

1
RIHN-CERES 連携構築ワークショップ

3月27日 京都

光学とマイクロ波リモートセンシング
データを用いた日本の森林による
二酸化炭素固定量の算定

飯塚 浩太郎

光学



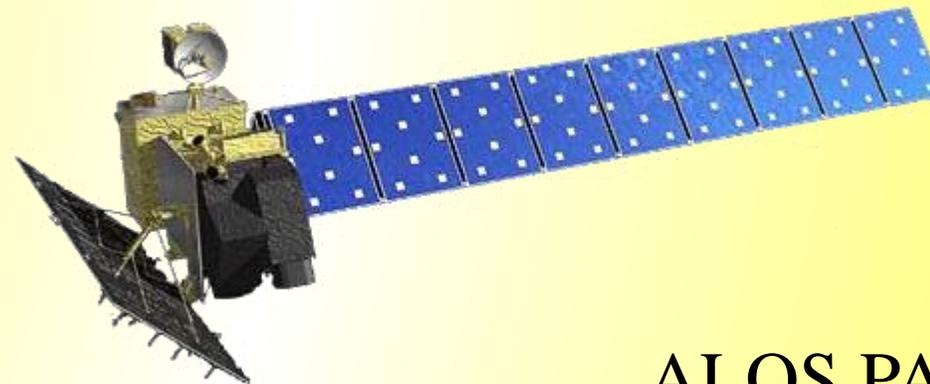
LANDSAT 8 OLI

Operational Land Imager

打ち上げ: 2013-02-11

軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	705 km
周期	99分
軌道傾斜角	98.2度
赤道通過 地方太陽時	10:00
回帰	16日
解像度	30 m (熱赤外:100 m)

