

森林の3次元構造リモートセンシングと 生態系プロセスモデルの統合 に関する研究

Integration of remote sensing of three-dimensional forest structure
with a process-based ecosystem model

田口 仁

ragchan@iis.t.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院 工学系研究科

社会基盤学専攻 博士3年

研究の背景 1

- ✦ 持続可能な森林管理の必要性
 - ✦ 森林生態系を維持し，森林への社会的ニーズや多面的機能を満たす，森林管理が必要とされている
- ✦ 森林への社会的ニーズとして，二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の予測への関心の高まり
 - ✦ 分野：京都議定書，炭素循環研究，森林管理など
 - ✦ 森林管理の区画単位程度の空間精度で広域な将来予測が必要とされている

森林を**広域に把握してデータを取得し，予測モデルに基づいて，二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測**を行う必要がある

研究の背景 2

- ✦ 森林の3次元構造を広域に把握する必要性
 - 樹木のサイズ（樹高，胸高直径）：成長段階
 - 樹木のバイオマス：炭素貯蔵量
 - ✦ 森林を構成する単木レベルの調査が必要
- ✦ リモートセンシングの3次元計測技術の必要性
 - ✦ 単木抽出，樹高から単木レベルの推定が可能
 - ✦ 広域かつ均質な単木レベルの調査が可能
- ✦ 生態系プロセスモデルによる予測の必要性
 - ✦ 森林を生態系として扱った予測が可能

1. リモートセンシングから森林の3次元構造を抽出

2. 生態系プロセスモデルを利用した将来予測

2つの技術を統合する必要

本研究の目的，新規性

目的：

- リモートセンシング (LiDAR, ALOS/PRISM, 空中写真) から森林の3次元構造を抽出し，生態系プロセスモデルと統合し，広域な二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測を行う手法を開発する

新規性：

- 森林の3次元構造の有効性に着目した
- 地域スケール (数キロ～数十キロ) における，森林の広域な二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量を予測した
- リモートセンシングの3次元計測技術を利用し，森林の3次元構造データ抽出手法を新たに開発した
- 森林の3次元構造データと生態系プロセスモデルの統合，という新しい統合手法を開発した

本研究の構成

統合のための研究の方法論と流れ

- 最適な生態系プロセスモデルの検討
- 生態系プロセスモデルとの統合の枠組みの検討
- リモートセンシングによる森林の3次元構造抽出のための研究の方法論
 - LiDARデータ, ALOS/PRISMデータ, 空中写真

森林の3次元構造データの抽出手法の開発

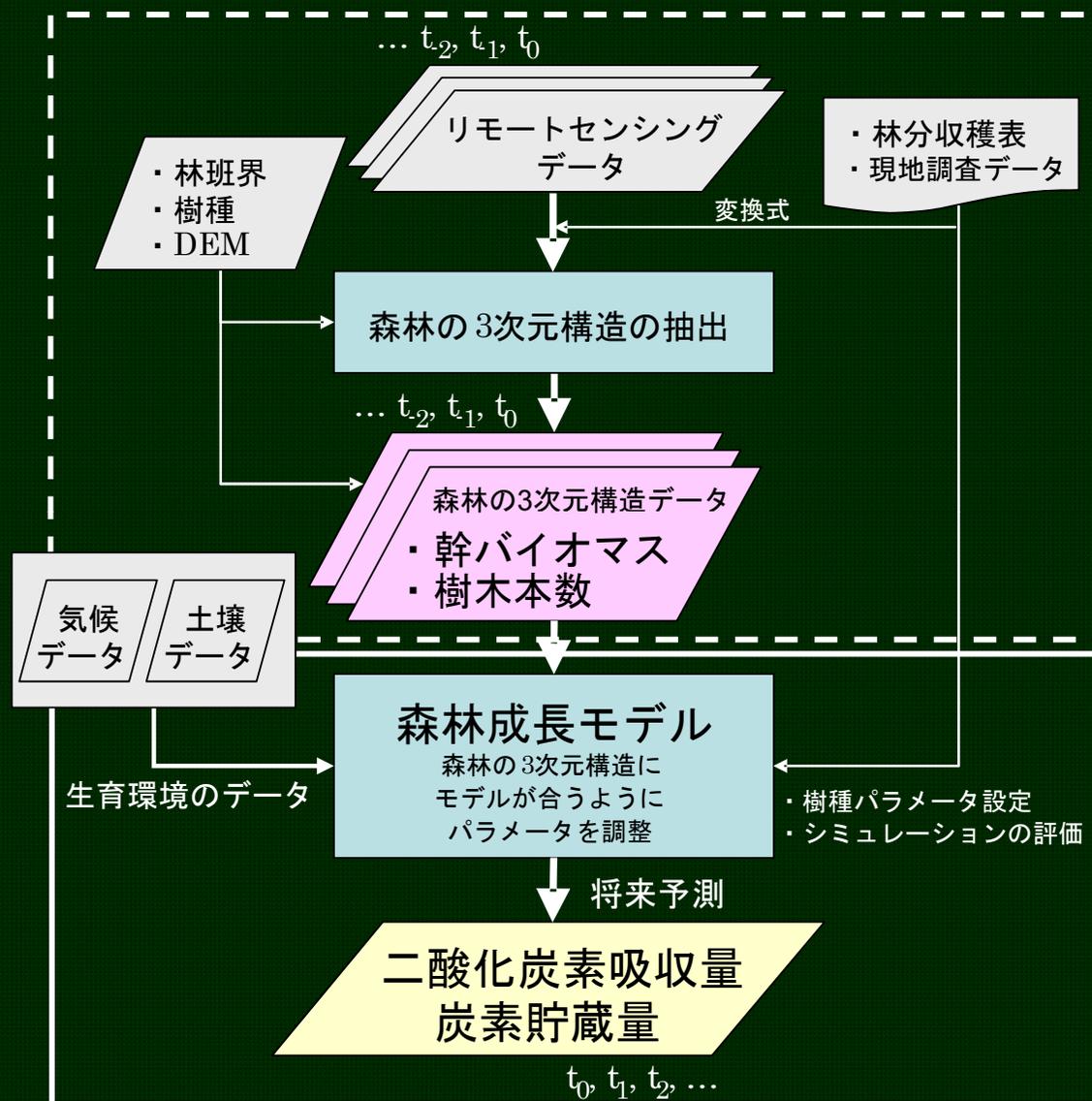
1. 点群密度の高いLiDARデータ
2. ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータ
3. 多時期の空中写真

生態系プロセスモデルとの統合手法の開発

- 点群密度の高いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合
- ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合

研究のまとめと今後の課題・展望

統合による将来予測の枠組み



単木レベルの森林の3次元構造データ (林班単位)

- ・ 幹バイオマス
- ・ 立木密度 (樹木本数)

生態系プロセスモデルとして 森林成長モデル を採用

計測時の森林の3次元構造と一致するようにシミュレート

パラメータ調整を行い、モデルと抽出データを一致させる

森林成長モデルを用いて計測時の森林の3次元構造データと一致 (再現) させた後に、**将来予測**を行う

2種類の統合手法

森林の3次元構造データは2種類ある

抽出元のデータ	1 <u>単木データ</u>	2 <u>Digital Canopy Model</u>
精度	高 個々の樹木	低 林班の平均的な樹木
(現状の) 広域性	10km以下	10km以上
入手コスト	高い	低い



DCM

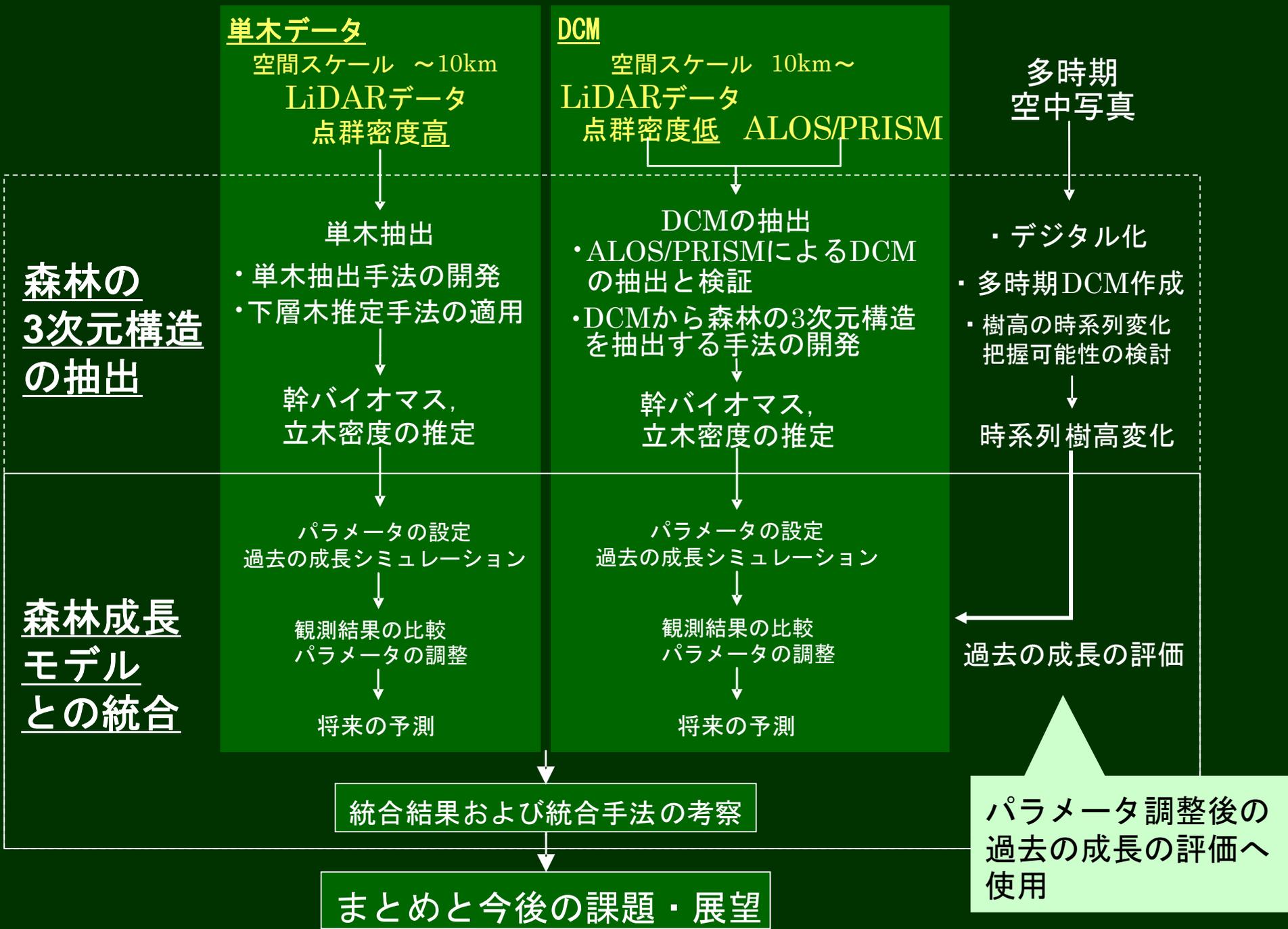
広域 & 低コストに将来予測を行う場合に有効

単木データ

高精度な将来予測を行う場合に有効

統合の枠組みを基に、**2種類のデータ**に対して、統合手法を適用する必要がある

研究の流れ



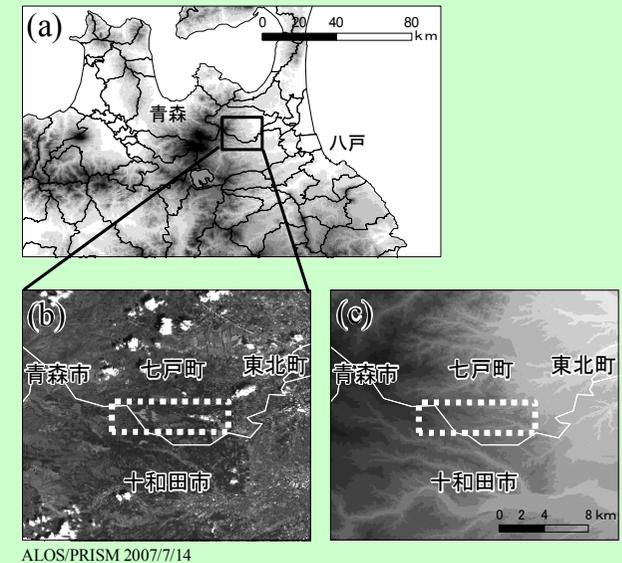
テストエリアと使用データ

- 2種類の統合手法を開発すること，異なる地形や気候となるよう，2つのテストエリアを設定

1. 青森県七戸町周辺

樹種：スギ

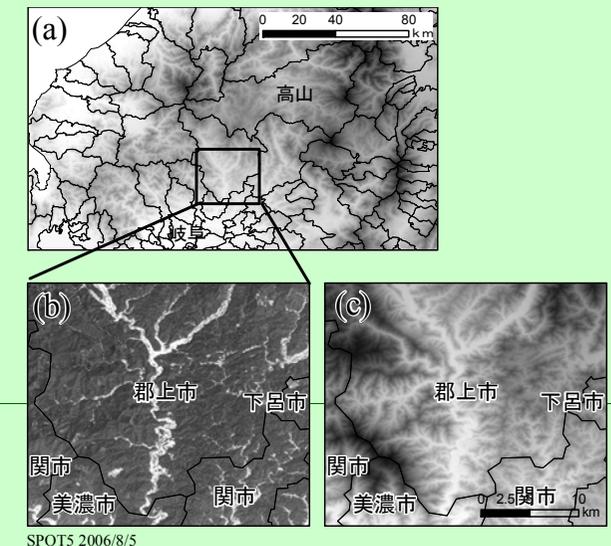
- 空中写真
- 点群密度の高いLiDARデータ
- ALOS/PRISMデータ
- 現地調査，林分収穫表，森林計画図
- 地形：台地



2. 岐阜県郡上市周辺

樹種：スギ, ヒノキ

- 空中写真
- 点群密度の低いLiDARデータ
- ALOS/PRISMデータ
- 林分収穫表，森林計画図，森林簿
- 地形：山地



本研究の構成

統合のための研究の方法論と流れ

- 最適な生態系プロセスモデルの検討
- 生態系プロセスモデルとの統合の枠組みの検討
- リモートセンシングによる森林の3次元構造抽出のための研究の方法論
 - LiDARデータ, ALOS/PRISMデータ, 空中写真

森林の3次元構造データの抽出手法の開発

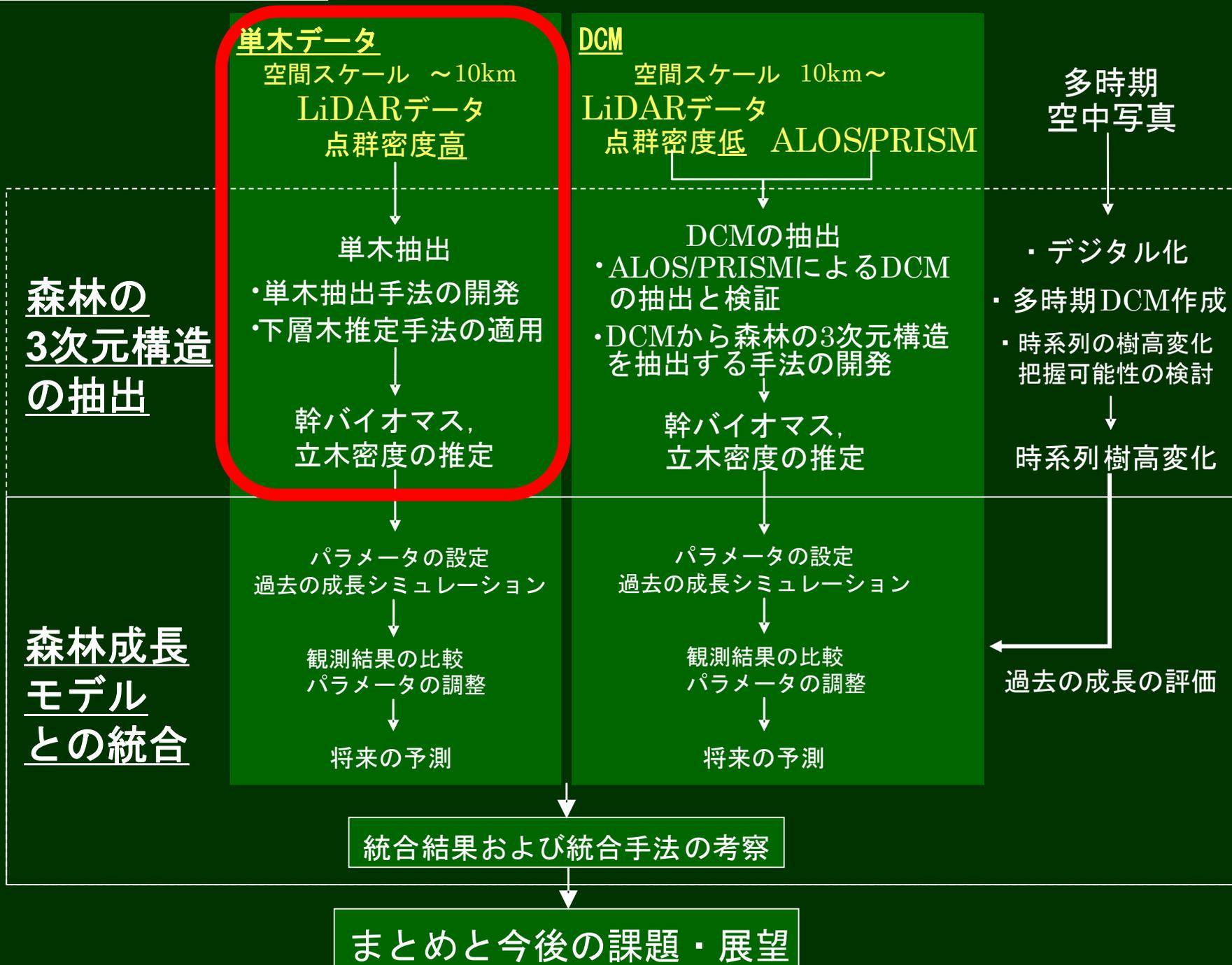
1. 点群密度の高いLiDARデータ（単木データ）
2. ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータ（DCM）
3. 多時期の空中写真

生態系プロセスモデルとの統合手法の開発

- 点群密度の高いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合
- ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合

