

# レーザプロファイラ等による森林の炭素吸収源の推定

— 群落レベルの森林計測 —

2003/08/05

国立環境研究所

米 康充

mailto:study@yone.info

1

## 背景

- 京都議定書対応
  - ARD活動の抽出(3条3項)
  - 森林管理活動の抽出(3条4項)
  - 森林炭素吸収(排出)量の計測
- 炭素吸収活動計上・計測手法に誤差がある場合セーフサイドまで引かれる
- 精度の良い計上・計測手法が必要
- 計測手法の1つとしての高精度リモートセンシング研究が必要

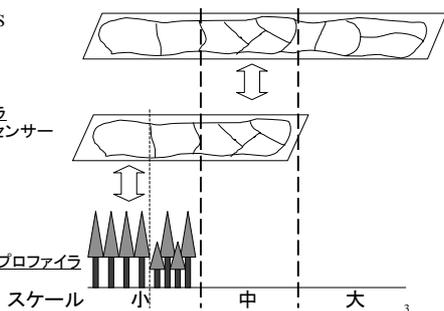
2

## 想定しているリモートセンシングデータ

Landsat・IKONOS  
空中写真

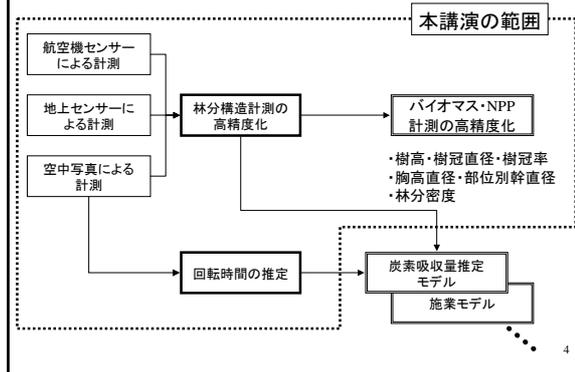
レーザプロファイラ  
ハイパーラインセンサー  
IKONOS  
空中写真

現地調査  
地上設置型レーザプロファイラ



3

## 研究の流れ



4

## 演題

- I. 航空機レーザプロファイラを用いた森林のバイオマス推定
- II. 空中写真ステレオマッチングによる森林の動態の推定
- III. 地上レーザプロファイラを用いた森林バイオマスの推定

5

## I. 航空機レーザプロファイラを用いた森林のバイオマス推定<sup>(1)</sup>

### 目的

- バイオマス計測精度の向上を図るために
  - ①ライダーによる計測精度の検証
  - ②樹冠抽出とその精度検証
  - ③材積(幹の現存量)・炭素重量精度の検証

6

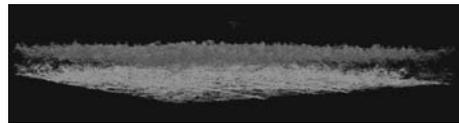
## レーザプロファイラ

- 航空機やヘリコプターに搭載されたLidarを用いて地物の計測を広範囲に行う
- LIDAR: Light Detection and Ranging. 測定対象物に発射したレーザが反射して戻ってくる時間を元に対象までの距離を測定する装置
- 複数回反射するので最初に反射した地点を樹冠、最後に反射したものを地面と仮定することで、樹冠高の測定が可能
- 仕様
  - 測定高度 300~3000m
  - スキャン幅 80~2000m
  - 水平精度 ±30cm
  - 垂直精度 ±15cm



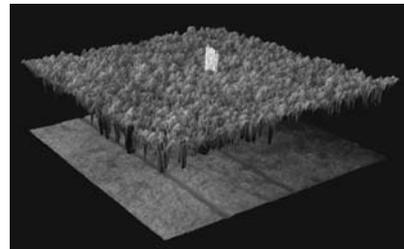
7

## 計測結果事例



樹冠面高と  
地表面高を  
計測可能

↓  
樹高の計測



## 調査地・実験内容

- 苫小牧フラックス観測タワー周辺のカラマツ人工林

|                  | Obs.O   | Obs.A4 | Obs.A6 | Obs.A8 | Obs.H  |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Date             | 1999/12 | 2000/8 | 2000/8 | 2000/8 | 2001/9 |
| Pulse Density(m) | 1.44    | 1.10   | 0.96   | 1.03   | 0.18   |