マイクロ波



ALOS PALSAR

フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー

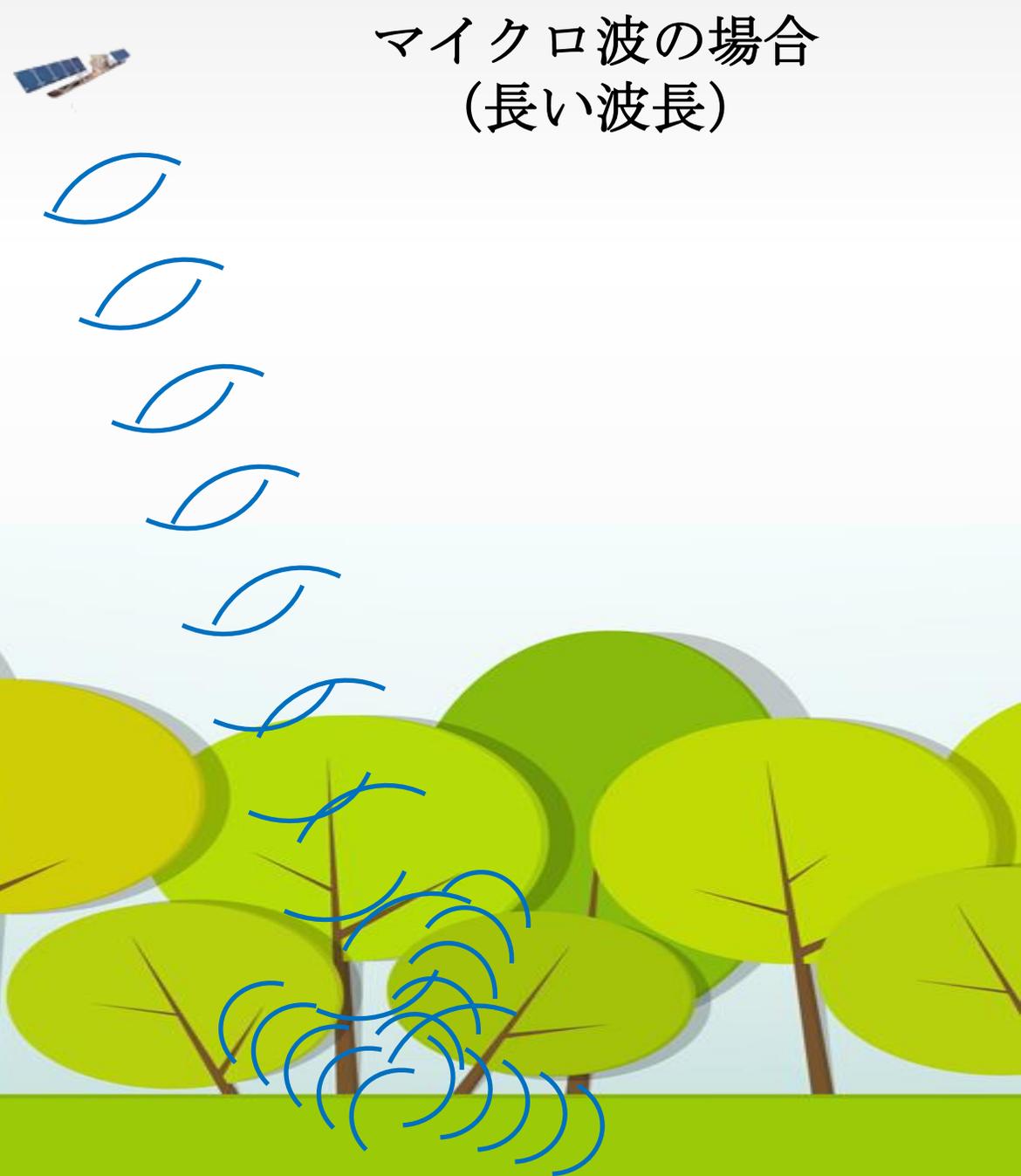
※運用終了

軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	691.65 km
周期	98.7分
軌道傾斜角	98.16度
赤道通過 地方太陽時	10:30±15分
回帰	46日
解像度	10 - 30 m (モードによる)

光学の場合
(短い波長)



マイクロ波の場合
(長い波長)



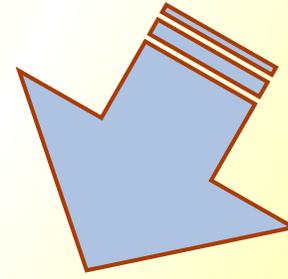
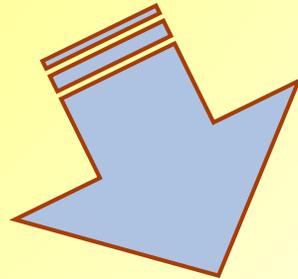
研究目的

光学

詳細な土地被覆図

マイクロ波

材積量推定マップ
(林齢抽出)



