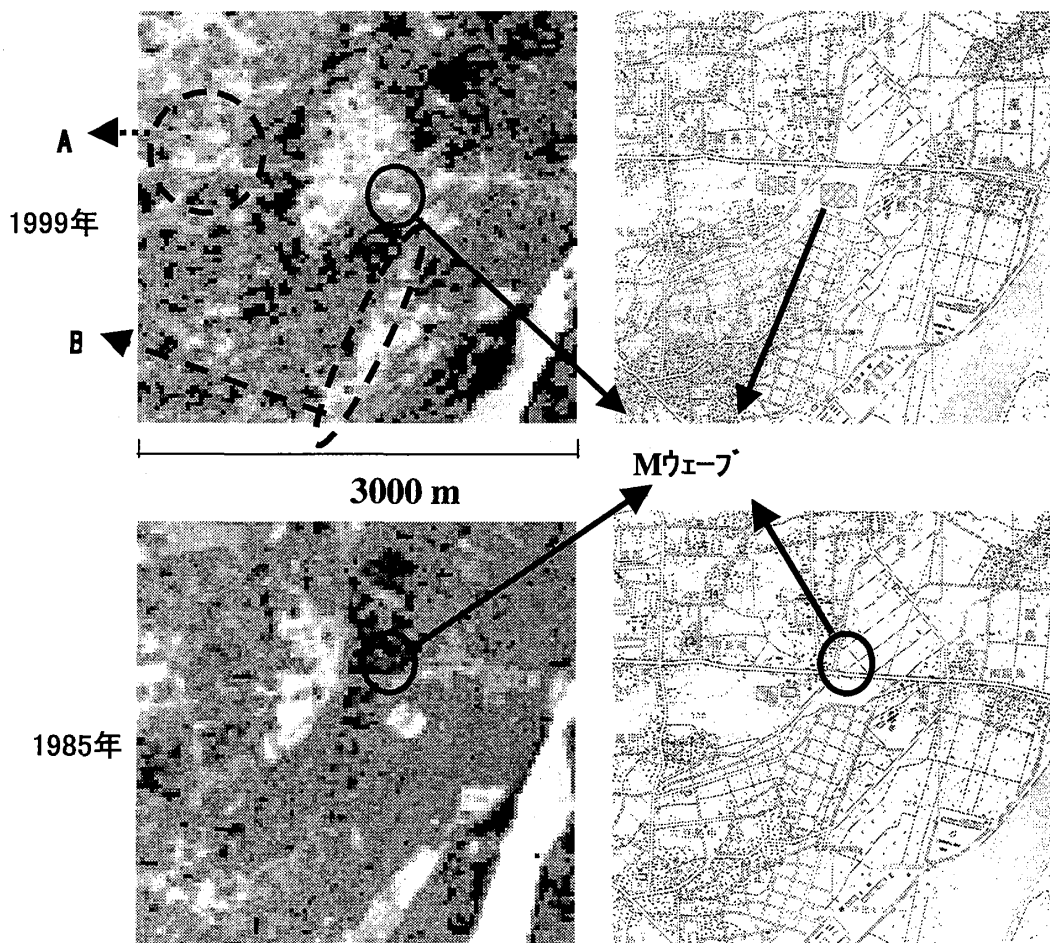


図5 エムウェーブ付近の植生変化

その周辺域（波線表示部 AB）の緑地が減少している。例えばAの地域はエムウェーブとアクアリング（アイスホッケーB会場）を結ぶ道路周辺地域、またBの地域はホワイトリングや白馬方面を結ぶオリンピック大橋へ繋がる道路周辺地域である。

このように、衛星リモートセンシング手法のグローバル植生評価への有効性が検証できた^{9)・11)}。

2) ライダーセンシング手法によるメソスケール(樹木単体) 植生評価

イチョウやポプラ等をセンシング樹木に選んだ。イチョウは公園、街頭など都市植生に良く用いられている樹木である。また、大気浄化植樹として比較的濃度レベルの低い住宅街かつ濃度レベルの高い工場や幹線道路周辺など、両地域での大気浄化植樹に選ばれている¹²⁾。またポプラは成長速度が速く、このため各国で、遺伝子組替えの手法を用いて、大気中の二酸化炭素や環境中の汚染物質を吸収する能