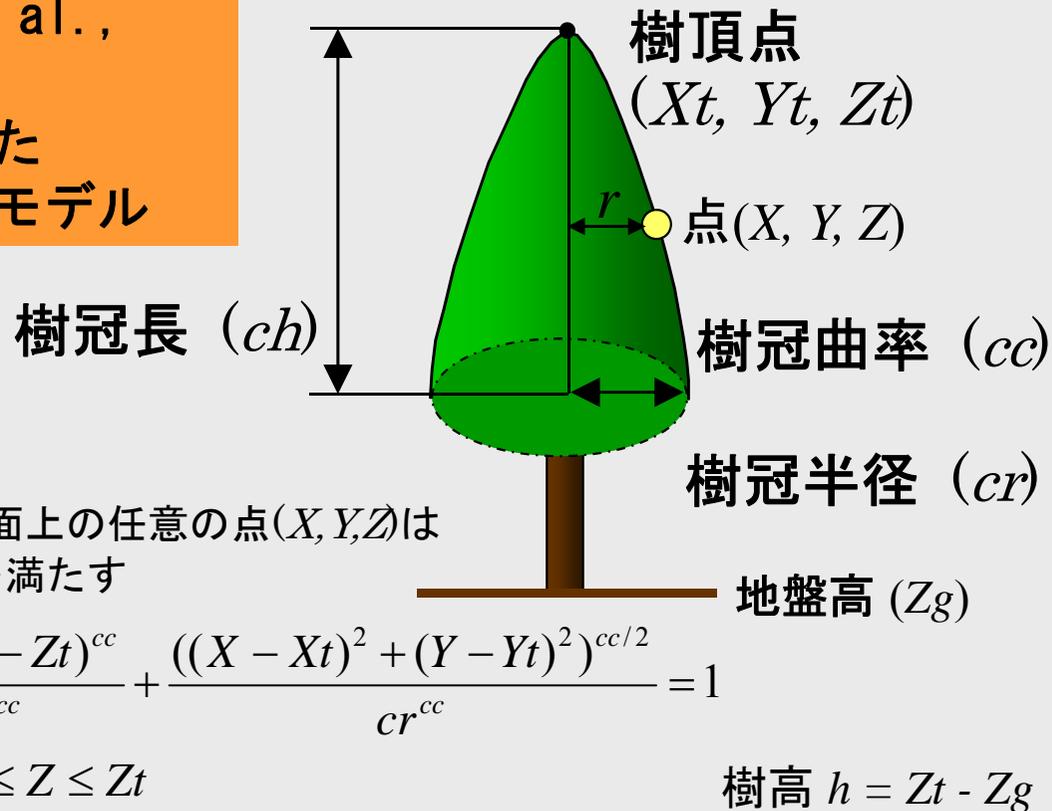
研究のまとめと今後の課題・展望

研究の流れ

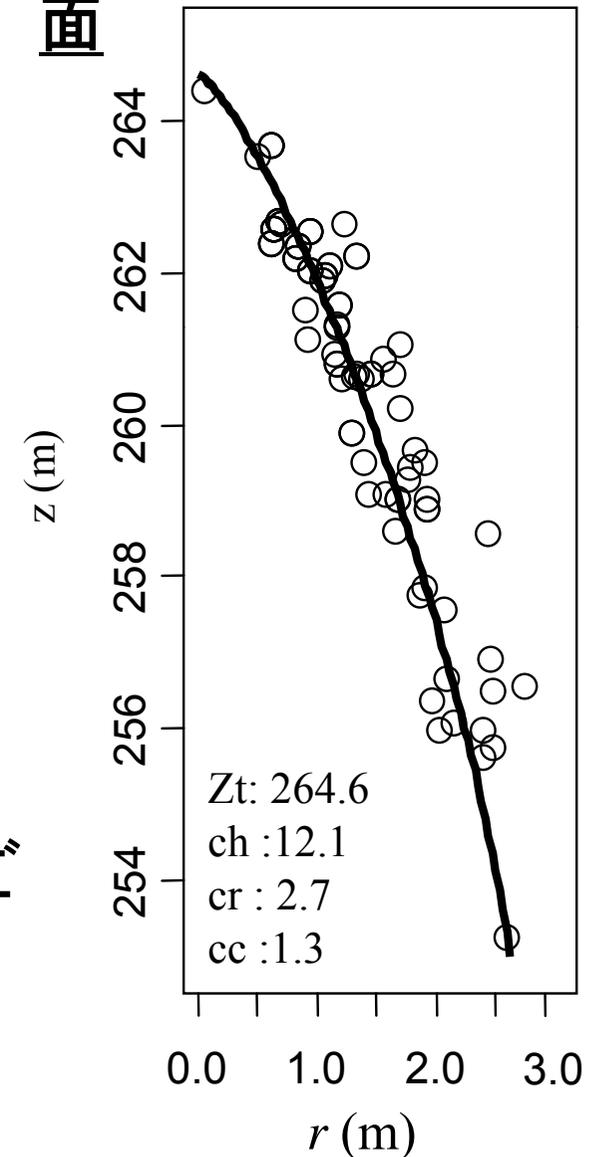


樹冠形状モデルに基づいた点群密度の高い LiDARデータによる単木抽出

Sheng et al.,
(2001)
が提案した
樹冠形状モデル



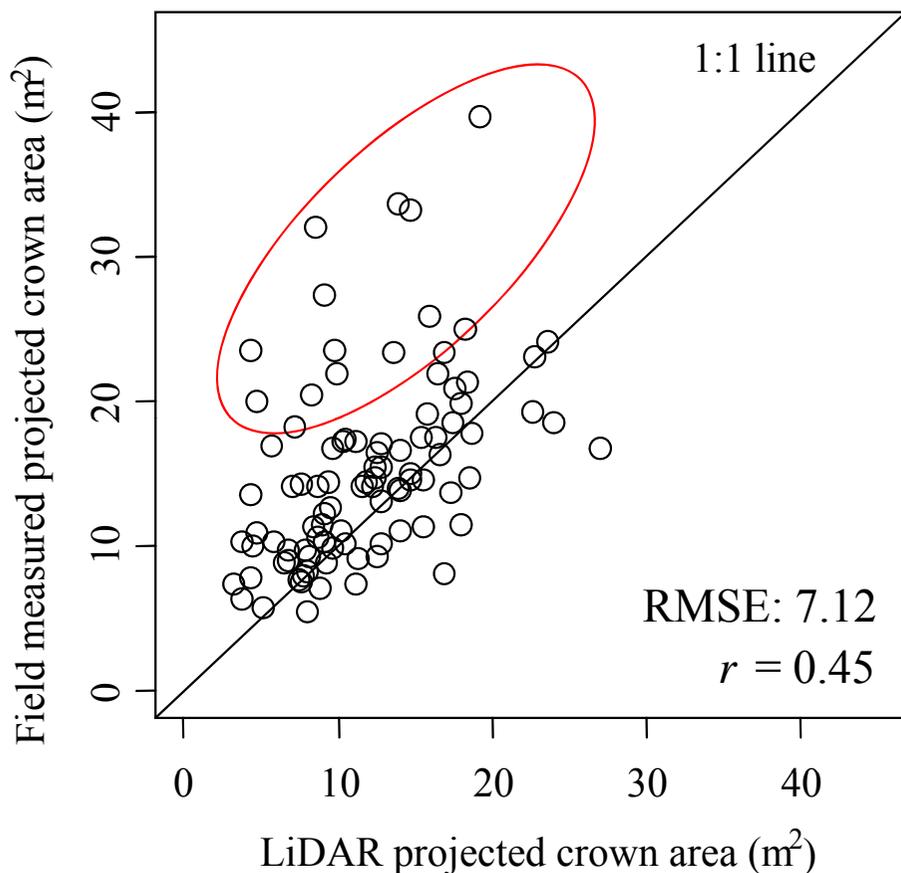
抽出された樹冠曲面



- 樹冠表面を構成するLiDAR点群から単木ごとにパラメータを抽出
- ヒットしていない樹頂点を推定し、樹高推定の過小評価を克服する

現地調査データとの比較

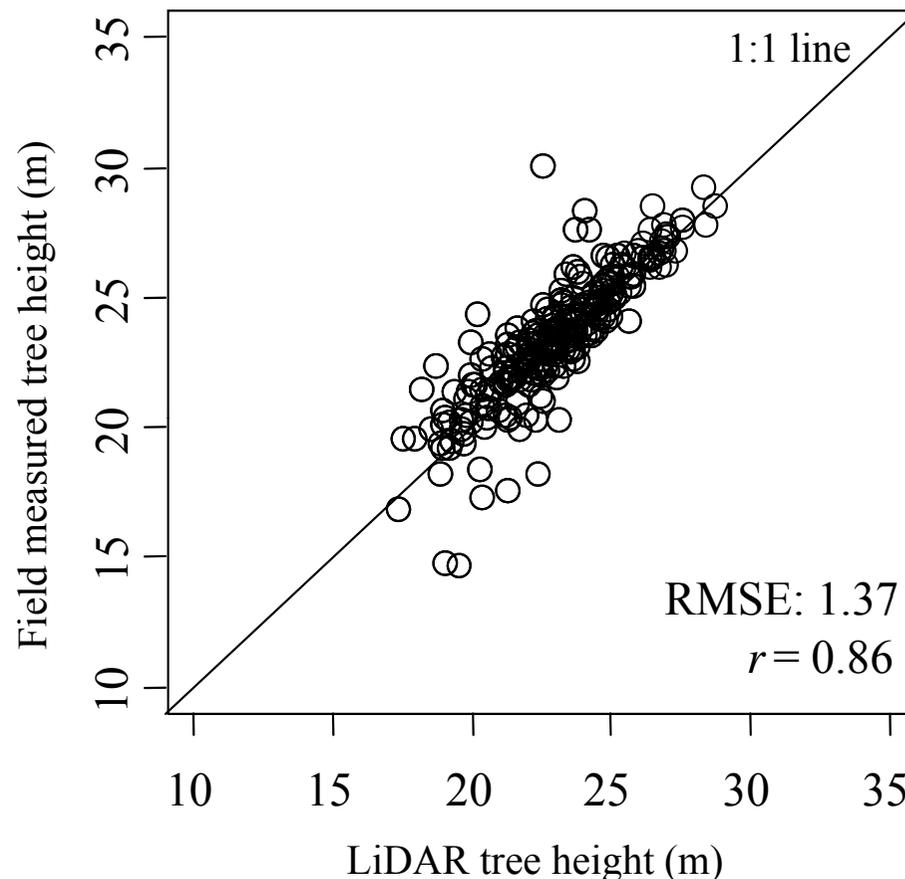
樹冠投影面積の検証



- 一部過小推定(赤円内)だが、ほとんどの樹木は1:1ライン上にプロット

樹冠形状モデルとパラメータに基づき樹冠領域が適切に再現

樹高推定結果の検証



- 平均誤差 (実測 - 抽出)
 - 1.41 m → 0.42 m
 - 従来手法 本手法

樹高の過小推定が1m軽減

MNY法 (Hozumi, 1971) による樹冠閉鎖林班における未抽出樹木の推定

現地調査プロットにおけるMNY法の適用結果 ※樹高→DBH→幹バイオマスへ変換

Plot	植栽年	(1) 現地調査				(2) LiDAR			(3) MNY法	
		平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	立木密度 (本/ha)	幹バイオマス (t/ha)	平均樹高 (m)	立木密度 (本/ha)	幹バイオマス (t/ha)	立木密度 (本/ha)	幹バイオマス (t/ha)
1	1960	22.3	28.5	1088	239.1	22.7	897	182.7	1229	232.1
2	1955	21.0	26.5	1146	206.2	19.9	963	131.1	1190	162.0
3*	1960	25.7	33.8	530	187.7	24.9	528	175.3	----	----
4	1987	6.8	10.6	1965	30.4	6.5	1162	13.6	3943	28.8

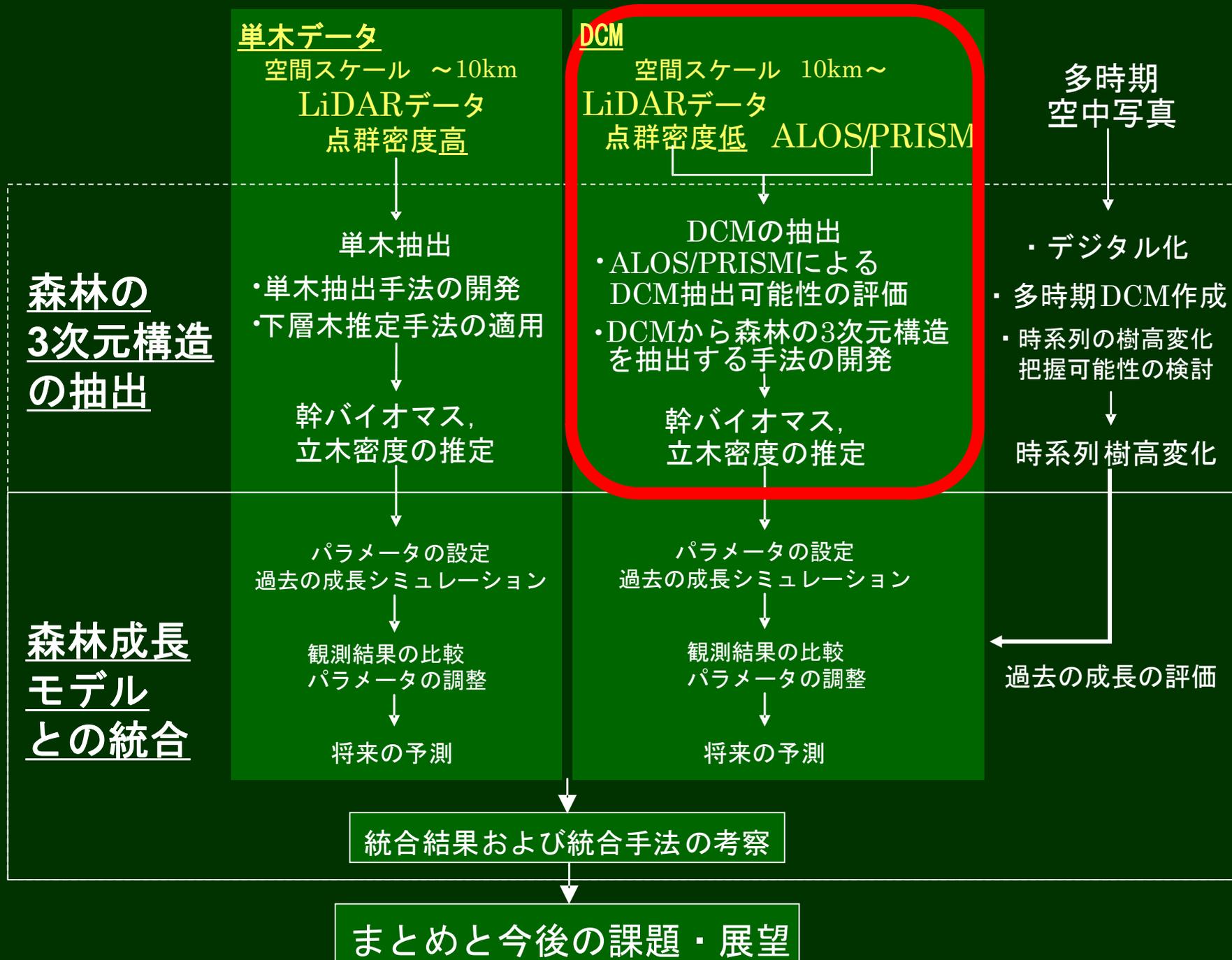
*Plot 3は樹冠未閉鎖林分なため、下層木推定手法を適用せず。

誤差率9.1%

- 樹冠が閉鎖していない林班は、現地調査と一致 (Plot 3)
- LiDARデータの単木抽出結果のみでは立木密度と幹バイオマスは過小推定 (Plot 1, 2, 4)

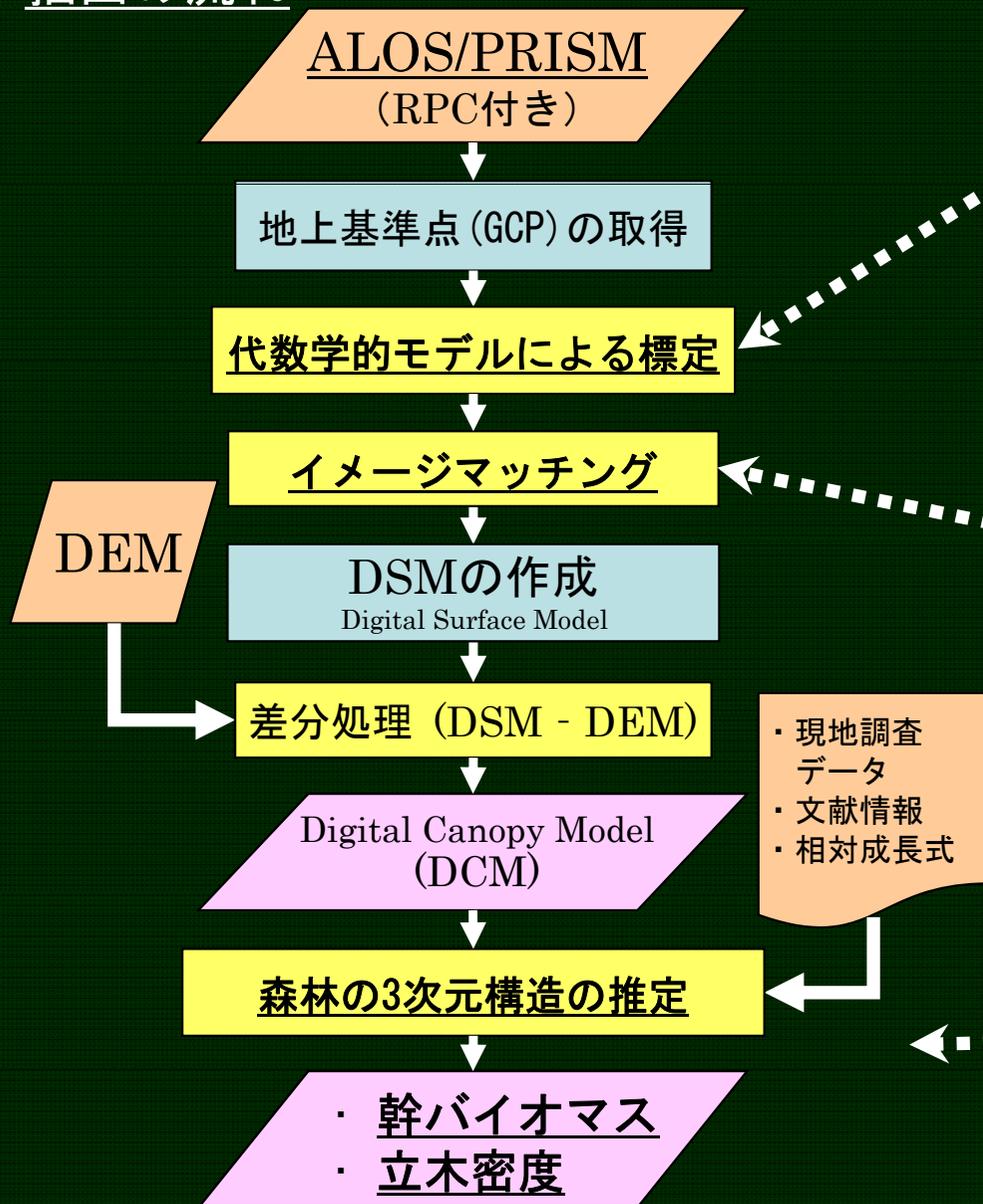
樹冠が閉鎖した林班では、MNY法により幹バイオマスと立木密度の過小推定を軽減できた

研究の流れ



ALOS/PRISMデータによる森林の3次元構造データ抽出の流れ

抽出の流れ



代数学的モデルによる標定

- 有理多項式係数 (RPC) ファイルの利用
- GCPを用いてRPCを補正

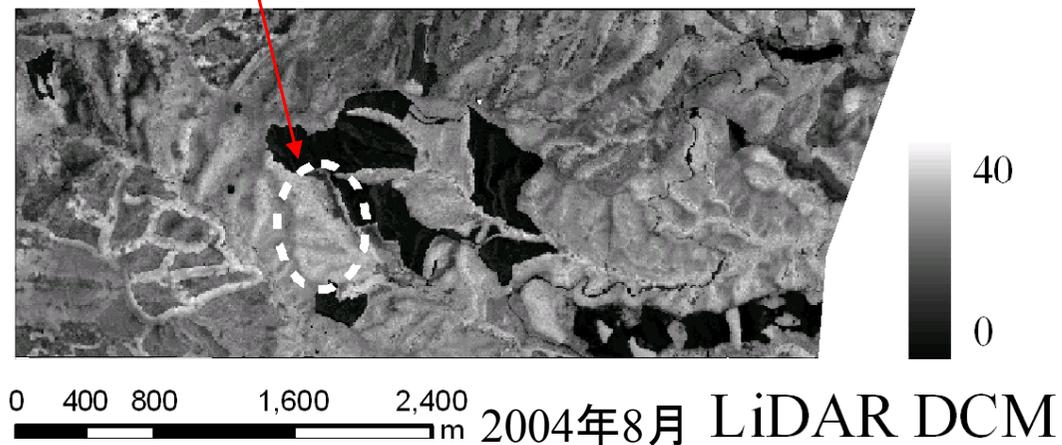
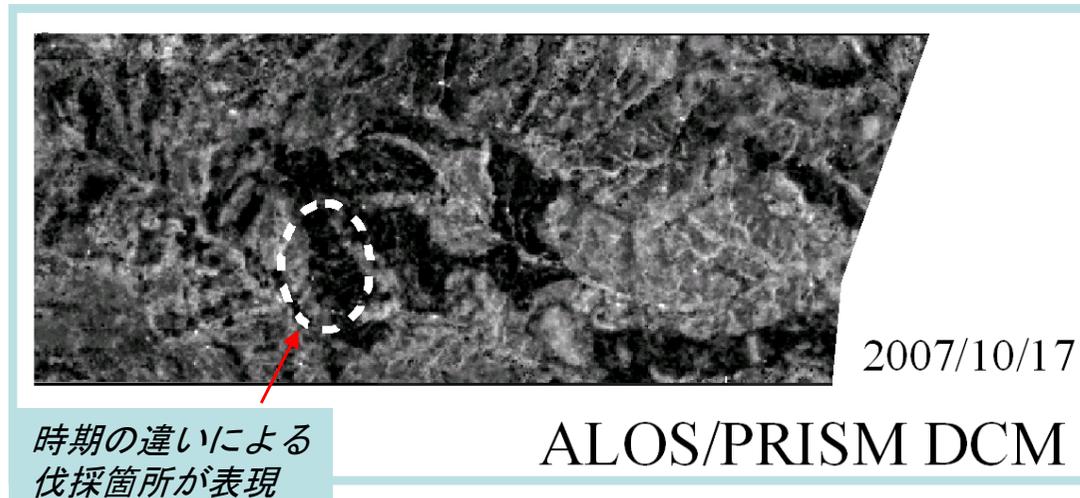
イメージマッチングによるDSMの作成