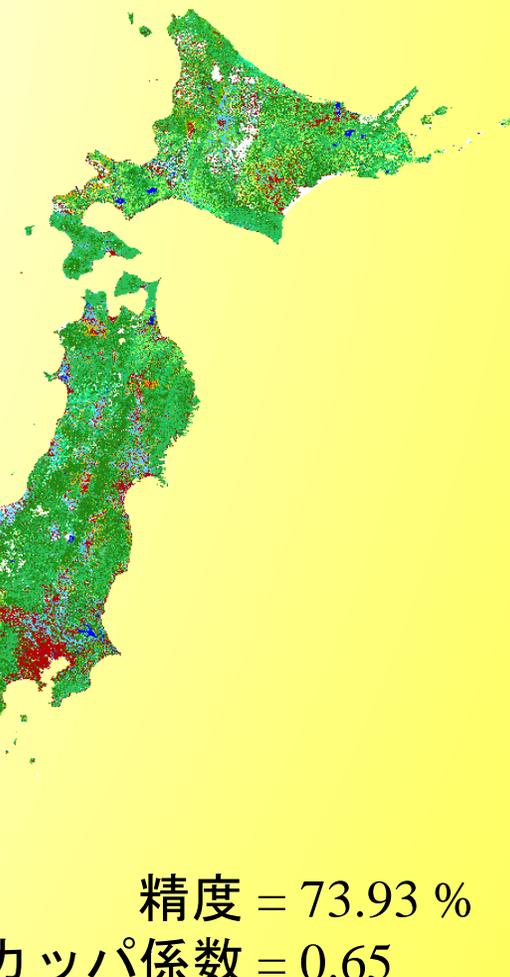
日本の森林によるCO₂固定量の算定

土地被覆図作成

日本全体(本土)35シーン使用



- Water Bodies
- Urban
- Paddy Fields
- Crop Lands
- Orchards
- Grasslands
- Silver Grass
- Bare Lands
- Coniferous
- Evergreen Broadleaf
- Deciduous Broadleaf
- Snow/Clouds



Etc....



Producers Accuracy:
 針葉樹 (85.2 %), 常緑広葉樹 (53.3 %) 落葉広葉樹 (68 %)



赤バンド



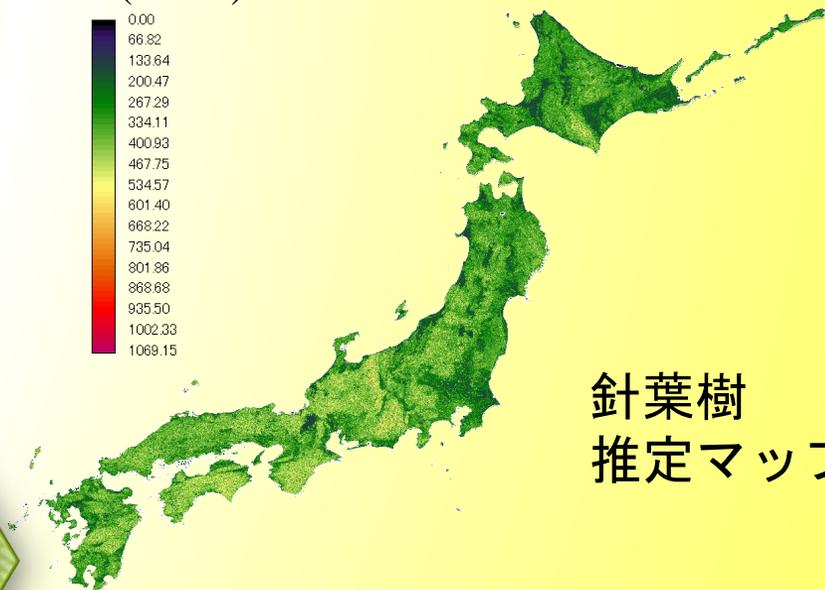
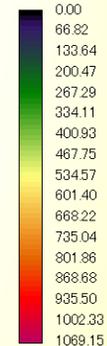
植生指数

変数として入力

林分材積量 推定マップ

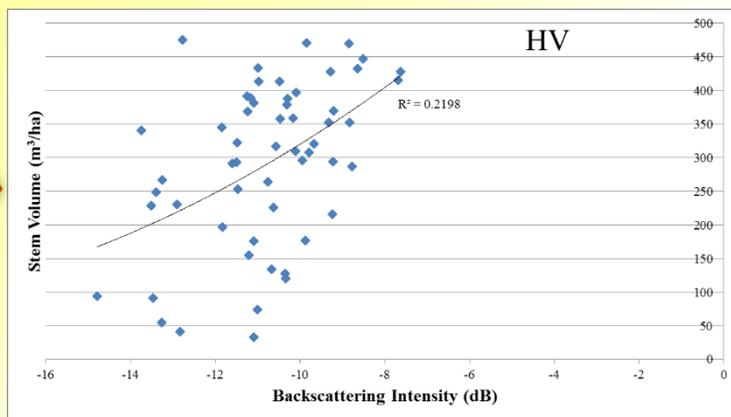


(m³/ha)