力の高いポプラを作る試みが進められており¹³⁾、今後注目すべき樹木の一つでもある。

工学部構内にあるイチョウの樹木（画面中央）を対象とした、クロロフィル濃度の遠隔推定結果¹⁴⁾を図6に示す。5月から夏にかけて葉内クロロフィル濃度が増加していき、初冬にかけて極端に減少していく様子が捕らえられた。また樹木種の違いによっても、濃度に変化が見られる。ポプラ（画面左）の濃度は既に5月で高い値を示すが、真夏下ではいっそうその値が高くなった。常緑樹のヒノブシバ（画面右）は、初冬でもクロロフィル濃度に大きな変化がみられなかった。

従来は、必要な葉のある高さまで昇って行き、サンプリングした葉を裁断・化学薬品処理して液体クロマトグラフィで濃度を求めていた。本手法により、生きたままの状態でも遠隔的に樹木全体の分布画像としての濃度計測が可能になった意義は、非常に大きい。

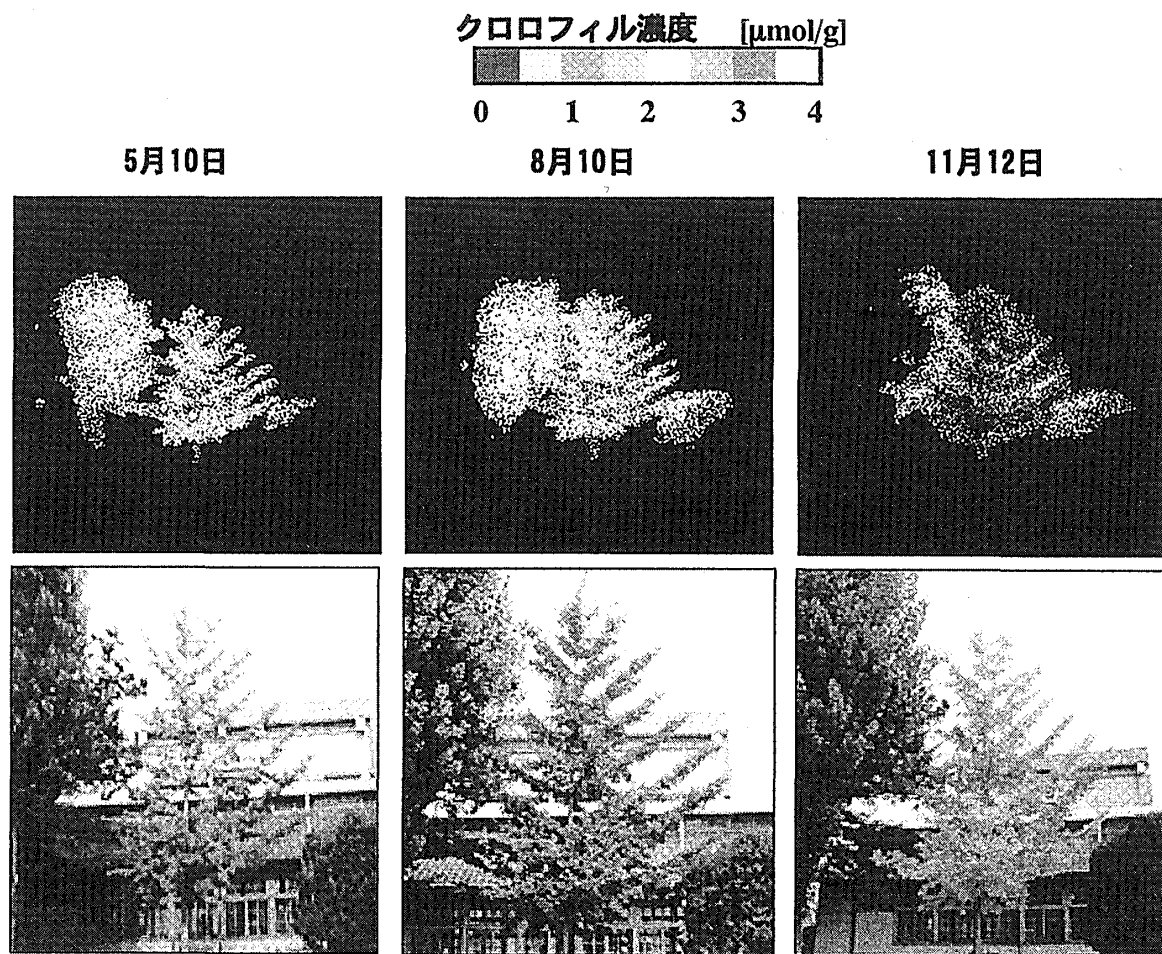


図6 ライダーセンシング手法による樹木植生（生育）評価

3) サンプルング手法によるミクروسケール（葉別毎）植生評価

ライダー手法との結合性を確認するため、レーザー誘起蛍光法をサンプルング手法として取り入れた方法を検討した。

鉢植えサザンカを用意し、水分ストレスや栄養ストレスを与えながら栽培し、葉毎の生理情報取得可能性の実験を行った。水分ストレスの結果を図7に示す。3種類的水分ストレス(100mlを毎日、1週間に2回、1ヶ月に2回それぞれ給水)を与えた。最も厳しいストレスが与えられたサザンカは、蛍光強度が実験開始直後から高く、またその増加割合も大きい。枯死状態ではその値が急激に減少した。毎日給水を受けたものは、植樹100日後近辺で、葉に目視障害(季節変化に伴うものと思われる)が見うけられたが、枯死には至らなかった。蛍光強度(比)が6を越えた付近から障害が発生し、8を越すと枯死状態へ移行するものと思われる(波線は予測値)。なお実験は2週間毎に行われたが、水分ストレスが大きいものでは、早い蛍光変化に追従できなかった。