- Zhang & Grün (2006) のマッチング手法を採用

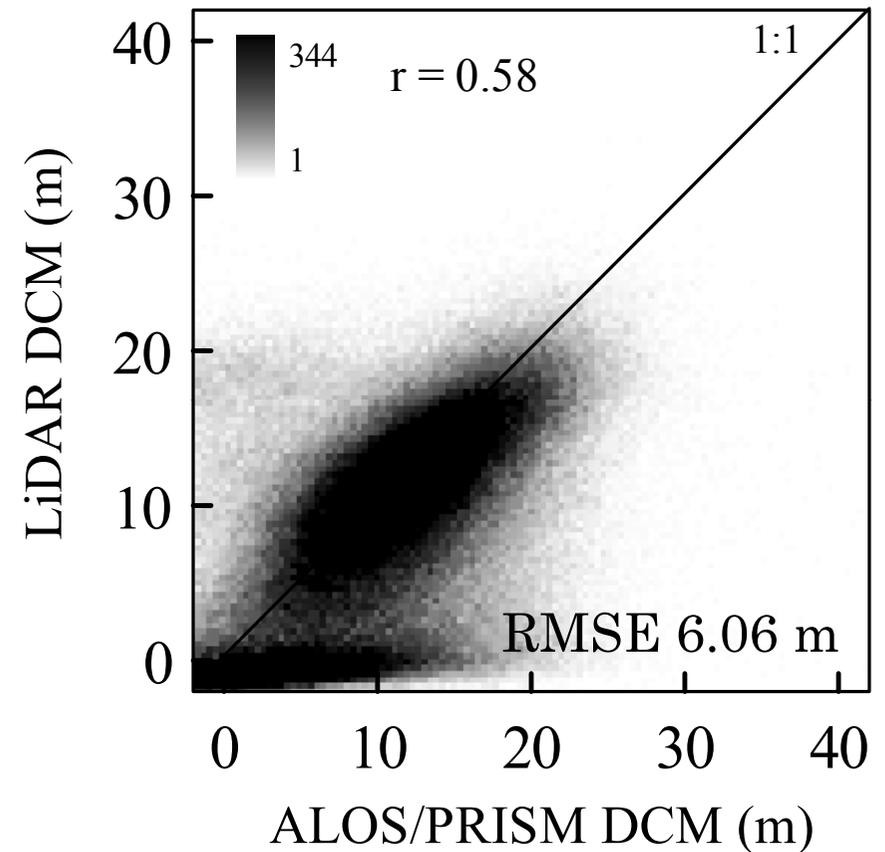
DCMから林班ごとに樹高を推定

現地調査や既存の情報から3次元構造へ変換

DCM作成結果と検証 2方向視@青森県七戸町



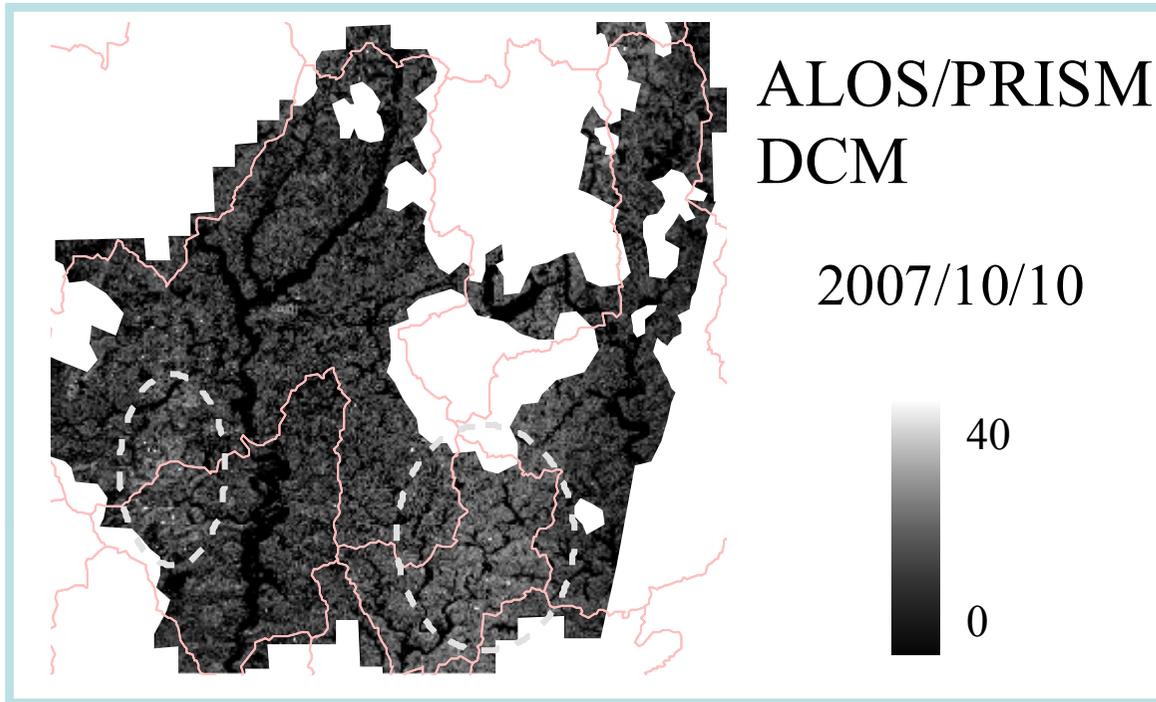
ALOSとLiDARの散布図



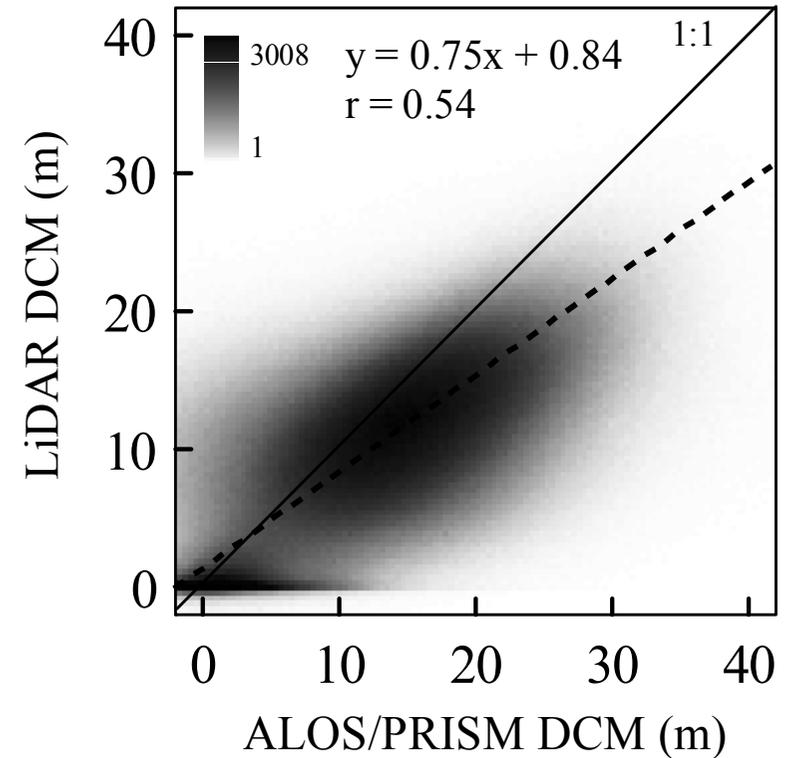
- パッチ上にマッチングのエラーが見られる
- 散布図では1:1にプロットされる傾向

ALOS/PRISMによるDCM（青森県七戸町）は、LiDARデータとの比較でRMSEが6m程度の精度である

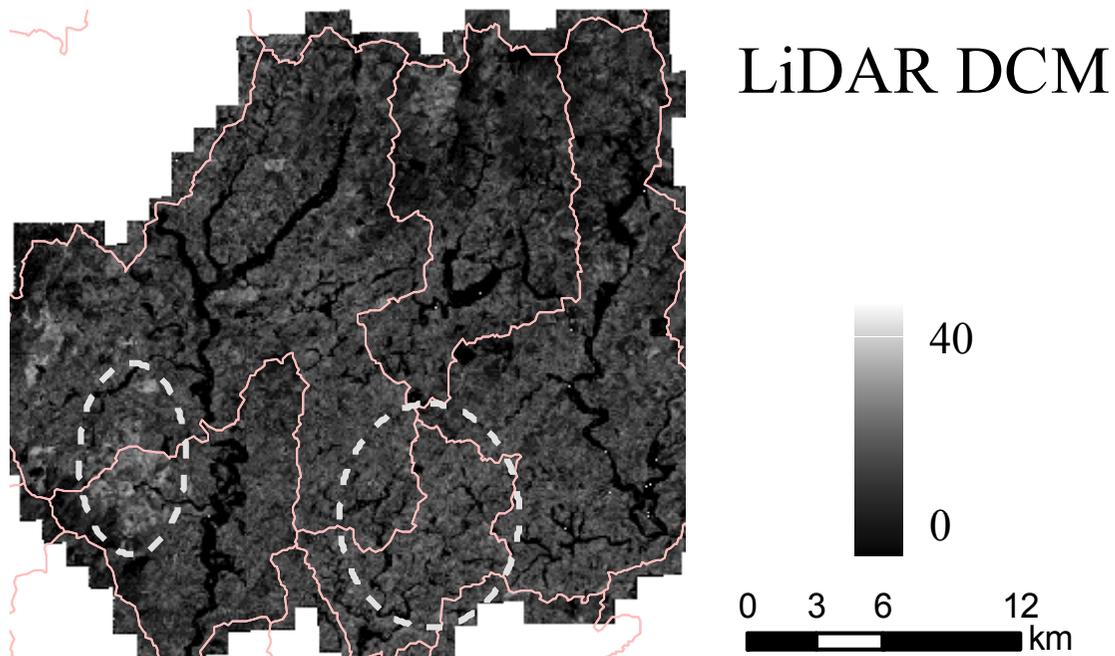
DCM作成結果と検証 2方向視@岐阜県郡上市



ALOSとLiDARの散布図

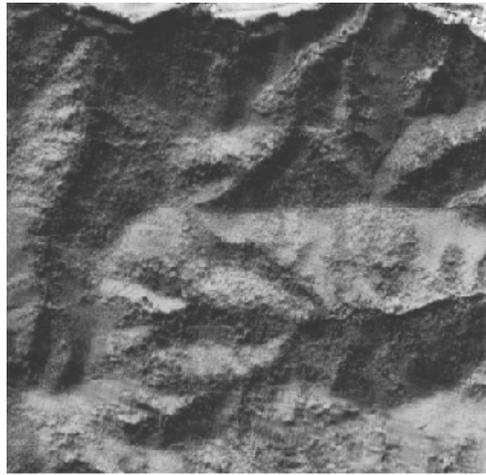


- ALOS/PRISMのDCMがやや過大推定
- 位置ずれや地形による陰影の影響
- 線形回帰式による補正
- RMSE 5.64 m

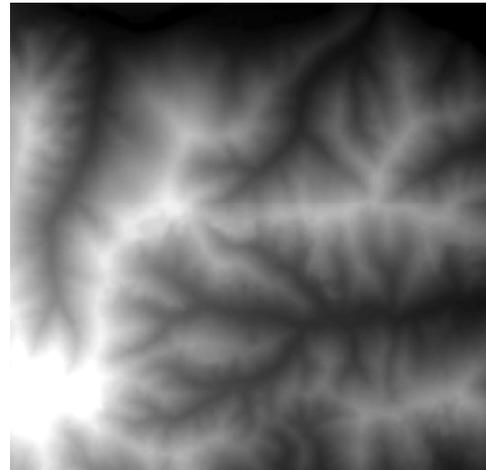


DCM作成結果と検証 2方向視@岐阜県郡上市

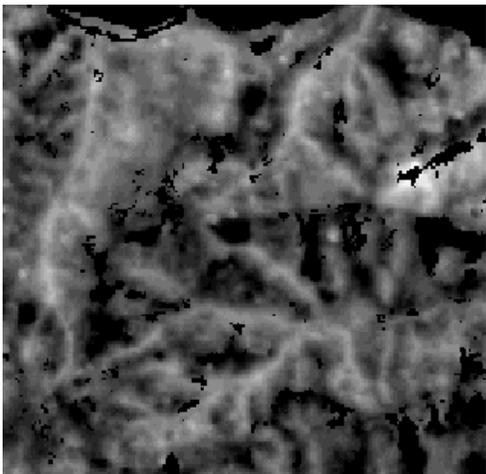
抽出結果の拡大（補正後）



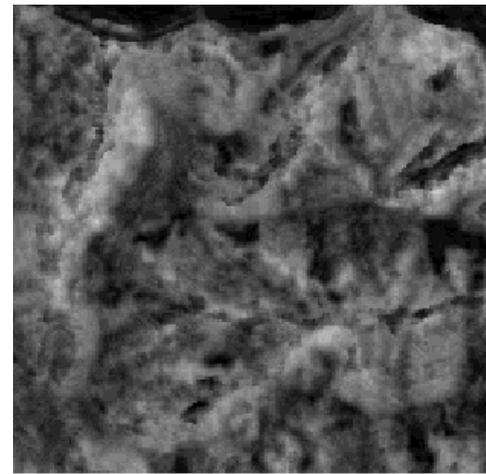
ALOS/PRISM Ortho



DEM



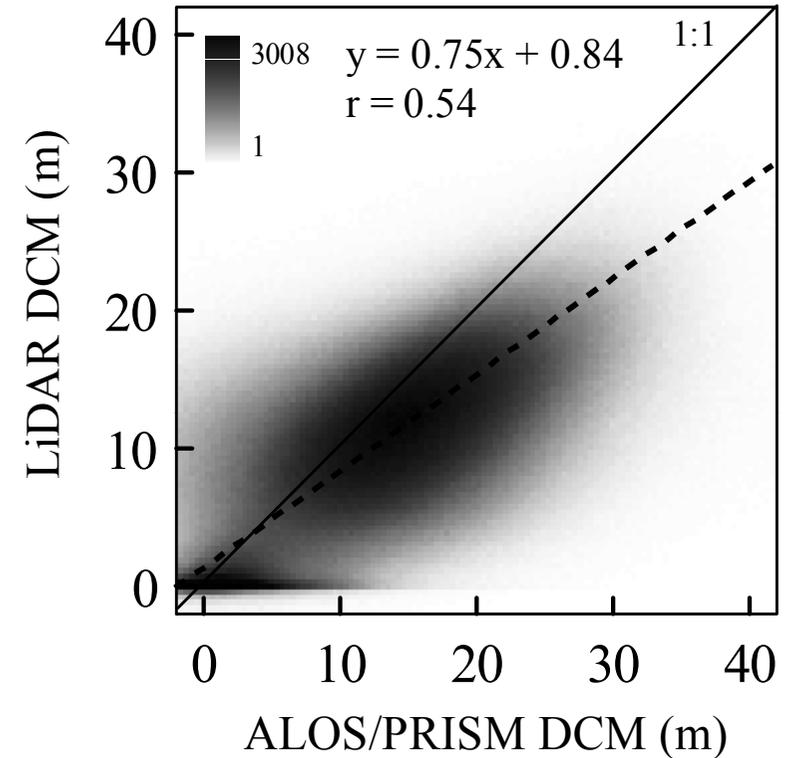
ALOS/PRISM DCM



LiDAR DCM

0 250 500 1,000
m

ALOSとLiDARの散布図



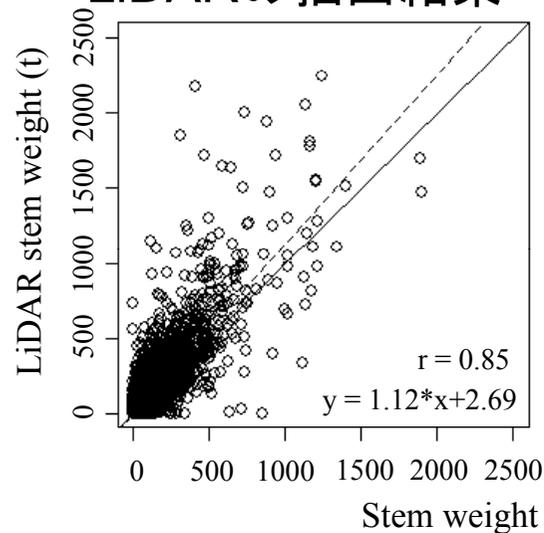
岐阜県郡上市のDCMも
RMSEは5~6m程度の精度
である

ただし、他のDCMによる補正が
必要な可能性あり

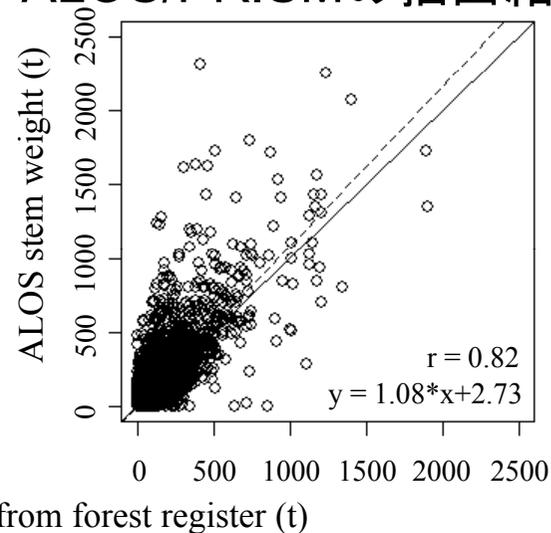
DCMによる森林の3次元構造データの抽出 結果と評価

森林簿との比較結果（幹バイオマス）

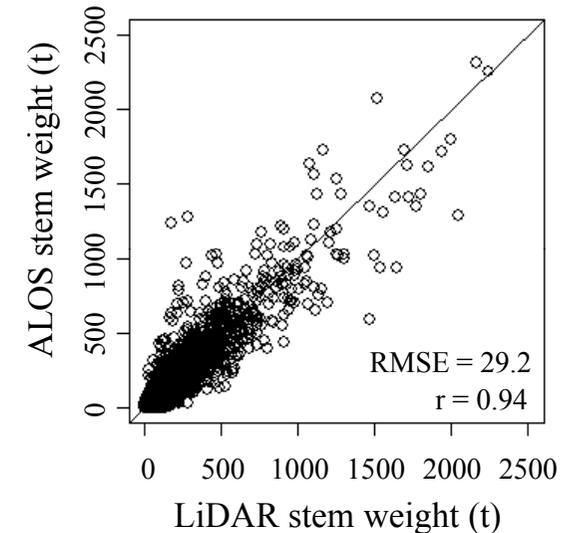
LiDARの抽出結果



ALOS/PRISMの抽出結果



LiDARとALOSの比較 （幹バイオマス）

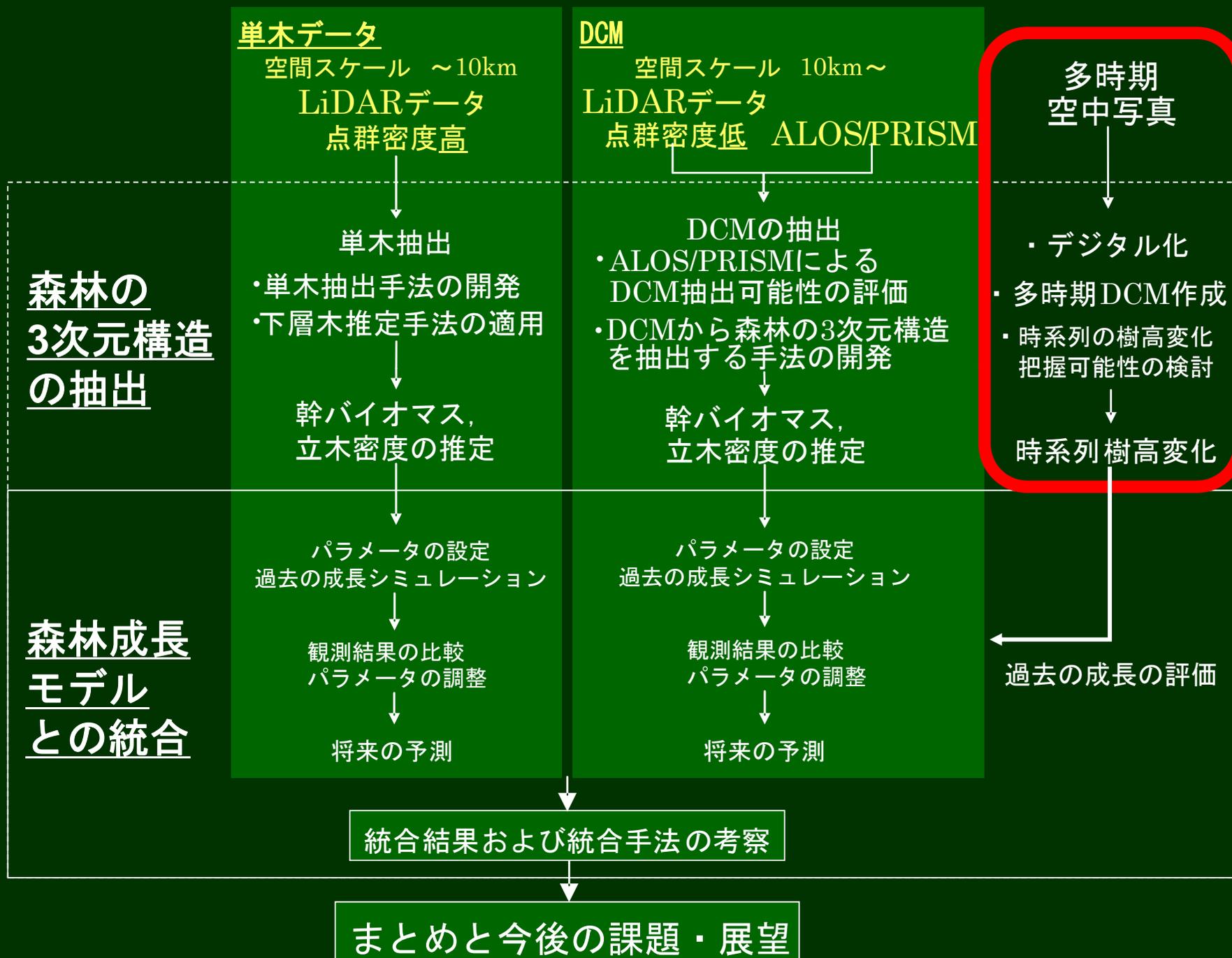


- LiDARおよびALOS/PRISMは、共に森林簿より過大推定の傾向
 - 森林簿の精度の問題
- LiDARおよびALOS/PRISMの幹バイオマスは高い相関係数