- 時系列に計測
- パルス密度を変えて計測

9

Lidarによる計測精度

### ①樹冠高の計測誤差

| Plot Name | Observation Name         | Obs.O | Obs.A4 | Obs.A6 | Obs.A8 | Obs.H  |
|-----------|--------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Plot A    | Average error(m)         | 0.11  | 0.11   | 0.11   | 0.13   | 0.27** |
|           | S.D. of average error(m) | 0.90  | 0.92   | 0.91   | 0.91   | 0.90   |
| Plot B    | Average error(m)         | -0.09 | -0.05  | -0.05  | 0.01   | 0.06   |
|           | S.D. of average error(m) | 0.88  | 0.92   | 0.87   | 0.86   | 0.87   |

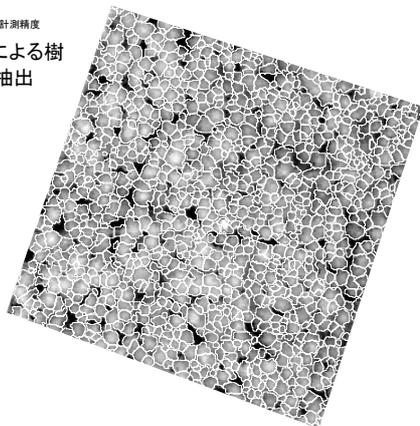
Significance according to ANOVA; \*\* P<0.01

- 誤差の標準偏差は±90cm程度
- 誤差の平均は、±10cm程度
- 2年間の間に誤差の平均が+に拡大→成長の検出

10

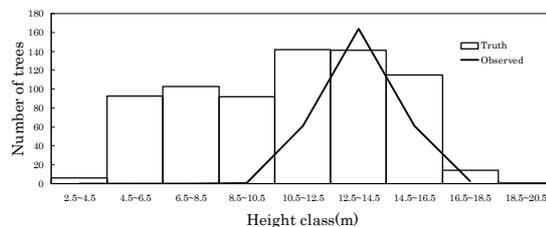
Watershed法による樹冠抽出計測精度

### ②Watershedによる樹冠の自動抽出



Watershed法による樹冠抽出計測精度

### ②樹高階別本数



- 主に上層木が抽出されている
- 下層木の計測が課題

12

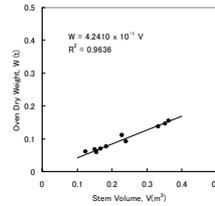
### ③材積の算出

- 材積を求め、次に炭素重量を求める
- ※データ・手法の蓄積がある
- 1. 樹高－材積式による方法
- 2. 空中写真林分材積表による方法

13

材積・炭素重量精度

### 材積→炭素重量を求める



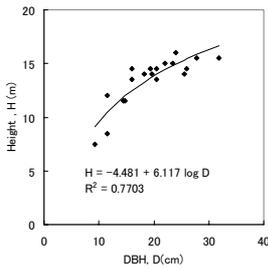
針葉樹の部位別割合(幹:枝:葉:根)  
60.8:12:20<sup>2</sup>

炭素含有係数0.50(tC/t)

14

材積・炭素重量精度

### ③-1. 樹高－材積式による方法



中島式材積式

例:カラマツ

$$F1 = 0.435719 + 0.515867/H + 2.481278/H^2$$

$$F2 = 0.439004 + 0.916461/D - 0.073809/D^2$$

$$V = \pi(D/200)^2 \times H \times (F1 + F2) / 2$$

15

材積・炭素重量精度

### ③-1. 樹高－材積式による方法

| Plot Name | Observation Name | Pulse Density(m) | Carbon weight ( Ct / km <sup>2</sup> ) |     |
|-----------|------------------|------------------|--|-----|
|           |                  |                  | All                                    | %   |
| Plot A    | Truth            |                  | 4243                                   |     |
|           | Obs.O            | 1.44             | 1937                                   | 46% |
|           | Obs.A4           | 1.10             | 2409                                   | 57% |
|           | Obs.A6           | 0.96             | 2453                                   | 58% |
|           | Obs.A8           | 1.03             | 2559                                   | 60% |
|           | Obs.H            | 0.18             | 3446                                   | 81% |
| Plot B    | Truth            |                  | 4453                                   |     |
|           | Obs.O            | 1.44             | 1799                                   | 40% |
|           | Obs.A4           | 1.10             | 2432                                   | 55% |
|           | Obs.A6           | 0.96             | 2422                                   | 54% |
|           | Obs.A8           | 1.03             | 2572                                   | 58% |
|           | Obs.H            | 0.18             | 3086                                   | 69% |