レーザー誘起蛍光サンプルング手法を用いることにより、植物生理活性に関する情報取得の可能性を実証することができた。植物健康診断・管理などへの応用が期待される。

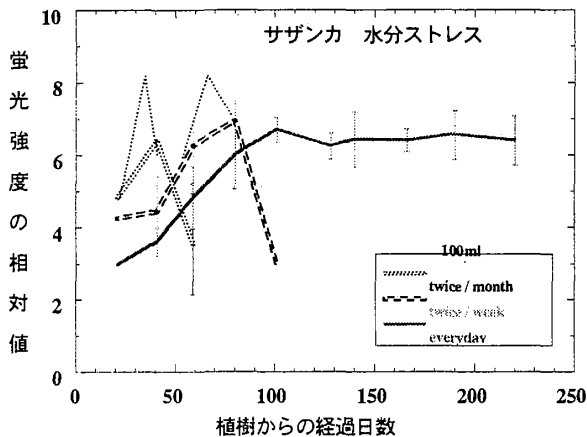


図7 (レーザー蛍光) サンプルング手法結果例

4) データに裏付けされた管理政策の提言

以上のセンシングデータを管理政策に反映させるための枠組みを検討した。その基本的概念を図8に示す。

センシングデータは、植物学、生態学、環境科学、都市計画、システム・技術等の自然科学的知識から

の検討と同時に、(信州地域に特有な) 気候、地勢、歴史・文化等、人文社会科学観点からのアプローチも十分に検討されなければならない。衛星リモートセンシングの個所でも触れたが、冬季オリンピックによる道路整備事業等による植生環境変化は、長野固有の問題であるし、“ながの学”¹⁵⁾や“信州学”などの観点からの整理も必要であろう。

このような情報を可能な限り公開し、成果を還元しながらインタラクティブに意見を吸収するような仕組みを考える必要がある。センシング結果をウェブなどで公開し、インターネット掲示板等を利用して意見を収集する方式が有効と考えている。

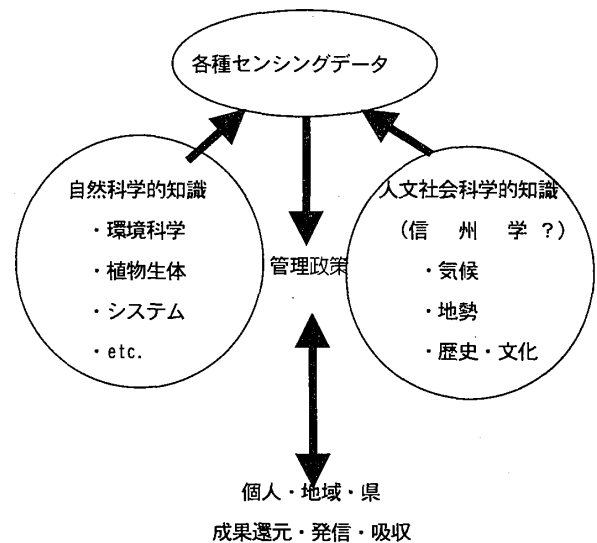


図8 管理政策の基本概念

おわりに

都市植生の多次元管理手法に関する総合研究として、衛星リモセン、ライダー、サンプルング、政策という異なる各種手法を有機的に統括した、新規な多次元管理手法を提案した。各要素について実験・観測データを基に、技術的可能性・特異性・有効性・妥当性等について検討し、非常に良好な結果を得た。