LiDARやALOS/PRISMデータから作成したDCMから**幹バイオマス**と**立木密度**が抽出可能

精度: LiDAR > ALOS/PRISM

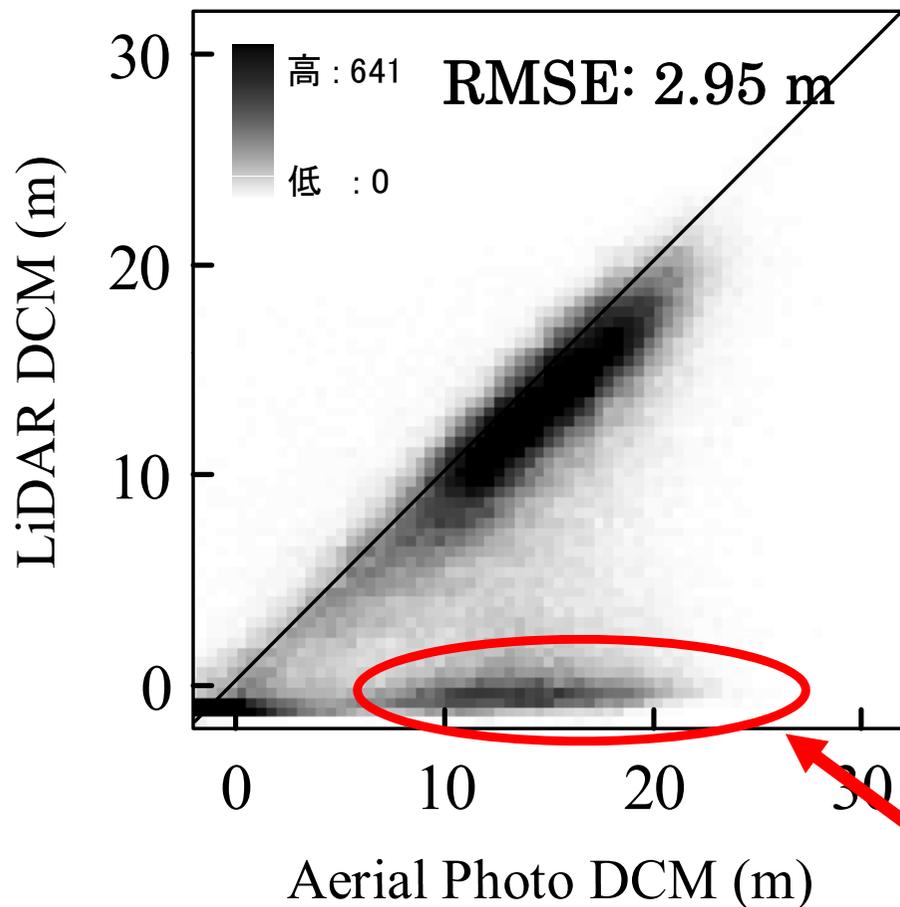
研究の流れ



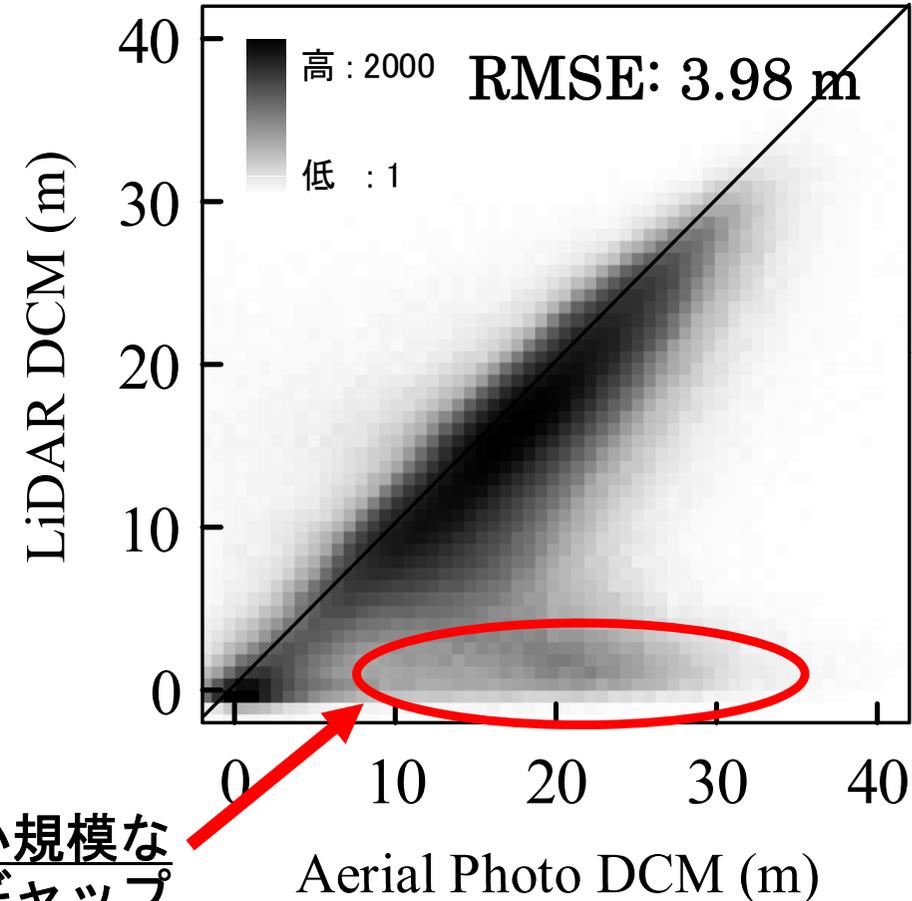
空中写真によるDCM抽出結果の検証

青森県七戸町 空中写真：2002年
LiDAR：2004年

岐阜県郡上市 空中写真：2004年
LiDAR：2004年



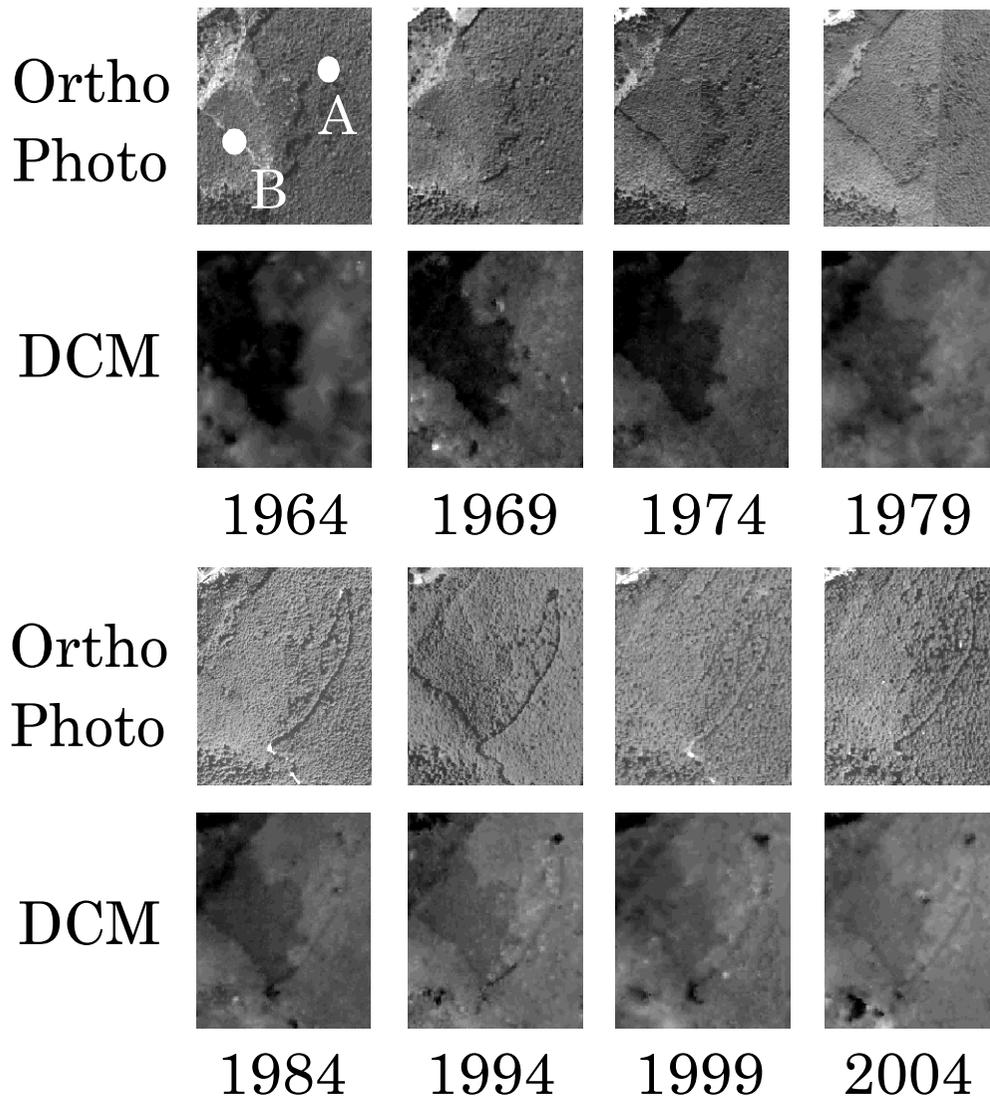
小規模な
ギャップ



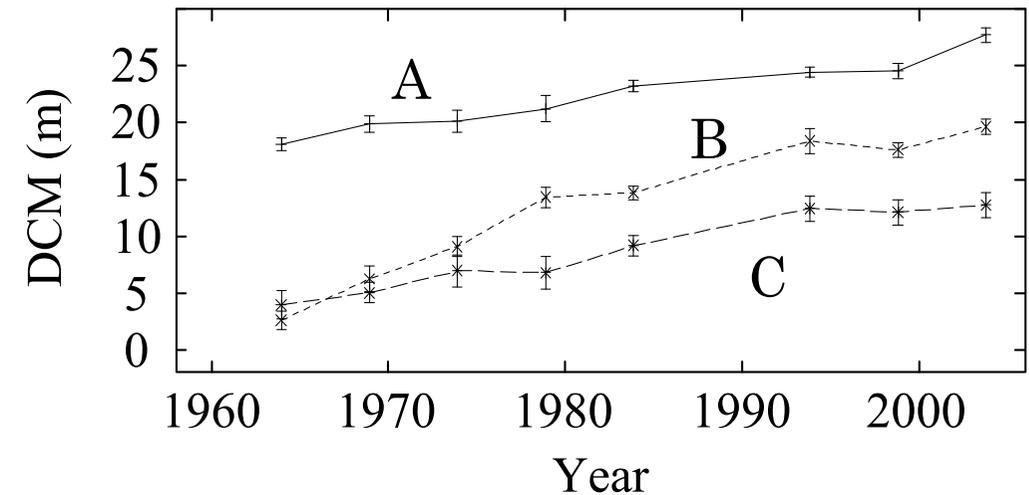
LiDARデータとの比較から、空中写真のDCMはRMSE
が3~4mで作成可能である

時系列DCMによる樹高成長の把握

岐阜県郡上市のテストエリア



DCMの時系列グラフ



※ 5×5画素の平均値と標準偏差によるError bar

※ Cは広葉樹（表示範囲外）

成長段階や林種による樹高成長の違いが表現されている

時系列のDCMから樹高の成長が把握可能である

研究の流れ



森林の3次元構造データ抽出のまとめ

点群密度の高いLiDARデータ

- 樹高の過小推定を軽減した単木抽出手法の開発
- 樹冠閉鎖林班における未抽出樹木の推定

→ 単木データによる3次元構造データ抽出手法が確立

ALOS/PRISMおよび点群密度の低いLiDARデータ

- ALOS/PRISMからRMSEが6mでDCMの抽出が可能
- DCMから樹高を推定し、現地調査データを用いた変換式から、幹バイオマスと立木密度を推定

→ DCMによる3次元構造データ抽出手法が確立

空中写真

- DCMのRMSEが3~4mで時系列の樹高変化が把握可能

森林成長モデルとの統合のための、リモートセンシングによる森林の3次元構造データの抽出手法が確立

本研究の構成

統合のための研究の方法論と流れ

- 最適な生態系プロセスモデルの検討
- 生態系プロセスモデルとの統合の枠組みの検討
- リモートセンシングによる森林の3次元構造抽出のための研究の方法論
 - LiDARデータ, ALOS/PRISMデータ, 空中写真

森林の3次元構造データの抽出手法の開発

1. 点群密度の高いLiDARデータ（単木データ）
2. ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータ（DCM）
3. 多時期の空中写真

生態系プロセスモデルとの統合手法の開発

- 点群密度の高いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合
- ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合

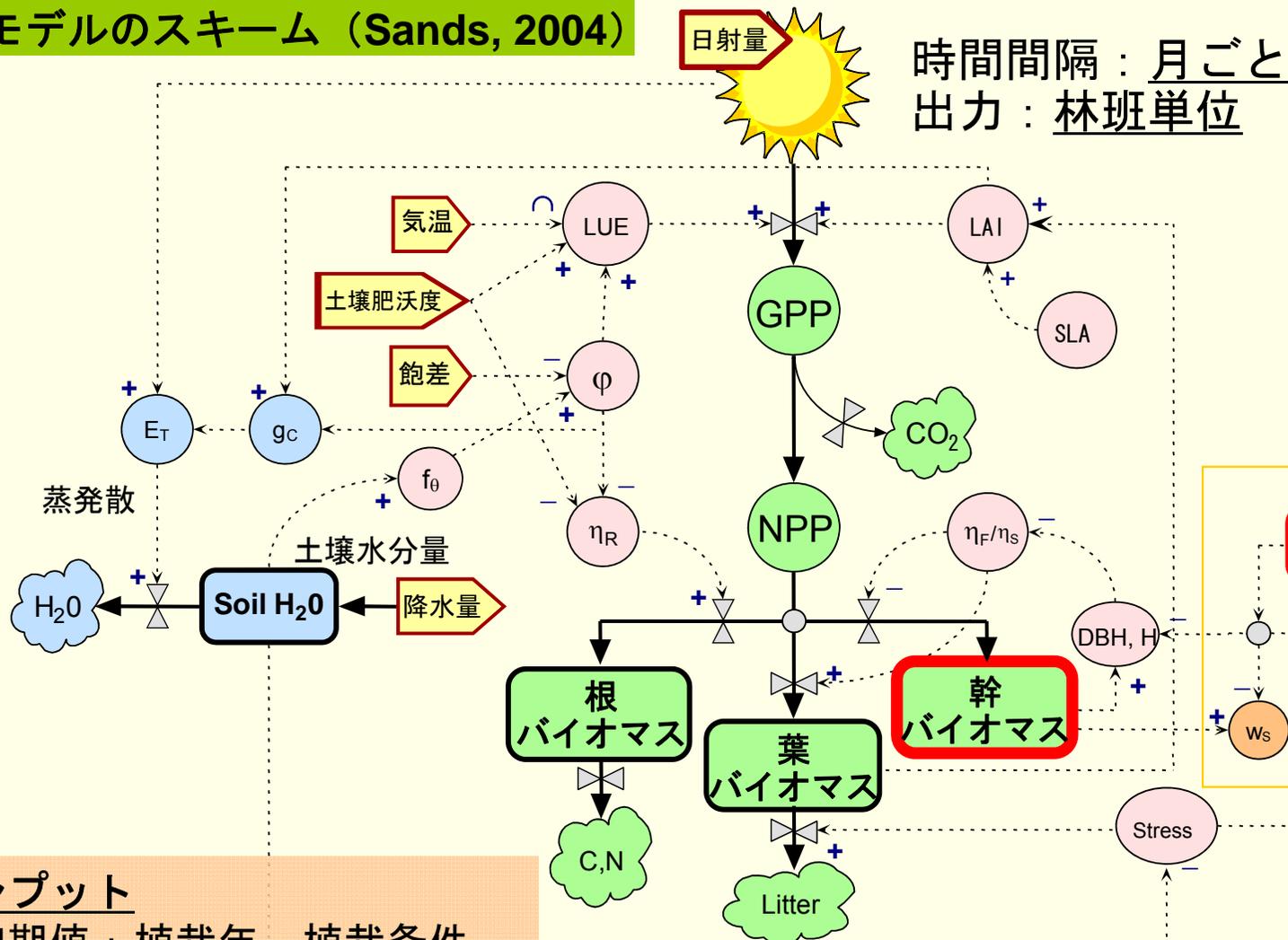
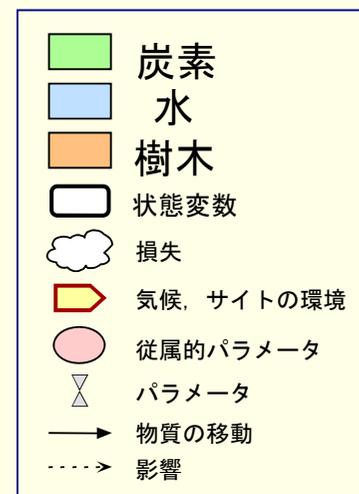
研究のまとめと今後の課題・展望

森林成長モデル 3-PG

Landsberg & Waring (1997)が提案した森林成長モデル

モデルのスキーム (Sands, 2004)