• バルス密度を高くすると、捕捉率が上がる傾向

• 捕捉率は40%~80%程度

16

材積・炭素重量精度

### ③-3. 空中写真林分材積表<sup>3)</sup>による方法

- 空中写真より判読可能な樹高・本数などの要素、地形・傾斜・方位・土壌・温量指数などの地況要素から算出する材積表
- 林分タイプ(針広, 人天, 樹種), 地域別に調製
- 本研究では, 樹高・上層木本数・樹冠直径を使用

17

材積・炭素重量精度

### ③-3. 空中写真林分材積表による炭素重量計測結果

| Plot Name | Observation Name | Pulse Density(m)        | Method of estimation    | Carbon weight (tC/km <sup>2</sup> ) (%) |     |
|-----------|------------------|-------------------------|-------------------------|---|-----|
|           |                  |                         |                         | Carbon weight (tC/km <sup>2</sup> )     | (%) |
| Plot B    | Truth            |                         |                         | 4453                                    |     |
|           | Obs. O           | 1.44                    | Tree Height             | 3523                                    | 79% |
|           |                  |                         | +Number of Canopy Trees | 3449                                    | 77% |
|           |                  |                         | +Diameter of Tree Crown | 2781                                    | 62% |
|           | Obs. A4          | 1.10                    | Tree Height             | 3523                                    | 79% |
|           |                  |                         | +Number of Canopy Trees | 3449                                    | 77% |
|           |                  | +Diameter of Tree Crown | 3738                    | 84%                                     |     |
| Obs. A6   | 0.96             | Tree Height             | 3523                    | 79%                                     |     |
|           |                  | +Number of Canopy Trees | 3449                    | 77%                                     |     |
|           |                  | +Diameter of Tree Crown | 3738                    | 84%                                     |     |
| Obs. A8   | 1.03             | Tree Height             | 3523                    | 79%                                     |     |
|           |                  | +Number of Canopy Trees | 3449                    | 77%                                     |     |
|           |                  | +Diameter of Tree Crown | 3738                    | 84%                                     |     |
| Obs. H    | 0.18             | Tree Height             | 3523                    | 79%                                     |     |
|           |                  | +Number of Canopy Trees | 3449                    | 77%                                     |     |
|           |                  | +Diameter of Tree Crown | 3738                    | 84%                                     |     |

• Obs.O以外捕捉率は80%程度

18

## 結論

- ① 樹高計測誤差はSD±90cm程度
  - プロット調査の樹高計測手法の問題の可能性
- ② 上層木の樹冠抽出は可能
  - 上層木の成長モニタリングに利用できる可能性
- ③ 炭素重量算出手法について
  - 1. 樹高曲線ーパルス密度が高い場合なら捕捉率良
  - 2. 空中写真林分材積表ー比較的安定して捕捉率良

19

## 課題

- 下層木の抽出精度の向上
- 空中写真林分材積表の発展
  - 上層木の情報と、地況を用いた推定精度向上

20

## Ⅱ. 空中写真ステレオマッチングによる森林の動態の推定<sup>(4)</sup>

### 課題

- 森林、特に天然林の齢構成や変化を森林簿などのインベントリで把握することは困難
- 過去も含めた森林の**特徴抽出**手法の確立が必要

1940年代後半～  
約5年毎

日本全国  
数十cm解像度

時間スケール、空間スケールの観点から  
空中写真を扱う以外に方法が無い

21

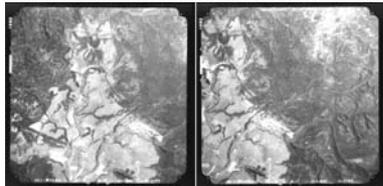
### 目的

- 空中写真による天然林特徴抽出を行う
  - 天然林の経年変化の抽出
  - 回転時間の抽出
  - バイオマス量の抽出
- 自動化・大量処理に向けた手法を開発
  - 判読 → デジタル写真測量