今後の計画として、1) 各要素を統一した理解で利用するための工夫、2) センシングデータの蓄積、3) より広い概念としての山岳域への展開、4) 成果還元・意見吸収のためのインターネット上でのホームページの作成・公開、等を引き続き検討していく。そのことで、緑豊かな信州の森林植生・資源を、日本全体の財産として、健全に保全して行くための新たな方法を、信州大学から提案し発信していくつもりである。

謝辞

本研究は、平成 13 年度学長裁量経費環境科学研究「山岳地域を対象とする自然との共生を目的とした地域社会の持続的発展と環境保全に関する総合的研究（代表：理学部沖野教授）」の中の分担課題「都市植生の多次元管理手法に関する総合研究（分担代表：工学部齊藤）」として行われたものである。

関係各位に謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) Y. Saito, P. Weibring, H. Edner and S. Svanberg, Possibility of hard-target lidar detection of a volatile organic compound, α -pinen gas, over forest area, *Applied Optics* **40**, 3572-3574 (2001).
- 2) F. Fehsenfeld, J. Calvert, R. Fall, P. Goldman, A. B. Guenther, C. N. Hewitt, B. Lamb, L. Shaw, M. Trainer, H. Wesyberg, and P. Zimmerman Emission of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry, *Global Biogeochemical Cycles* **6**, 389-430 (2001).
- 3) 平野秀樹, 進化する都市と森のコミュニティ, *JSCE* **86**, Jan., 33 - 35 (2001).
- 4) R. M. Measures, *LASER REMOTE SENSING* (Wiley, New York, 1984).
- 5) 齊藤保典, レーザー励起蛍光法による植物の生育状態の診断, *O plus E* No. 185, 87-94 (1995).
- 6) Y. Saito, R. Saito, T. D. Kawahara, A. Nomura, S. Takeda, Development and performance characteristics of laser-induced fluorescence lidar for forestry applications, *Forest Ecology and Management* **128**, 129-137 (2002).
- 7) Y. Saito, M. Kanoh, K. Hatake, T. D. Kawahara, A. Nomura, Investigation of laser-induced fluorescence of several natural leaves for application to lidar vegetation monitoring, *Applied Optics*, **37**, 431 - 437 (1998).
- 8) 京都新聞 Internet News ホームページ, 地球と環境, <http://www.kyotonp.co.jp/kp/cop3/cop3.html>
- 9) 小泉圭吾, 高木直樹, リモートセンシング技術を用いた都市内緑被の把握 -京都市の林地, 農地の経年変化-, *日本建築学会計画論文集* 第 552 号, 77-84 (2002).
- 10) 平川秀樹, 高木直樹, マルチテンポラル人工衛星データによる土地利用の分類精度に関する研究, *日本建築学会計画系論文集* 第 480 号, 61-68 (1996).
- 11) 弥田健太郎, 高木直樹, リモートセンシングデータを利用した土地被覆分類における使用するバンドの適切な数とその選択指標, *日本建築学会計画系論文集* 第 498 号, 73-79 (1997).
- 12) 大気環境に関する緑地機能検討会編, 大気浄化植樹暫定指針, 昭和 63 年 6 月.
- 13) ポプラのゲノム研究スタート, *信濃毎日新聞* 平成 14 年 2 月 6 日.
- 14) Y. Saito, K. Kurihara, H. Takahashi, F. Kobayashi, T. Kawahara, A. Nomura and S. Takeda, Remote estimation of the chlorophyll concentration of living trees using laser-induced fluorescence imaging lidar, *Optical Review* **9**, (2002) in print.
- 15) 石澤 孝, ながの学ことはじめ - 北信五学, *信州大学教育学部紀要* **100**, 69-77 (2000).