時間間隔：月ごと
出力：林班単位



インプット

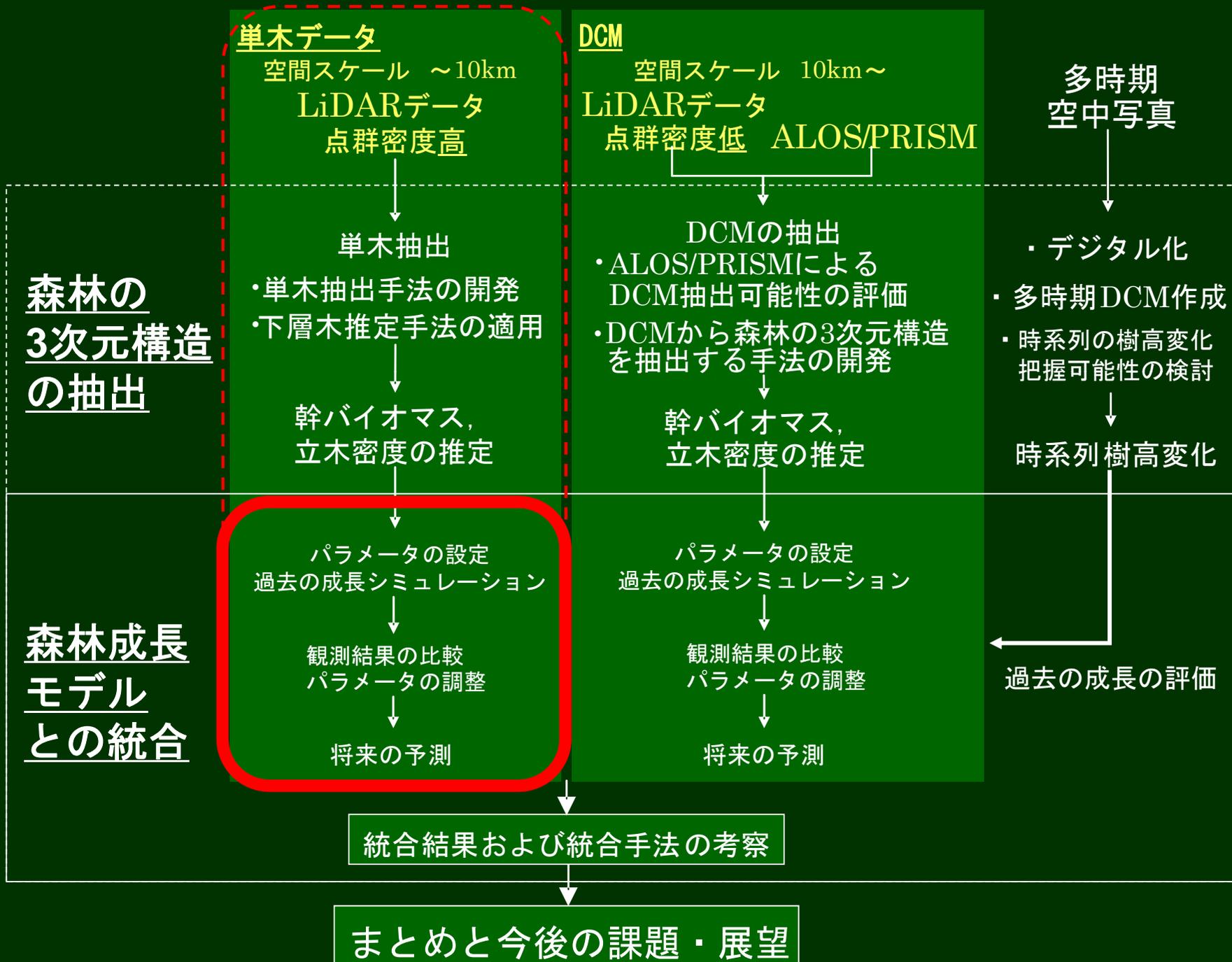
- ・ 初期値：植栽年，植栽条件
- ・ 土壌：肥沃度，水分量
- ・ 気候：日射量，気温，降水量
- ・ 樹種パラメータ

樹木本数のシミュレーションはサブモデルの位置付け

幹バイオマス → 樹木本数で割る → DBH · 樹高

相対成長式などで変換

研究の流れ



テストエリア

青森県七戸町 三菱製紙社有林 (スギ人工林)



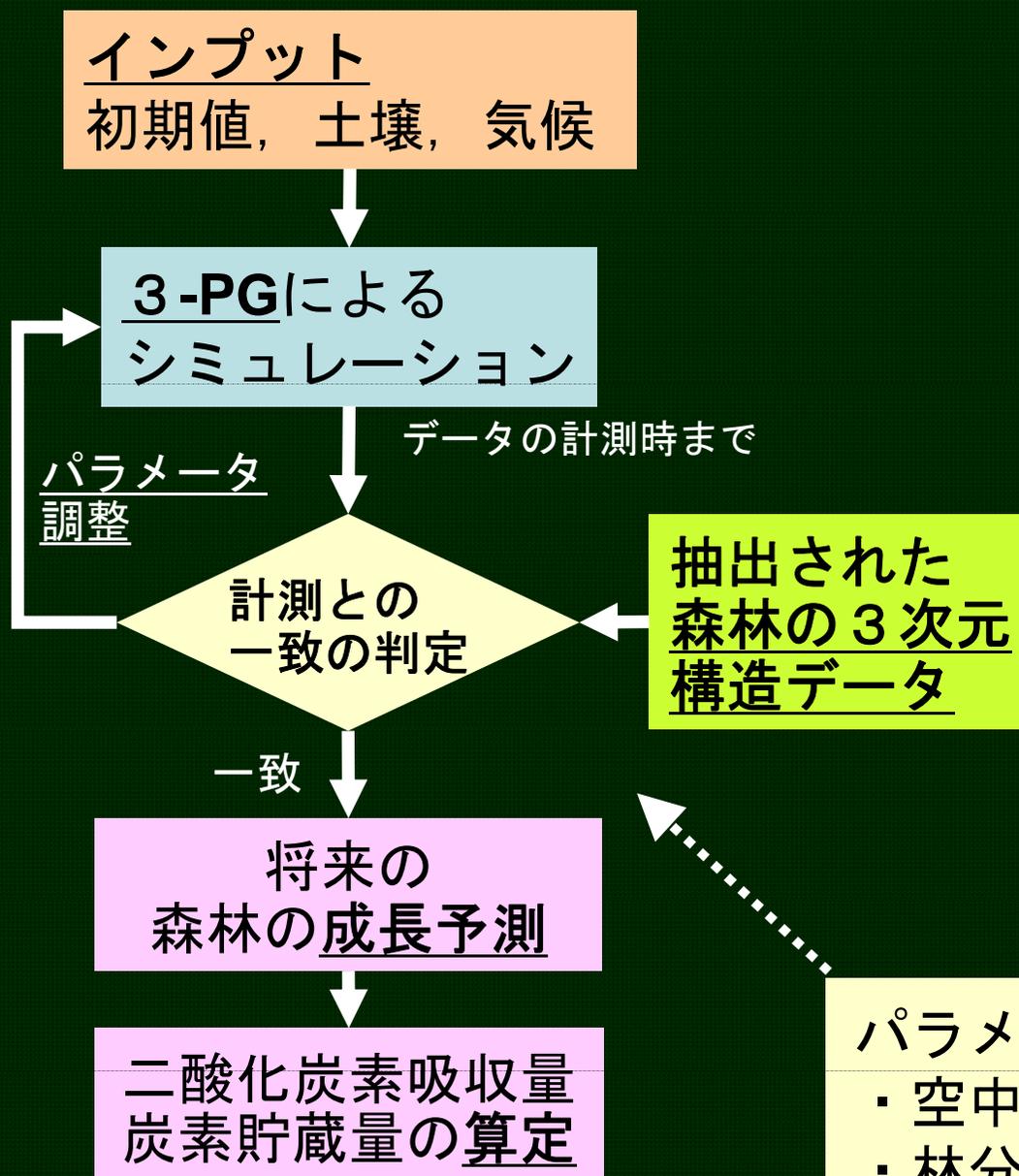
0 150 300 600 900 1,200 m

1960年代に植栽された林班が多い

面積 60.2 ha

- 植栽年が明らかであり，適度に間伐されてきた森林を想定
- 点群密度の高いLiDARデータに対して単木抽出手法+MNY法を適用し，林班ごとの幹バイオマスと立木密度を抽出

統合による二酸化炭素吸収量および炭素貯蔵量算定の流れ（単木データ）



調整するパラメータ

土壌の肥沃度

→ 幹バイオマスの予測に重要

樹木本数（間引き）のパラメータ

→ 立木密度や、樹高とDBHの予測に重要

調整する範囲と一度の調整で変化させる値を設定

一致と判定する条件

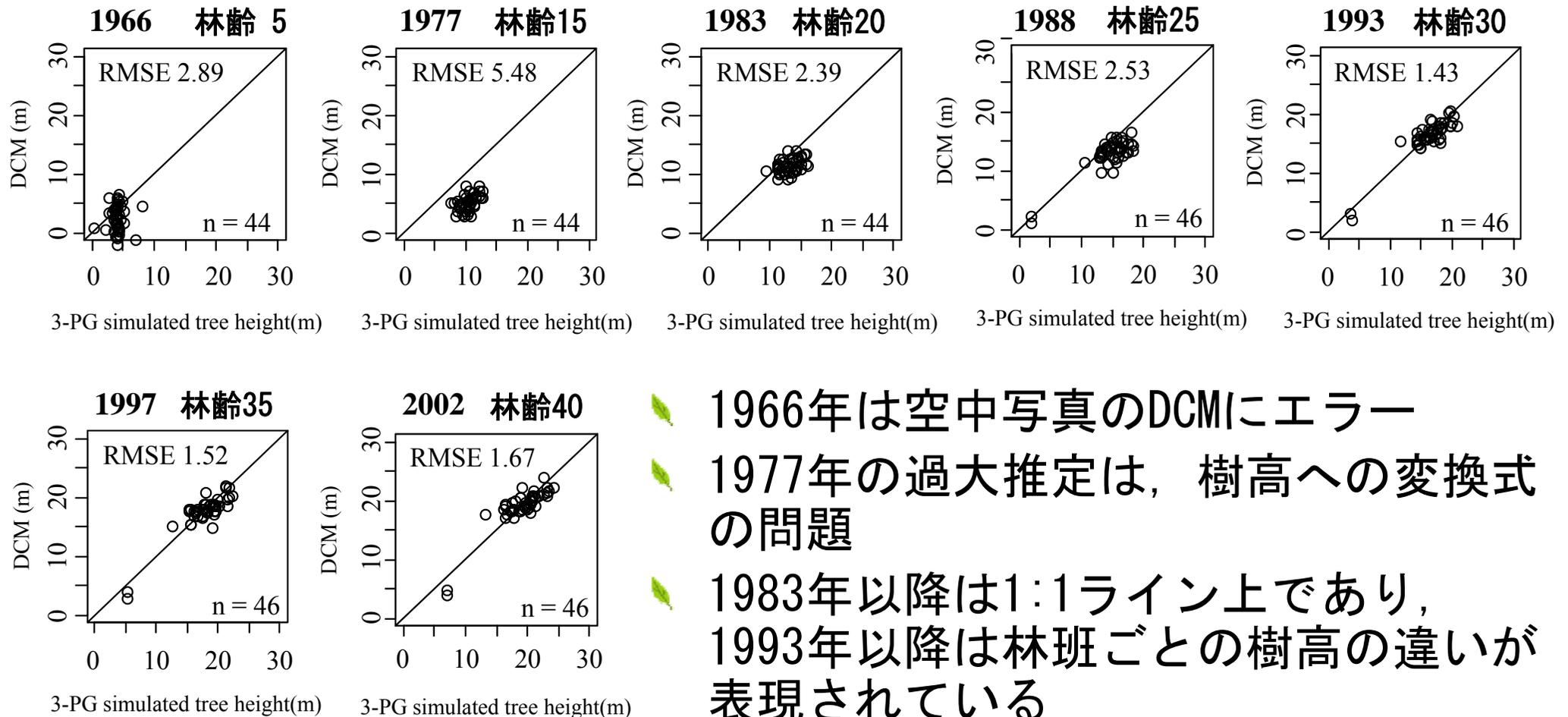
→ 幹バイオマスの差が最小

→ 立木密度の差が100(本/ha)以下

パラメータ調整の結果の評価

- ・ 空中写真による時系列の樹高データ
- ・ 林分収穫表による時系列データ

シミュレーションによる樹高と空中写真による各撮影時における樹高の比較

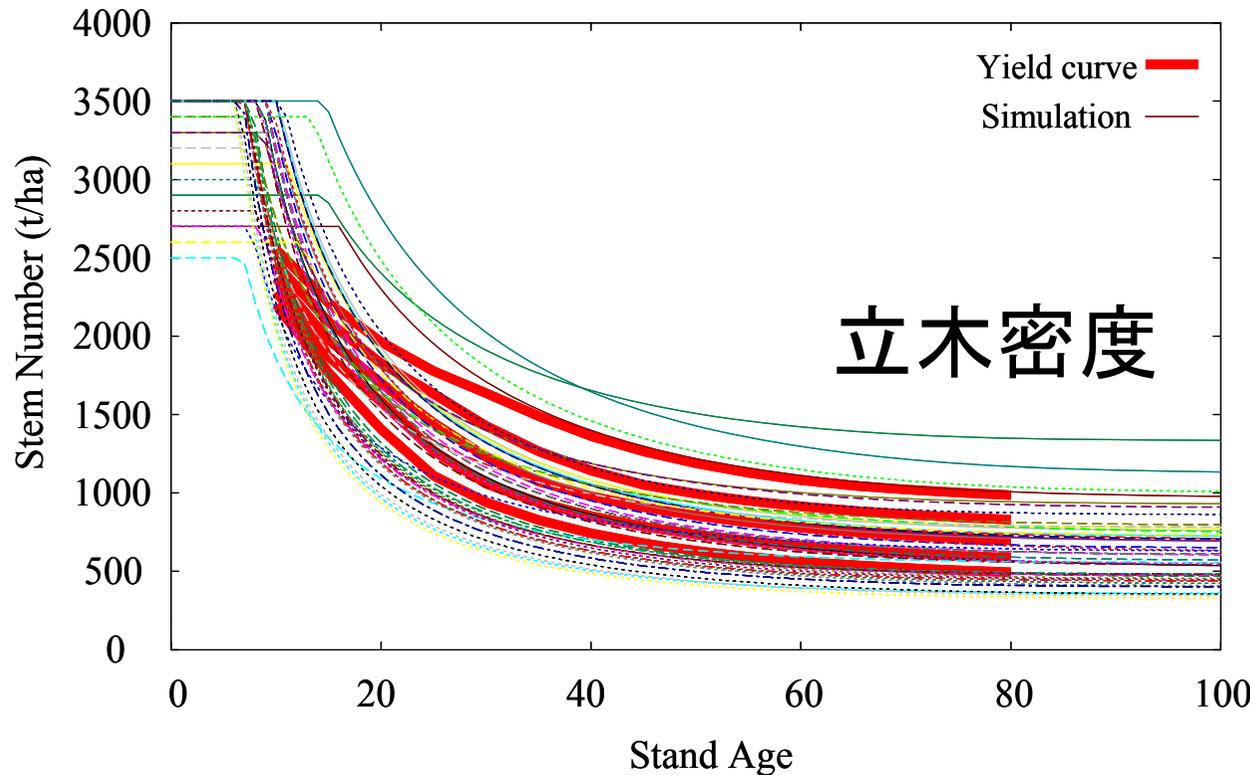
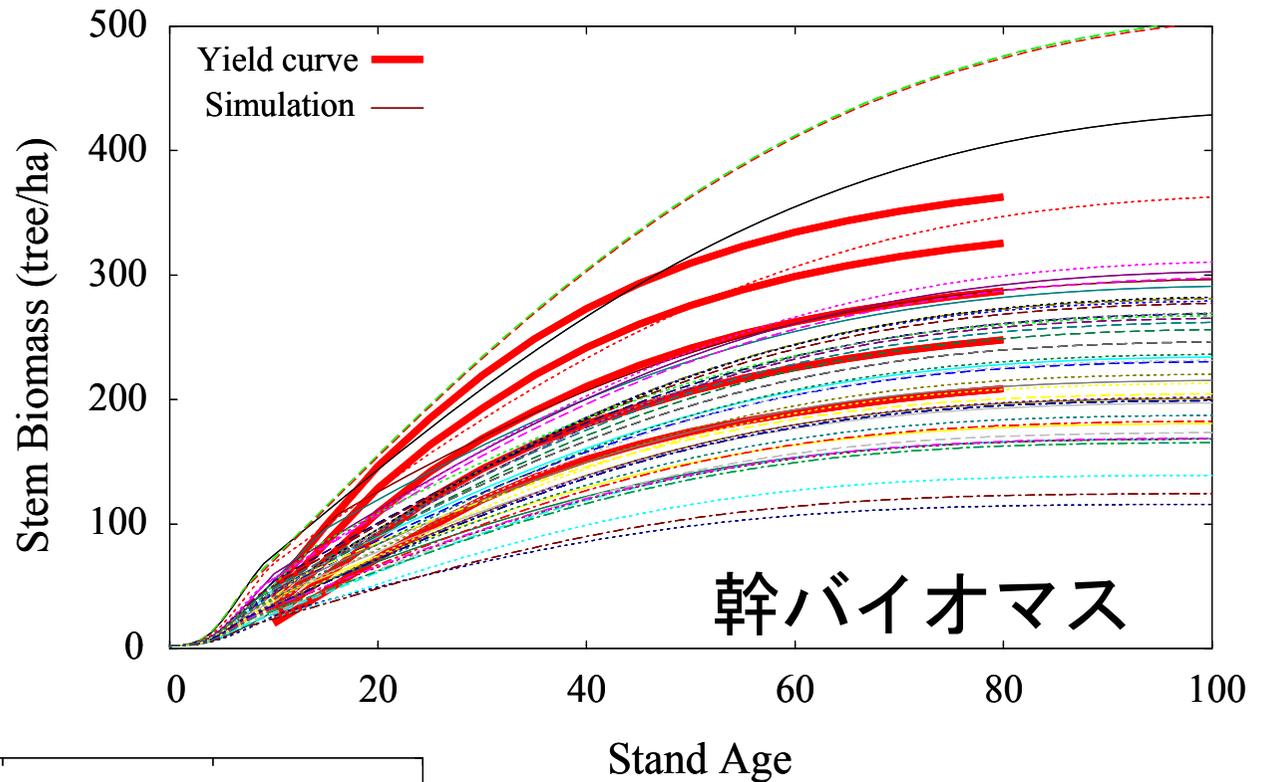


空中写真から抽出した樹高変化と一致することから、**林班ごとにパラメータ調整が良好に行われたことを確認**

林分収穫表 との比較

青森県農林水産部
林分収穫表
(南部地方)

※ 赤線は各地位の平均



林分収穫表が示す
範囲とおおむね
一致している

妥当な精度でシ
ミュレーションが
行えることを確認

ストックチェンジ法による二酸化炭素吸収量の算定結果

ストックチェンジ法

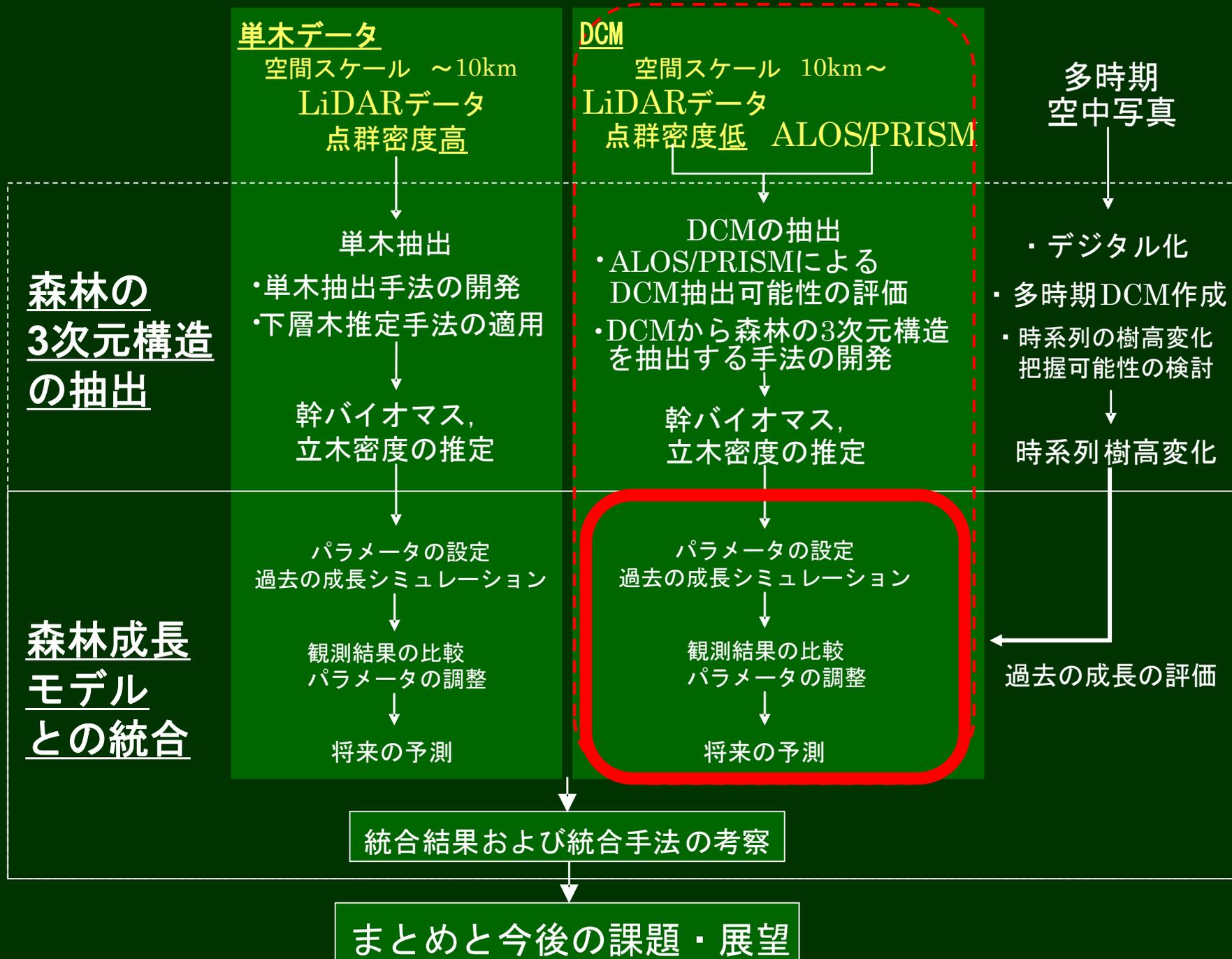
2時期の炭素貯蔵量の差によって二酸化炭素吸収量を算定

青森県七戸町三菱製紙スギ人工林のストックチェンジ法による二酸化炭素吸収量

スギ 60.2 (ha)	単位	第一 約束 期間	観測時(2004年8月)からの年数									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
バイオ	(t)	388.0	536.4	960.9	1282.9	1512.4	1660.3	1738.3	1759.3	1736.5	1683.9	1614.6
マス	(t/ha)	6.4	8.9	16.0	21.3	25.1	27.6	28.9	29.2	28.8	28.0	26.8
炭素	(t)	194.0	268.2	480.4	641.4	756.2	830.1	869.2	879.6	868.3	842.0	807.3
	(t/ha)	3.2	4.5	8.0	10.7	12.6	13.8	14.4	14.6	14.4	14.0	13.4
二酸化 炭素	(t)	712.0	984.3	1763.2	2354.1	2775.3	3046.6	3189.8	3228.2	3186.6	3090.0	2962.8
	(t/ha)	11.8	16.4	29.3	39.1	46.1	50.6	53.0	53.6	52.9	51.3	49.2