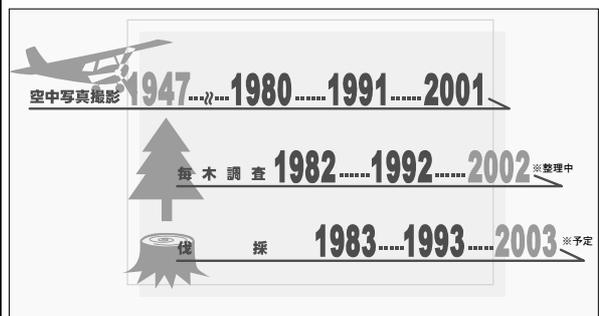
22

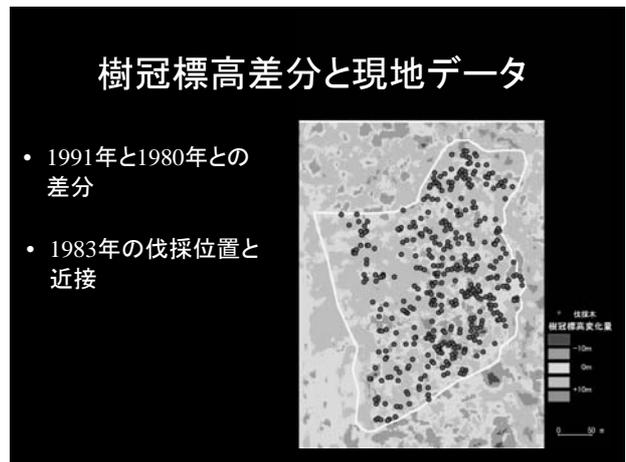
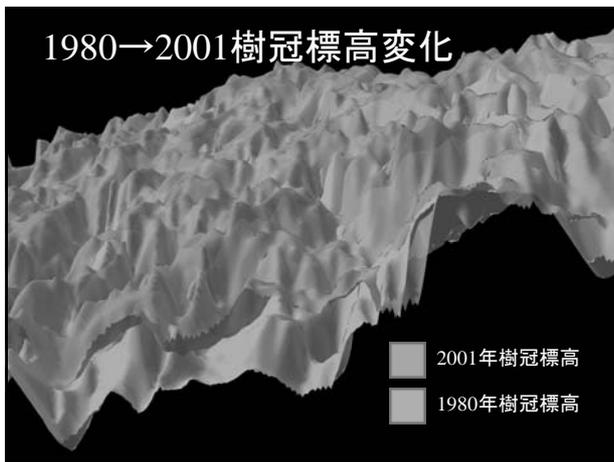
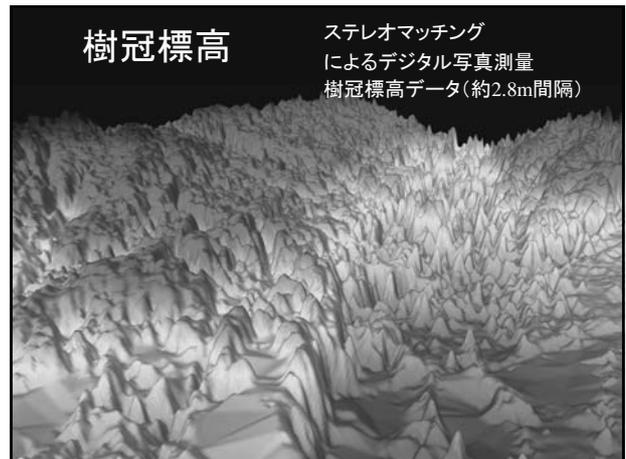
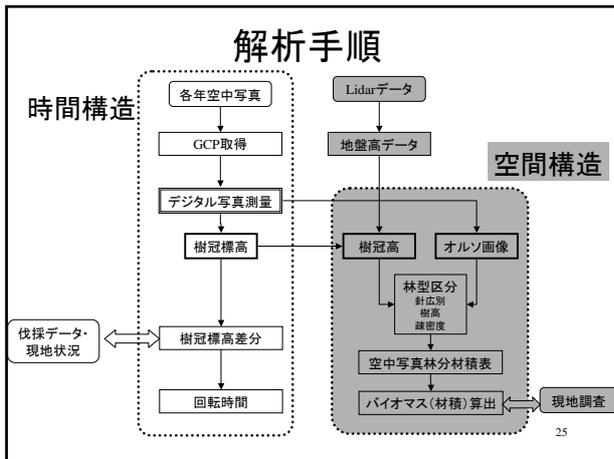
## 空中写真ステレオマッチング手順

- 空中写真をスキャン
  - 写真フィルム(1:20,000)を20μmでスキャン→約40cmの分解能
- デジタル写真測量ワークステーション
  - ERDAS OrthoBase Pro
  - 森林基本図やレーザプロファイラ等を基に写真上にGCPをとる
  - 2枚の写真間で画素のマッチングが自動的に行われ、標高が算出される