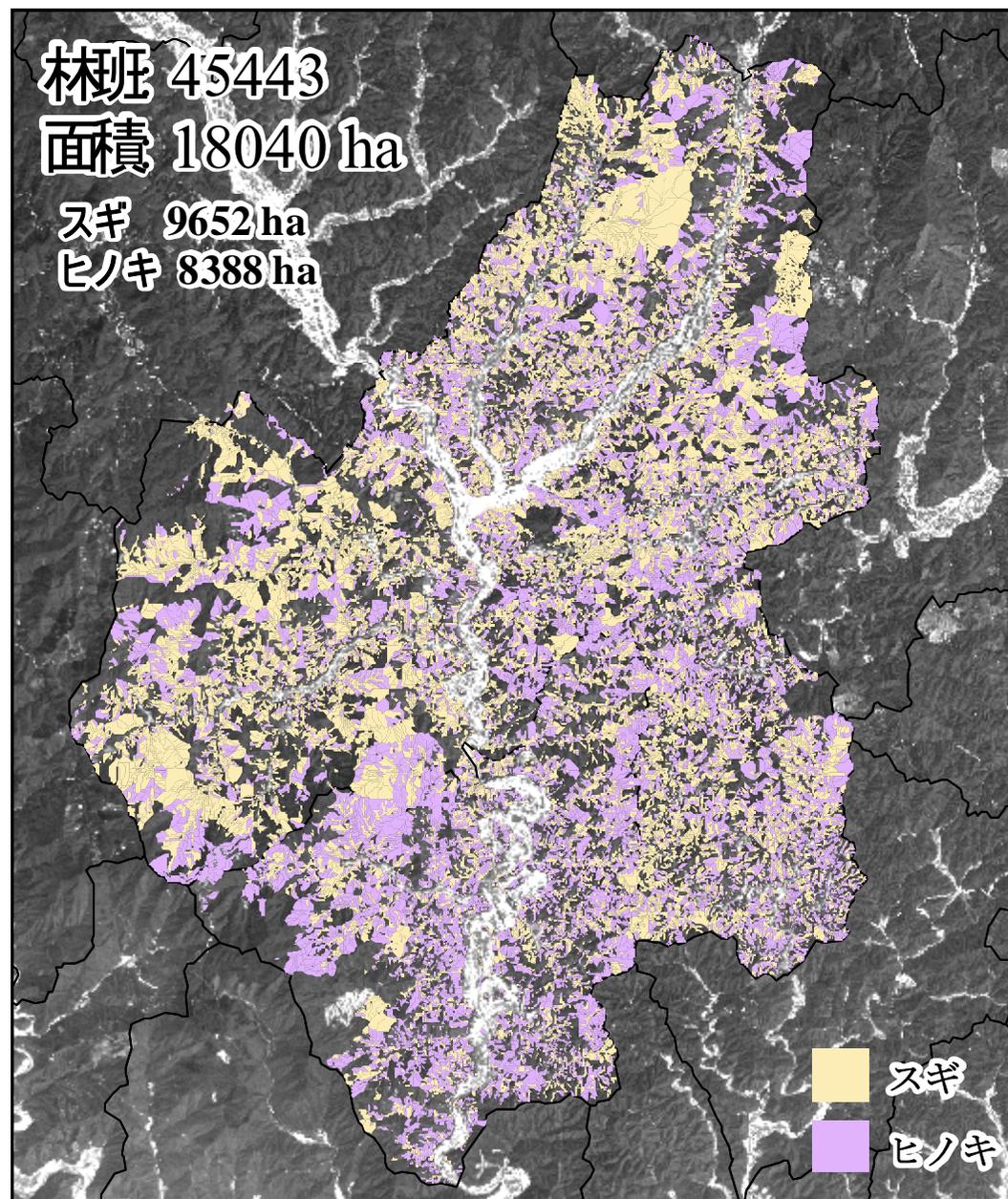
- 算定期間を長くするほど、全体の林齢が高くなるため、二酸化炭素吸収量の増加量が減少
- 葉や根のバイオマスの減少により、40年以降は減少に転じた

研究の流れ

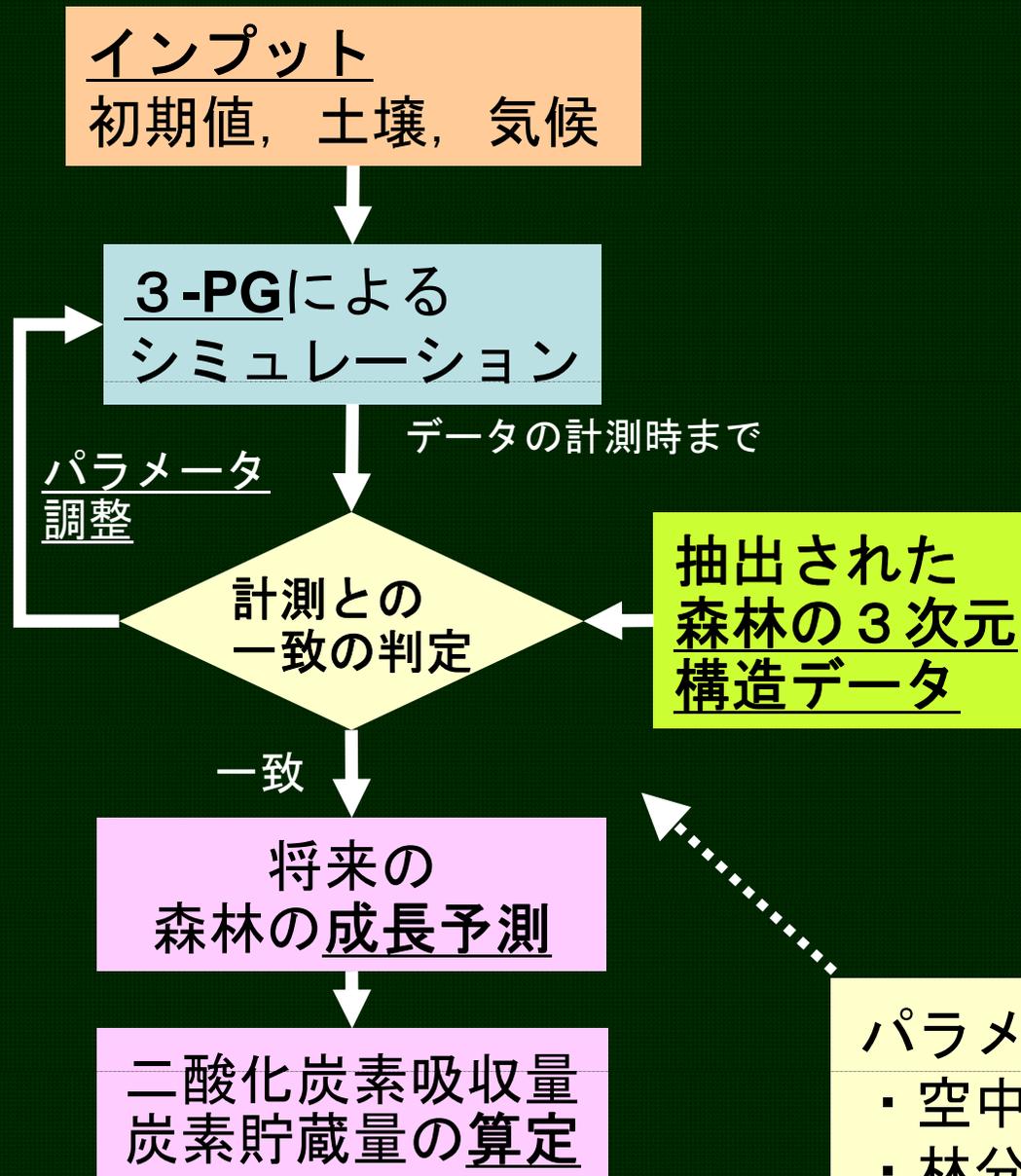


テストエリア

- 岐阜県郡上市
 - スギとヒノキ人工林
- 植栽年が明らかではない森林を想定
- ALOS/PRISMデータまたは点群密度の低いLiDARデータから作成したDCM
 - 各林班の幹バイオマスと立木密度を抽出



統合による二酸化炭素吸収量および炭素貯蔵量算定の流れ (DCM)



調整するパラメータ

植栽時期

→ 土壌の肥沃度は固定

樹木本数（間引き）のパラメータ

→ 立木密度や, 樹高とDBHの予測に重要

調整する範囲と一度の調整で変化させる値を設定

一致と判定する条件

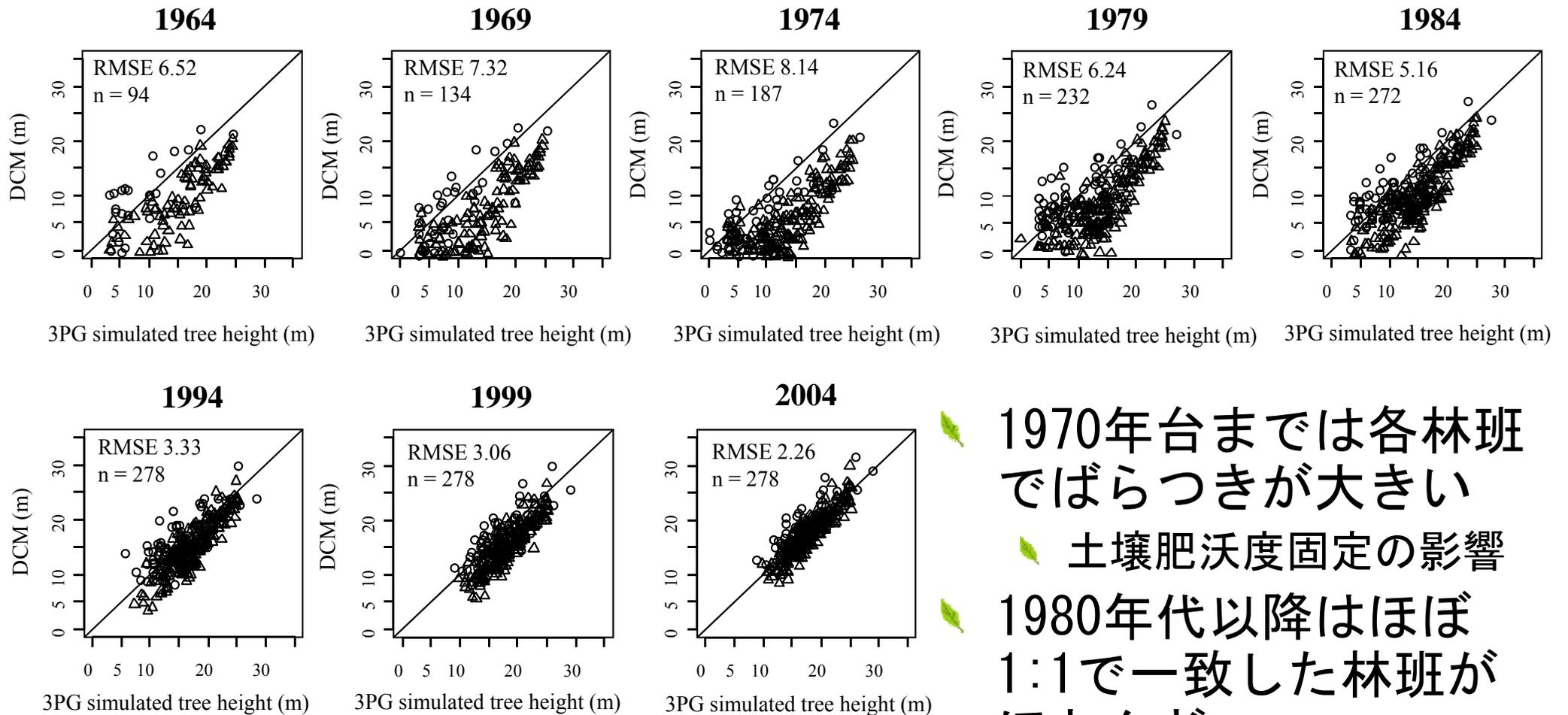
・ 幹バイオマスの差が最小

・ 立木密度の差が100(本/ha)以下

パラメータ調整の結果の評価

- ・ 空中写真による時系列樹高データ
- ・ 林分収穫表による時系列データ

シミュレーションによる樹高と空中写真による各撮影時における樹高の比較



△ヒノキ ○スギ

点群密度の低いLiDARデータ

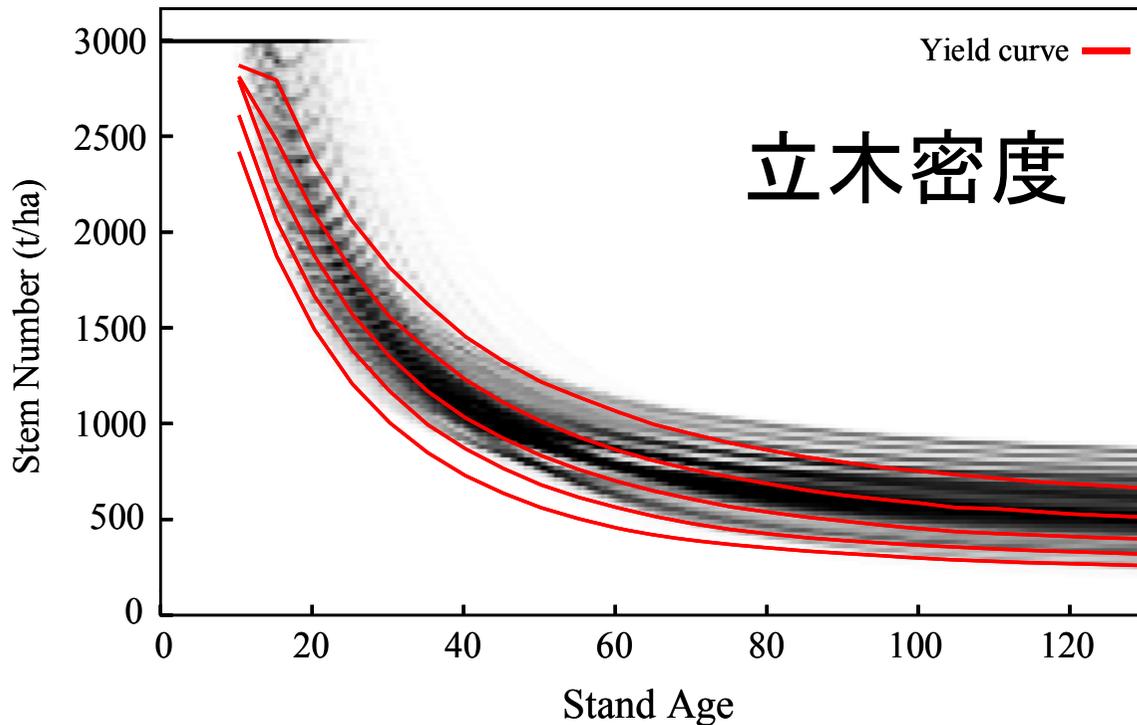
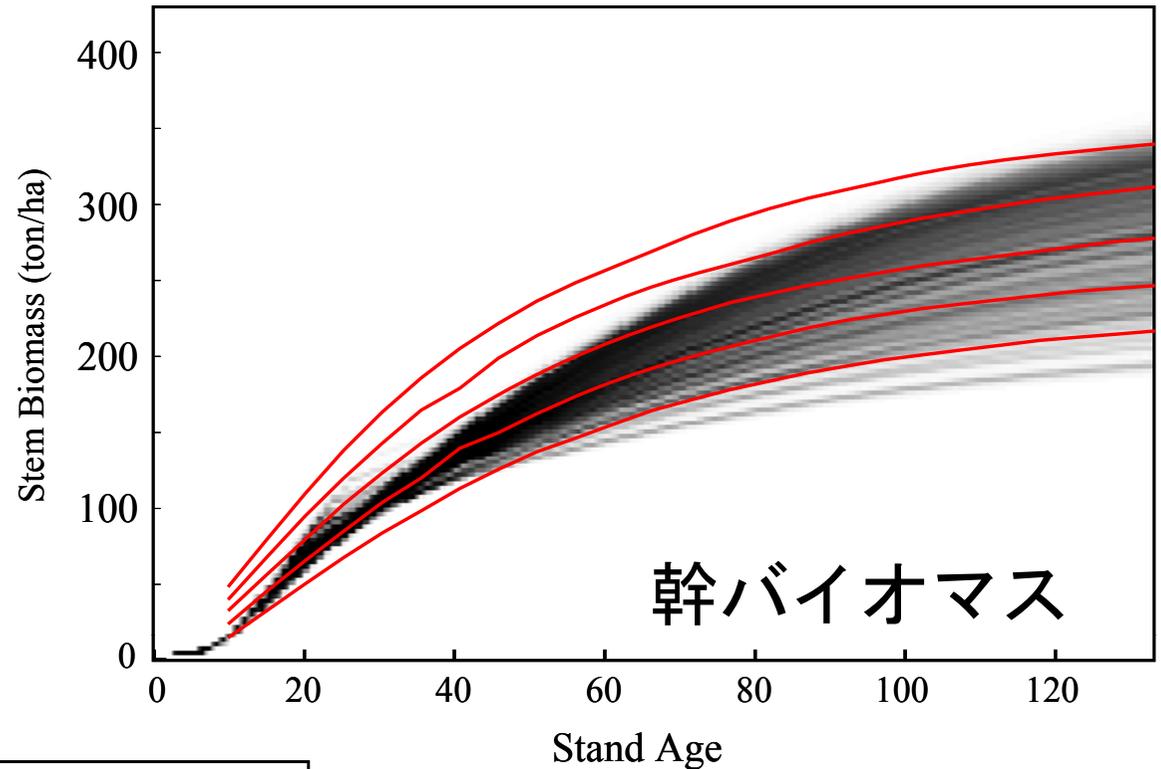
- 1970年台までは各林班でばらつきが大きい
- 土壤肥沃度固定の影響
- 1980年代以降はほぼ1:1で一致した林班がほとんど

空中写真から抽出した樹高の変化と一致することから、**林班ごとにパラメータ調整が行われたことを確認**

林分収穫表 との比較(スギ)