## 空中写真・地上調査・伐採の時期





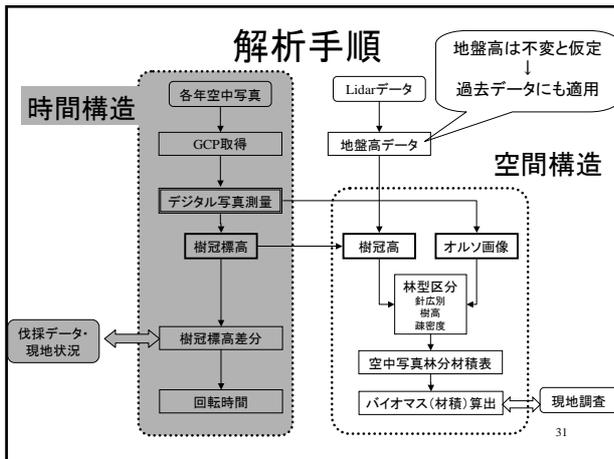
### 回転時間(1980-2001年)

- 回転時間の算出
  - 一年あたりの樹冠消失面積
  - 一年あたりの更新面積
  - 対象地面積が全て入れ替わる時間
- 原生林での回転時間の事例
  - 針広混交林 100~200年<sup>5)</sup>
  - ミズナラ林 約100年<sup>6)</sup>

⇒ 施業によって回転時間が早くなっている可能性

| 期間               | 80~01     |
|------------------|-----------|
| 調査対象面積 (ha)      | 8.806     |
| 林冠消失面積 (ha/year) | 0.092     |
| 回転時間 (year)      | <b>96</b> |
| 更新面積 (ha/year)   | 0.097     |
| 回転時間 (year)      | <b>91</b> |

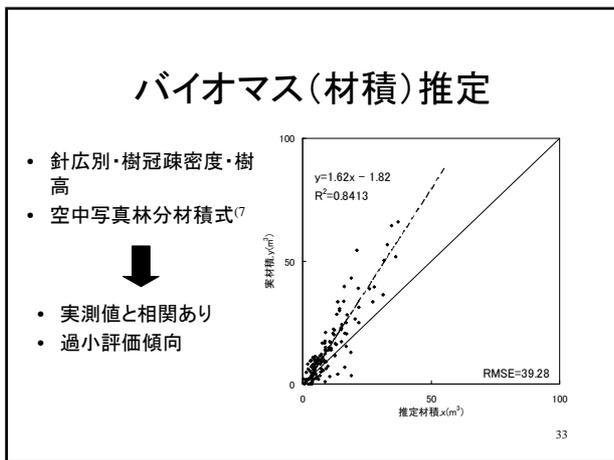
30



### 林型区分

- オルソ画像の輝度
- 樹冠高データ
- 等質な集合に区分
- 針・広・針広別判別

林型 ■ 針葉樹 ■ 針広混交 ■ 広葉樹  
 現地調査 ● 針葉樹 ● 広葉樹



- ### 結果
- 複数時期の空中写真から抽出した樹冠高の変化を求めると、択伐・造林などの施業を検出することができた。
  - 回転時間を試算し、妥当な値が算出された。
  - 天然林を自動的に林型区分し材積推定を試み可能性が示された。

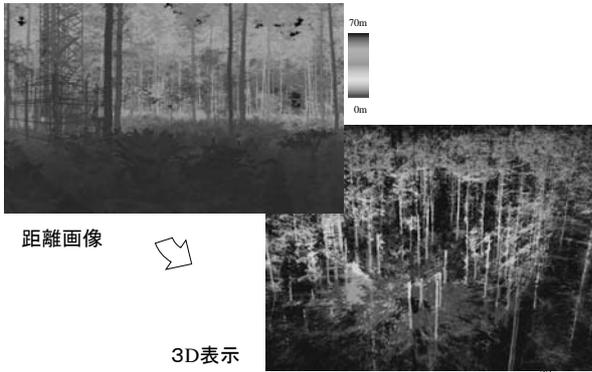
- ### 課題
- 課題
- #### 精度検証の実施
- 標高変化の絶対精度の評価
    - (現地調査の精度向上)
  - 検証プロットの多様化・大面積化
  - 多様な森林タイプへの対応
  - バイオマス推定精度の向上
    - (空中写真林分材積表の調製)

### Ⅲ. 地上レーザプロファイラを用いた森林バイオマスの推定<sup>(8)(9)</sup>

- 地上レーザプロファイラ
  - Lidarを回転台や回転装置に取り付け、多くの座標データを計測できるようにした装置で、小型で三脚等に設置して使用するもの。他に、地上設置型レーザライダーや可搬型Scanning Lidar等の呼び名がある