岐阜県林政部
林分収穫表
スギ人工林

※ 赤線は各地位の平均



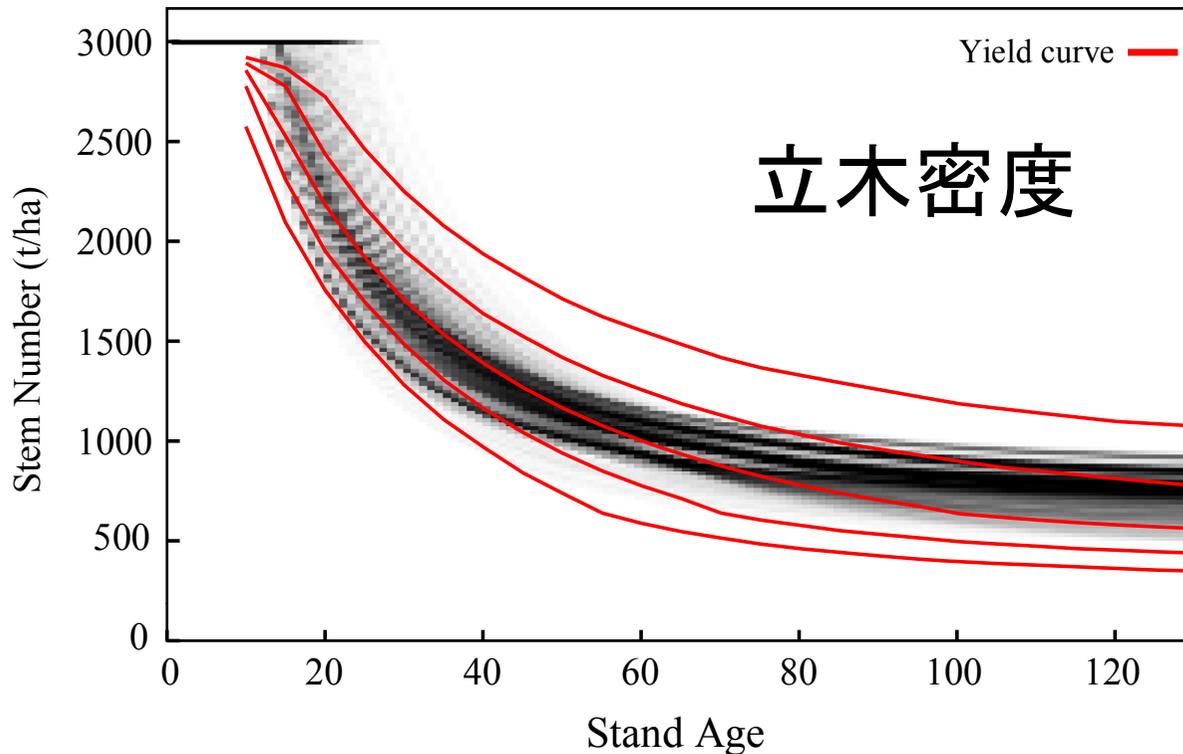
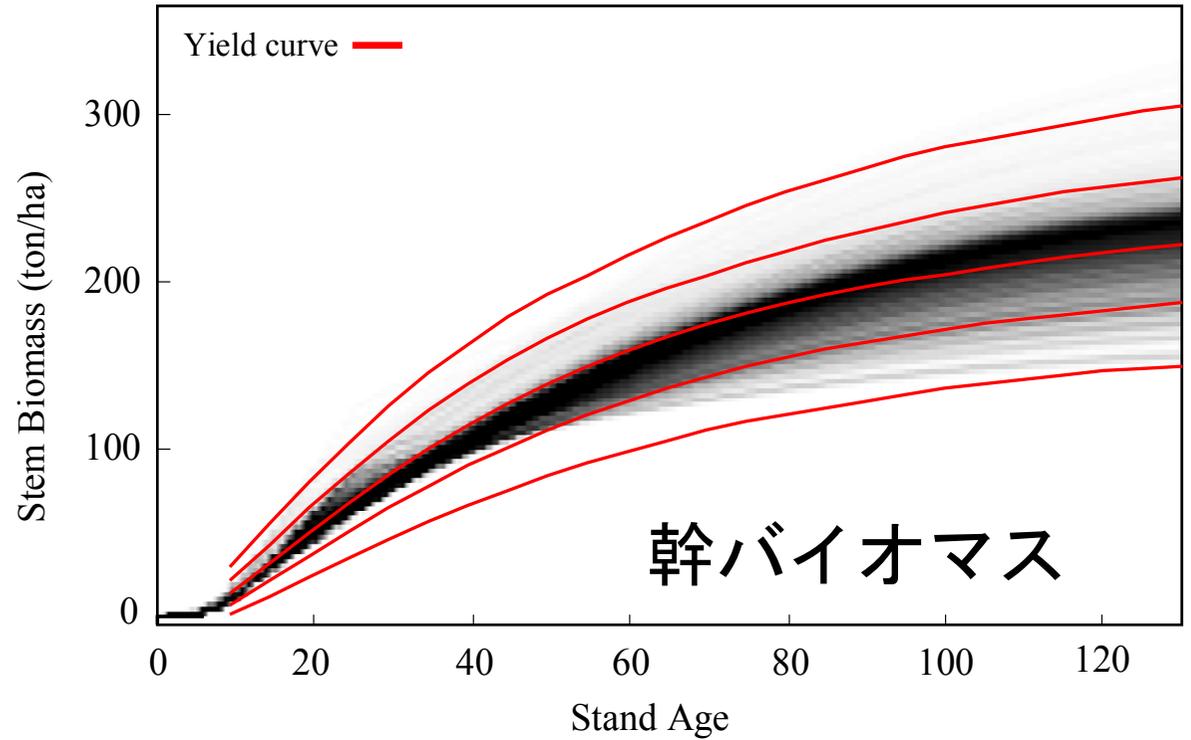
林分収穫表が示す
範囲とおおむね
一致している

妥当な精度でシ
ミュレーションが
行えることを確認

林分収穫表 との比較(ヒノキ)

岐阜県林政部
林分収穫表
ヒノキ人工林

※ 赤線は各地位の平均



林分収穫表が示す
範囲とおおむね
一致している

妥当な精度でシ
ミュレーションが
行えることを確認

ストックチェンジ法による二酸化炭素吸収量の算定結果

点群密度の低いLiDARデータ

スギ 9652 (ha)	単位	第一 約束 期間	観測時(2004年6月)からの年数									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
バイオ マス	(t)	94765	129203	240658	340597	431405	514735	591396	661924	726731	786160	840513
	(t/ha)	9.8	13.4	24.9	35.3	44.7	53.3	61.3	68.6	75.3	81.5	87.1
炭素	(t)	189530	258406	481316	681194	862810	1029470	1182792	1323848	1453462	1572320	1681026
	(t/ha)	19.6	26.8	49.9	70.6	89.4	106.7	122.5	137.2	150.6	162.9	174.2
二酸化 炭素	(t)	695575	948350	1766430	2499982	3166513	3778155	4340847	4858522	5334206	5770414	6169365
	(t/ha)	72.1	98.3	183.0	259.0	328.1	391.4	449.7	503.4	552.7	597.8	639.2

ヒノキ 8388 (ha)	単位	第一 約束 期間	観測時(2004年6月)からの年数									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
バイオ マス	(t)	53817	72571	135327	190361	239171	282584	321118	355149	384993	410935	433244
	(t/ha)	6.4	8.7	16.1	22.7	28.5	33.7	38.3	42.3	45.9	49.0	51.7
炭素	(t)	107634	145142	270654	380722	478342	565168	642236	710298	769986	821870	866488
	(t/ha)	12.8	17.3	32.3	45.4	57.0	67.4	76.6	84.7	91.8	98.0	103.3
二酸化 炭素	(t)	395017	532671	993300	1397250	1755515	2074167	2357006	2606794	2825849	3016263	3180011
	(t/ha)	47.1	63.5	118.4	166.6	209.3	247.3	281.0	310.8	336.9	359.6	379.1

ストックチェンジ法による二酸化炭素吸収量の算定結果

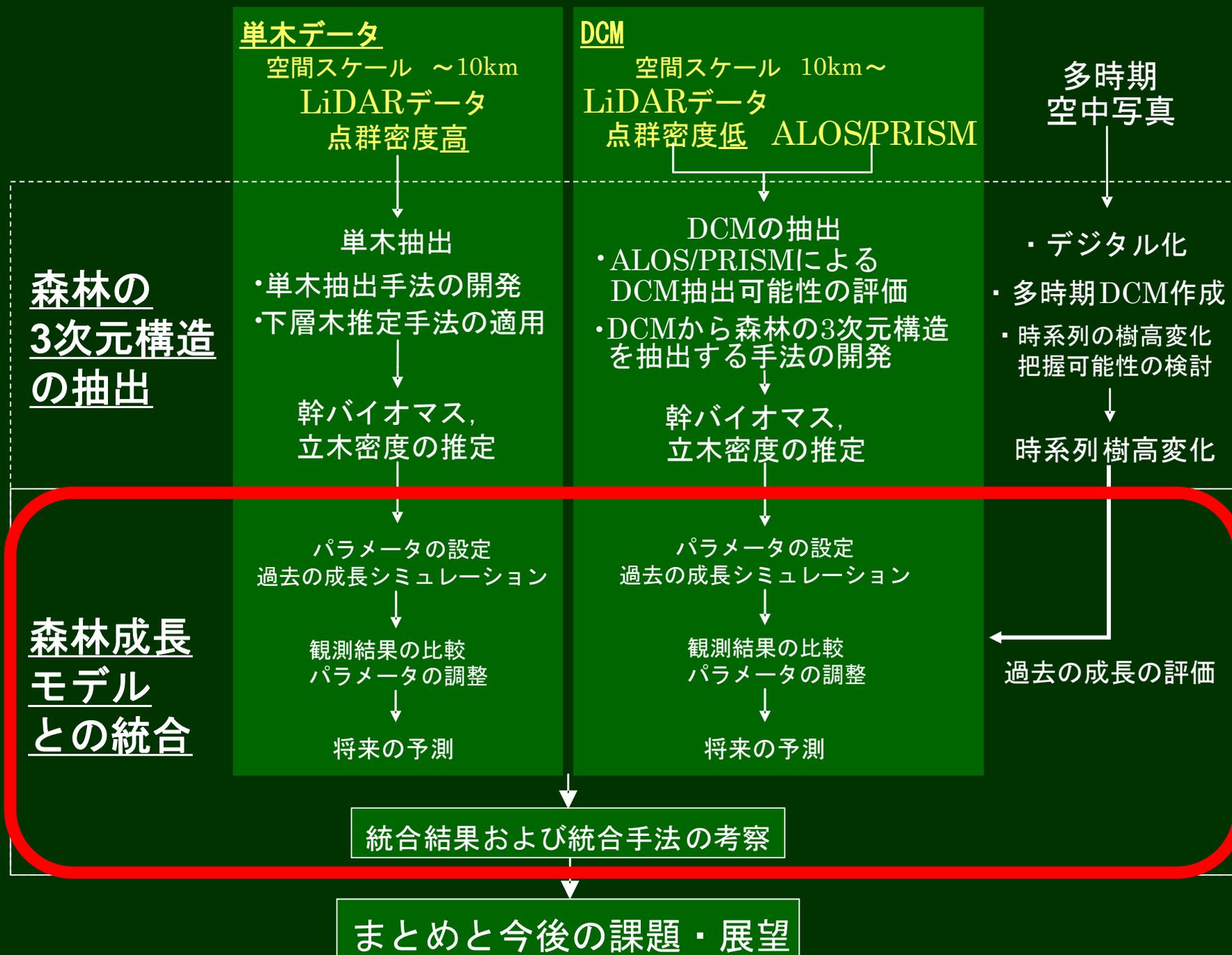
ALOS/PRISMデータ

スギ 8319 (ha)	単位	第一 約束 期間	観測時(2004年6月)からの年数									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
バイオ マス	(t)	112941	140591	260538	368828	461608	542834	616611	684062	745626	801655	852458
	(t/ha)	13.6	16.9	31.3	44.3	55.5	65.3	74.1	82.2	89.6	96.4	102.5
炭素	(t)	225882	281182	521076	737656	923216	1085668	1233222	1368124	1491252	1603310	1704916
	(t/ha)	27.2	33.8	62.6	88.7	111.0	130.5	148.2	164.5	179.3	192.7	204.9
二酸化 炭素	(t)	828987	1031938	1912349	2707198	3388203	3984402	4525925	5021015	5472895	5884148	6257042
	(t/ha)	99.6	124.0	229.9	325.4	407.3	479.0	544.0	603.6	657.9	707.3	752.1
			観測時(2004年6月)からの年数									
ヒノキ 7102 (ha)	単位	第一 約束 期間	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
バイオ マス	(t)	68401	84907	157518	221120	276948	325806	369020	407569	441802	472010	498456
	(t/ha)	9.7	12.0	22.3	31.3	39.2	46.1	52.2	57.6	62.5	66.8	70.5
炭素	(t)	136802	169814	315036	442240	553896	651612	738040	815138	883604	944020	996912
	(t/ha)	19.3	23.9	44.4	62.3	78.0	91.8	103.9	114.8	124.4	132.9	140.4
二酸化 炭素	(t)	502063	623217	1156182	1623021	2032798	2391416	2708607	2991556	3242827	3464553	3658667
	(t/ha)	70.7	87.8	162.8	228.5	286.2	336.7	381.4	421.2	456.6	487.8	515.2

統合手法の考察

- 各林班の成長段階やバイオマス（炭素貯蔵量）の違いを考慮した、将来予測を行うことができた
- シミュレーションによる将来予測の精度
 - 森林の3次元構造データの精度が将来予測に影響
 - 植栽時期と土壌肥沃度の2つの未知パラメータの存在
- 精度向上へ向けて
 - 時系列の森林の3次元構造データの利用
 - 若い林年齢は高さの誤差に影響され、樹木サイズとバイオマスの変換式は不安定→樹高は10m以上のデータを統合へ利用すべき
 - 土壌データの整備と利用
- 樹種パラメータの設定やパラメータ調整手法の課題
 - 生態学や林学との連携が必要
 - 予測幅が示される、確率的予測手法の利用が必要

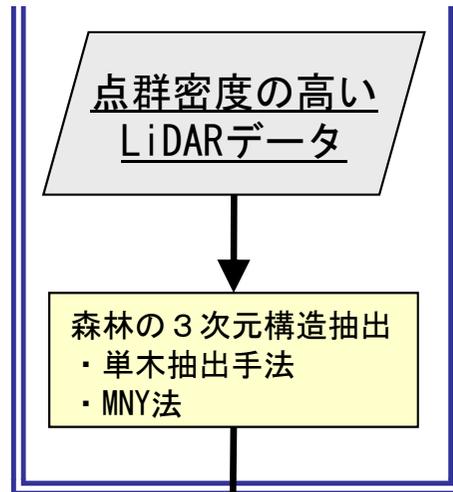
研究の流れ



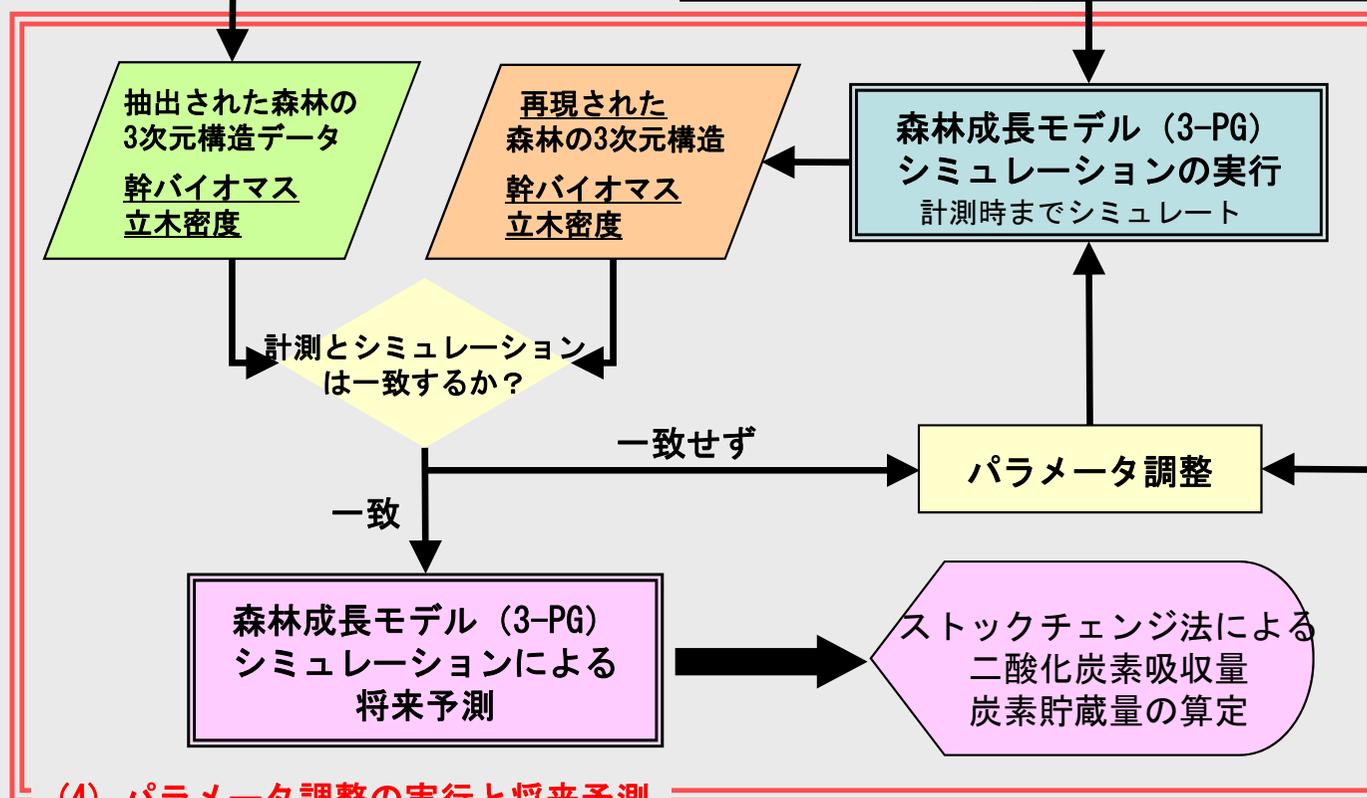
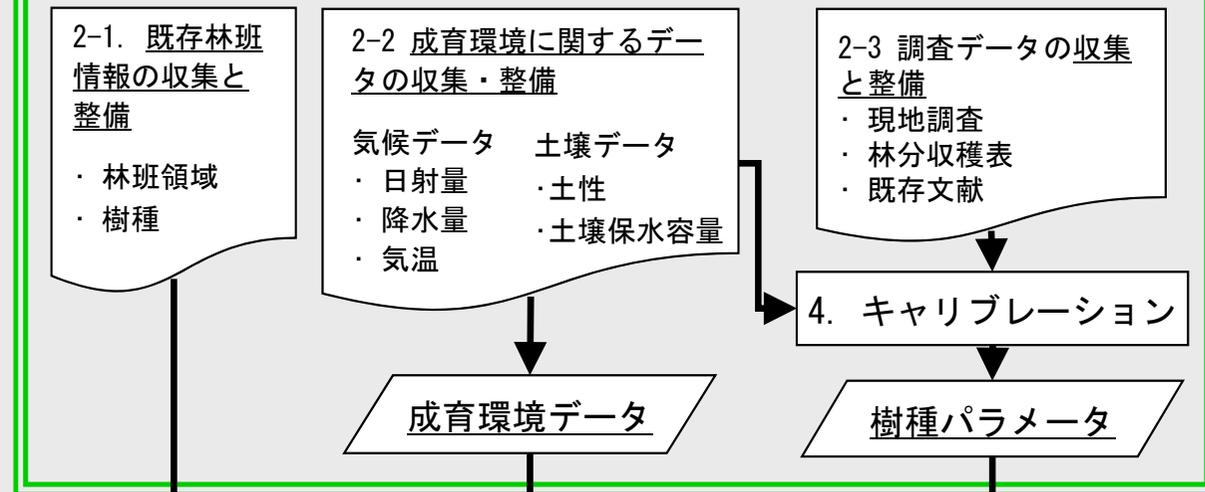
本研究で開発した統合手法の流れ