- RIEGL LMS-Z210
  - 位置精度 ±25mm
  - 測定範囲 2m-50m(250m)
  - 視野角 80° × 330°
  - 角度ステップ 0.072°
  - 計測時間 最大約16分

### 計測結果事例

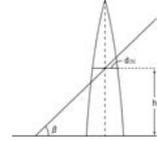


距離画像

3D表示

### 炭素重量推定方法

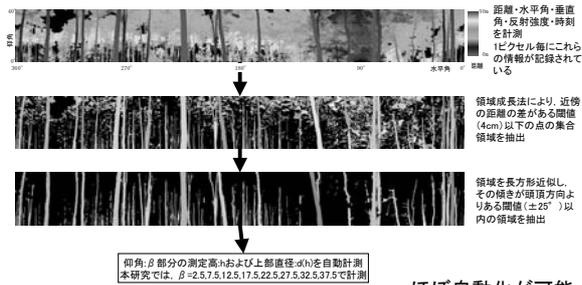
- 箕輪の「上部直径にもとづく林分材積の推定法」<sup>[12]</sup>により材積を算出
  - ビッターリッヒ法の拡張
  - ある点で、一定の仰角  $\beta$  で全周囲を見通し、見えた立木の切断径  $d(h)$  と切断高  $h$  を測定することで、直接林分材積を推定する



$$V = \sum v = \frac{T}{8 \cot^2 \beta} \cdot \sum E \left( \frac{d^2(h)}{h} \right)$$

V: 全林材積 v: 当該林木の幹材積  
T: 全林面積 N: 立木本数  
H: 切断高 d(h): 切断径

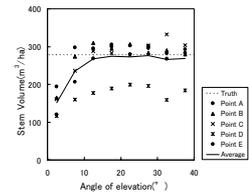
### 画像処理



ほぼ自動化が可能

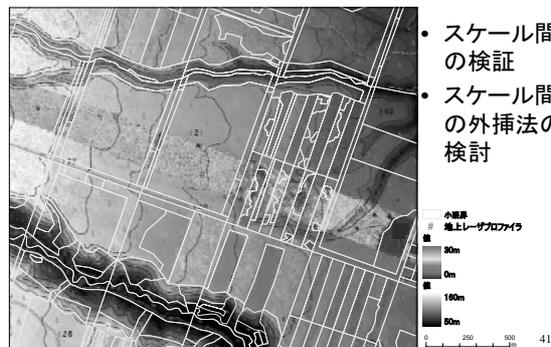
### 計測結果

- 推定誤差3.3%と高い精度で推定可能
- 不可視木が多い林分では、任意の仰角を選択または平均することで対応可能
- 林内5カ所での計測の場合3時間以内に外業を終えることができる。
- 内業の大幅な簡素化が可能



### 終わりに

各スケールのGIS上での重ねあわせ



- スケール間の検証
- スケール間の外挿法の検討

### 参考文献

- 1) 米 康充, 小熊宏之, 山形与志樹: 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発-航空機Lidarによるカラマツ林の樹冠計測と材積・炭素重量計測精度の検証-, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp. 531-543, 2002.
- 2) 松本光朗: 日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量, 森林科学, 33, pp. 30-36, 2001.
- 3) 渡辺 宏: 最新森林航測テキストブック, 日本林業技術協会, 東京, 1993.
- 4) 米 康充, 小熊宏之, 守田英明, 金子潔: 空中写真を用いた天然林特徴抽出手法の研究, 日本写真測量学会平成15年度年次学術講演会発表論文集, pp. 31-32, 2003.
- 5) 米 康充, 笹 賀一郎: 北海道北部天然林における更新様式-数十年, 数十haスケールでの解析-, 北海道大学農学部演習林研究報告, 53(2), pp. 297-330, 1996.
- 6) 佐野淳之: 群落構造の解析による天然生ミズナラ林の更新様式に関する研究, 北海道大学農学部演習林研究報告, 45(1), pp. 221-266, 1988.
- 7) 魚住信司: 航空写真による中川地方演習林の蓄積査定, 北海道大学卒業論文, pp.55, 1966.
- 8) 米 康充, 小熊宏之, 山形与志樹: 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発-地上レーザースキャナによる天群モデルを用いた計測手法の検討-, 森林計画学会誌, 37(1), pp. 21-30, 2003.
- 9) 米 康充, 小熊宏之: 地上レーザースキャナを用いた森林計測手法の検討, 日林学術誌, 114, pp. 445-446, 2003.