単木データ

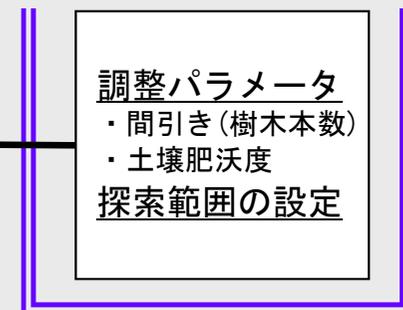
(1) 森林の3次元構造抽出



(2) データおよびパラメータの整備



(3) パラメータ調整の設定

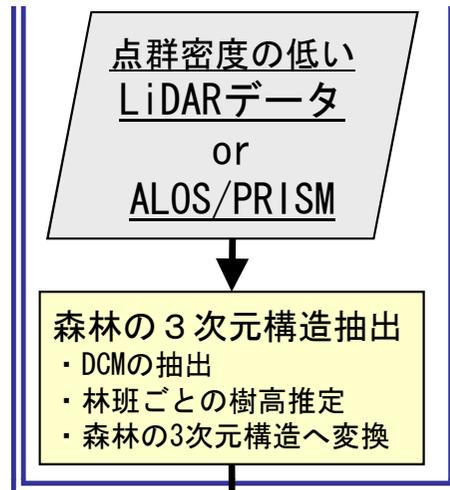


(4) パラメータ調整の実行と将来予測

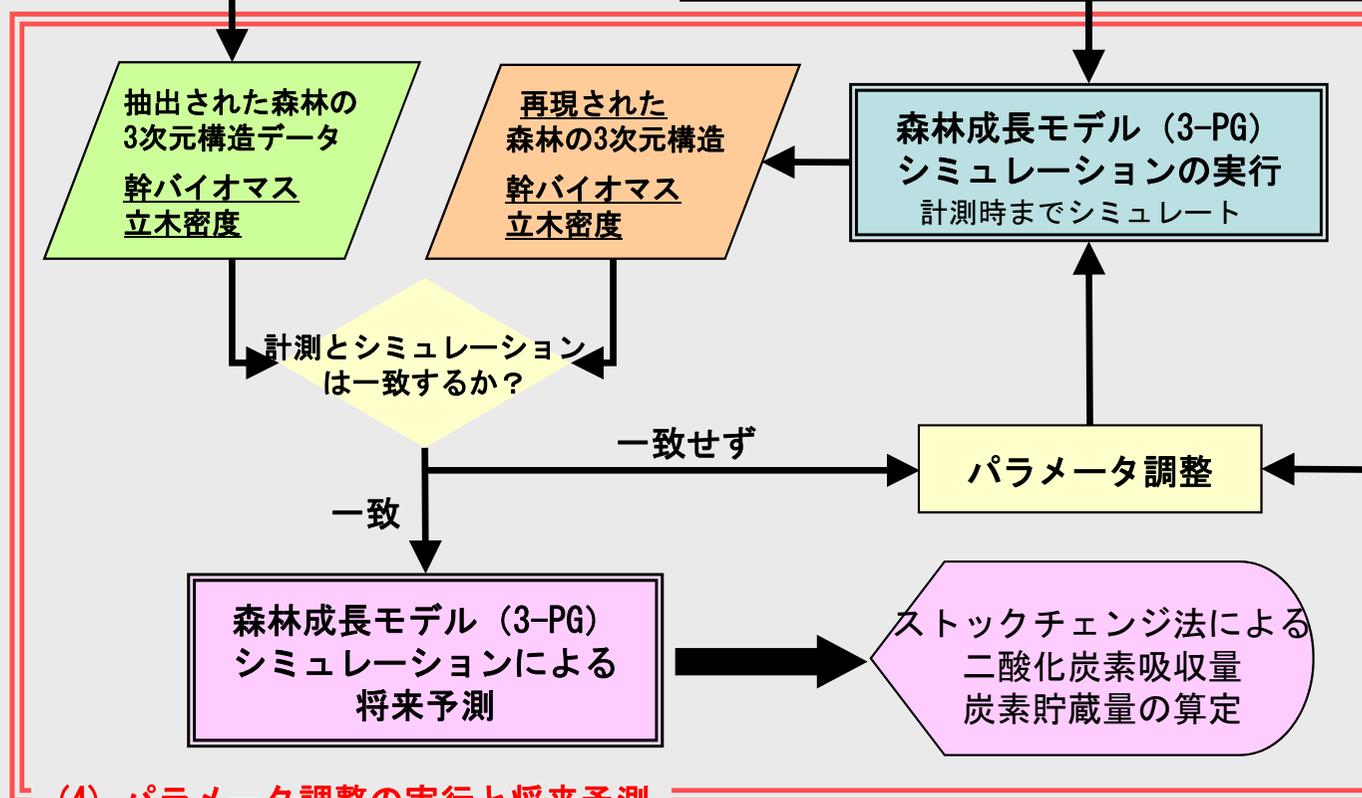
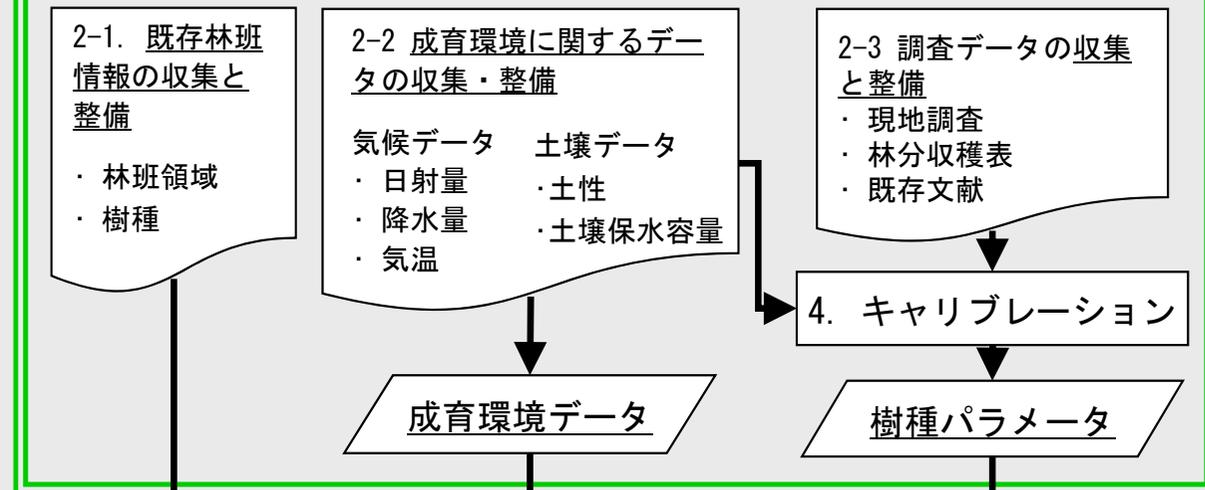
本研究で開発した統合手法の流れ

DCM

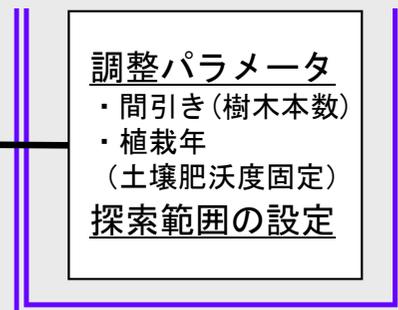
(1) 森林の3次元構造抽出



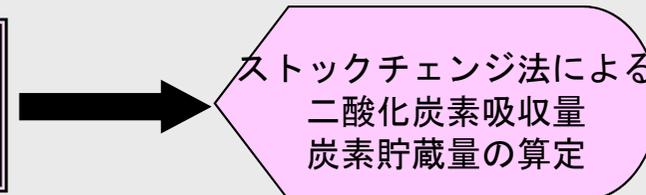
(2) データおよびパラメータの整備



(3) パラメータ調整の設定



(4) パラメータ調整の実行と将来予測



本研究の構成

統合のための研究の方法論と流れ

- 最適な生態系プロセスモデルの検討
- 生態系プロセスモデルとの統合の枠組みの検討
- リモートセンシングによる森林の3次元構造抽出のための研究の方法論
 - LiDARデータ, ALOS/PRISMデータ, 空中写真

森林の3次元構造データの抽出手法の開発

1. 点群密度の高いLiDARデータ（単木データ）
2. ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータ（DCM）
3. 多時期の空中写真

生態系プロセスモデルとの統合手法の開発

- 点群密度の高いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合
- ALOS/PRISMデータと点群密度の低いLiDARデータから抽出した森林の3次元構造データとの統合

研究のまとめと今後の課題・展望

本研究のまとめ

- リモートセンシングデータから抽出した森林の3次元構造データと生態系プロセスモデルを統合する手法の開発

- 森林の3次元構造データ抽出手法の開発

- 単木データ
- Digital Canopy Model (DCM)

- 生態系プロセスモデルとの統合手法の開発

- 森林成長モデル(3-PG)の利用
- パラメータを調整, 将来予測, 算定



森林管理の区画単位の空間精度(林班)で, 成長段階やバイオマスの違いを考慮し, 広域に二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測を行う手法が確立された

今後の課題

- ❖ 時系列の現地調査データによる将来予測結果の検証が必要である
- ❖ 新しいリモートセンシングデータや時系列データによる、森林の3次元構造データの抽出と統合を行う必要がある
- ❖ 衛星データ等による地形データ (DEM) の抽出手法の開発および確立が望まれる
- ❖ 生態学や林学との連携による樹種パラメータ設定手法やパラメータ調整手法の確立が必要である
- ❖ 予測幅を示すことが可能な、確率的予測手法を導入する必要がある
- ❖ 枯死や土壌の炭素ストックを考慮した、林分全体の炭素収支を予測するモデルの構築が必要である

今後の展望

国内の森林管理

森林GISとの連携

統合手法・3次元構造データ抽出手法

森林簿の精度向上
森林域のモニタリング

3次元構造データ

新しい収穫量予想

単木データ：森林組合
DCM：森林行政

統合手法

京都議定書

統合手法

第一約束期間の吸収量算定

統合手法

途上国の植林CDM

炭素循環研究

炭素消失(放出)量の算定

3次元構造データ

大陸~全球スケール
炭素循環モデル
の検証データセット

統合手法・3次元構造データ

持続可能な森林管理

将来予測・3次元構造データ

森林の多面的機能の評価の
ための基礎的データ

持続可能な森林管理
支援手法への発展

本研究
の成果

時系列DCMの作成結果 岐阜県郡上市



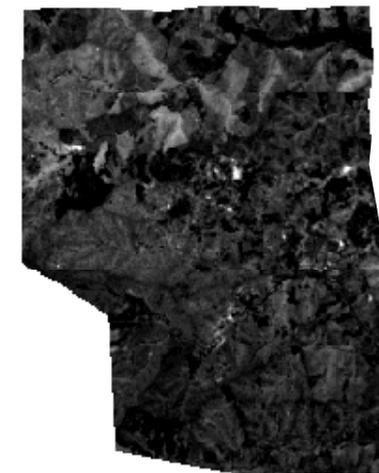
1964



1969



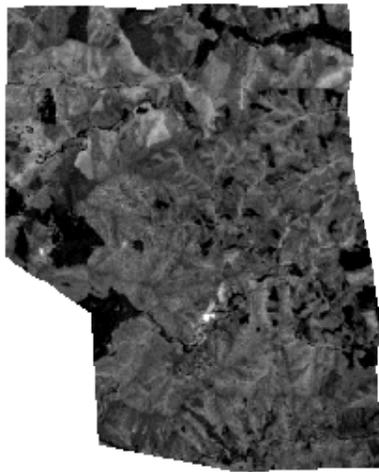
1974



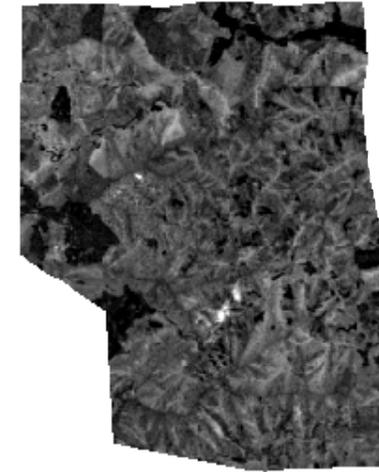
1979



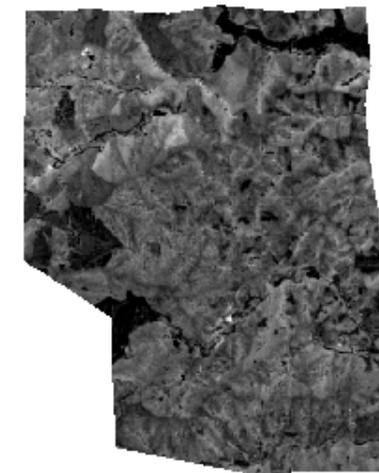
1984



1994



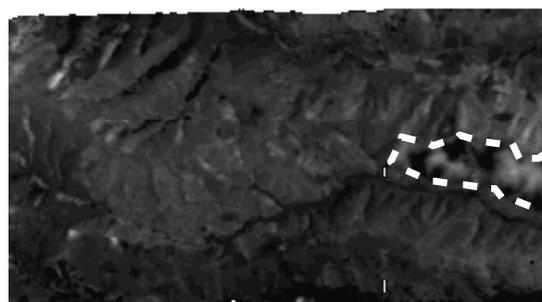
1999



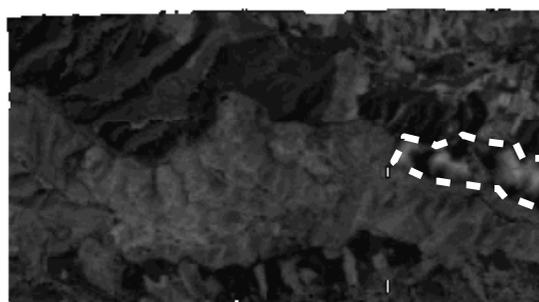
2004



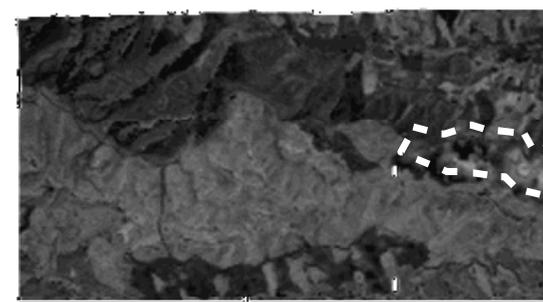
時系列DCMの作成結果 青森県七戸町



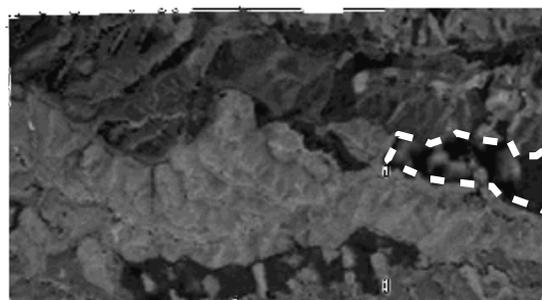
1966



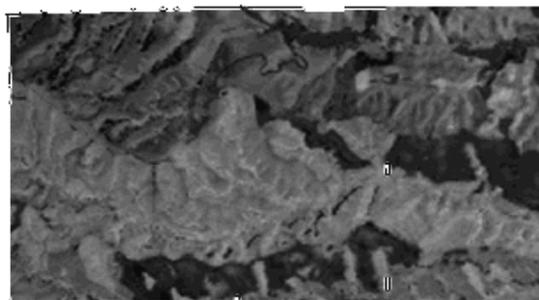
1977



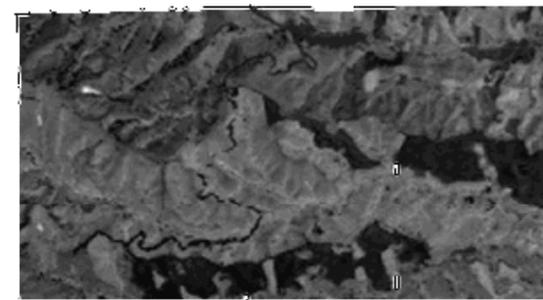
1983



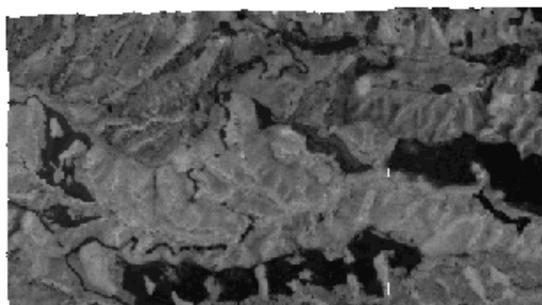
1988



1993



1997



2002



3-PGモデルの樹種パラメータの設定

- 感度の低いパラメータは針葉樹の3-PGモデルのデフォルトパラメータを使用
- Landsberg et al., (2003)が多様な樹種に適用した際の共通のパラメータ値を使用
- 感度の高いパラメータである相対成長式は現地調査のデータを使用
- 樹種パラメータの設定には時系列のデータが必要
 - 多数の現地調査データに基づいて作成された、その対象地の代表的な時系列変化として林分収穫表を活用
 - 既存の文献による値を活用
- 林分収穫表の時系列変化と一致するように手動でパラメータを設定（キャリブレーション）

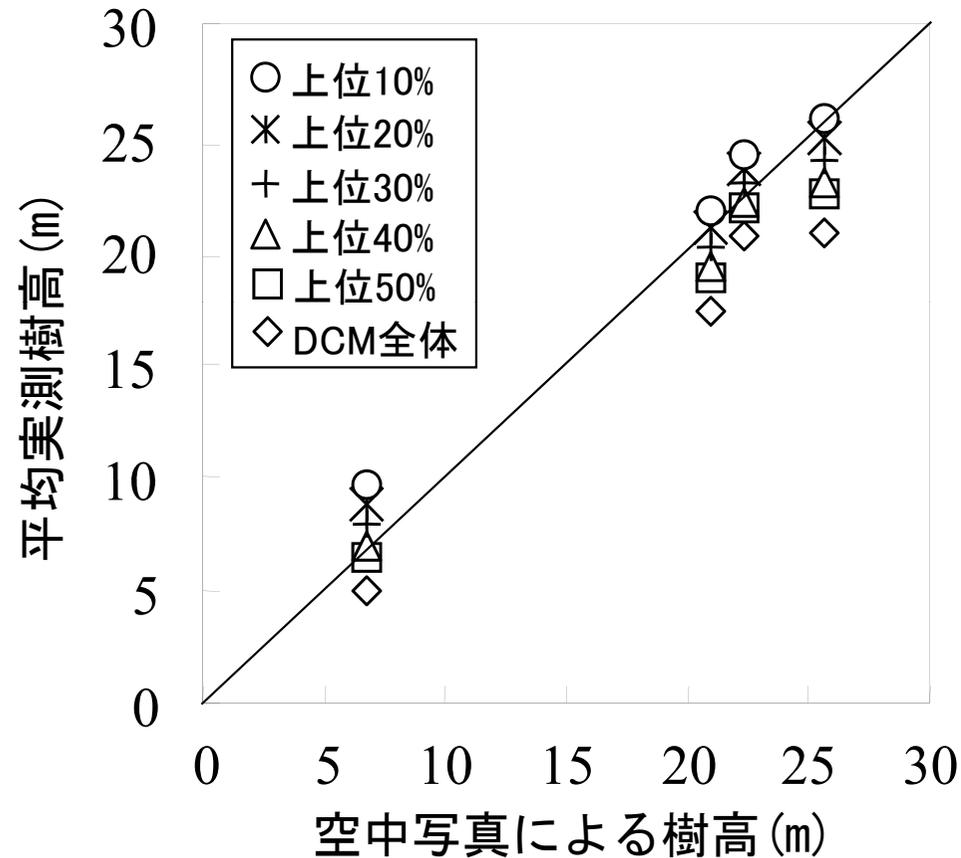
統合手法のまとめ

- 点群密度の高いLiDARデータから抽出した単木データによる森林の3次元構造データと統合
 - 土壌の肥沃度と樹木本数に関するパラメータを調整
- 点群密度の低いLiDARおよびALOS/PRISMから抽出したDCMによる森林の3次元構造データと統合
 - 植栽年と樹木本数に関するパラメータを調整
- 空中写真による時系列の樹高変化と林分収穫表の時系列変化と概ね一致した
 - 妥当な精度で将来予測が行えることを確認

各林班の成長段階やバイオマス(炭素貯蔵量)を考慮した上で、炭素貯蔵量と二酸化炭素吸収量を算定する手法が確立

実測樹高との比較

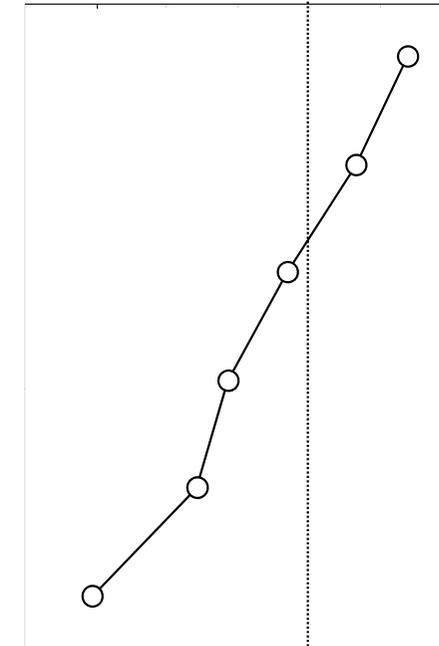
平均実測樹高とDCM画素値の 集計値との関係



誤差平均(m)の変化

- 上位10%
- ✱ 上位20%
- + 上位30%
- △ 上位40%
- 上位50%
- ◇ DCM全体

過小推定 過大推定
-3 -2 -1 0 1



全ての画素を使うと過小推定だが、上位の画素を用いると過小推定が軽減される

DCMの上位20~30%の画素値で平均値を求めること
で、林班ごとの平均的な樹高が推定可能