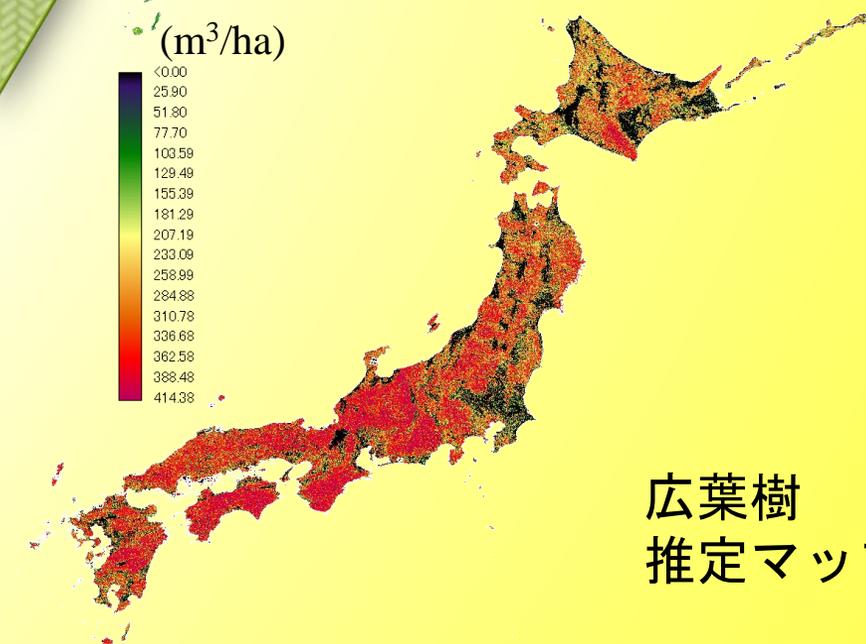


針葉樹
推定マップ

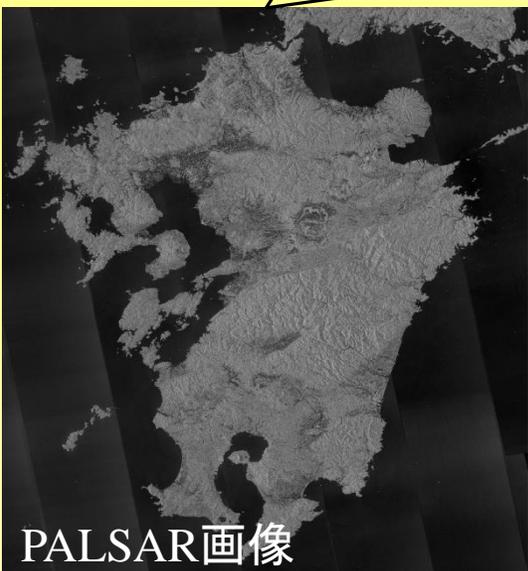
現地データとマイクロ波データ
後方散乱モデルを作成



(m³/ha)



広葉樹
推定マップ

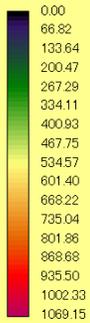


PALSAR画像

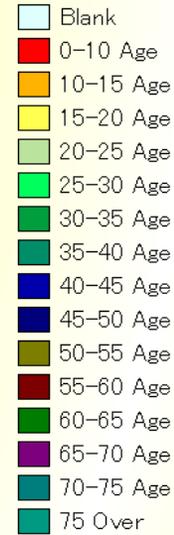
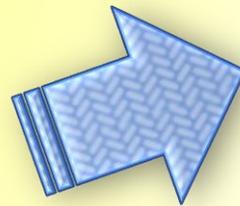
$$\text{Stem Volume} = 1.4192\sigma_{HV}^2 + 60.472\sigma_{HV}^0 + 773.8$$

林齢マップ

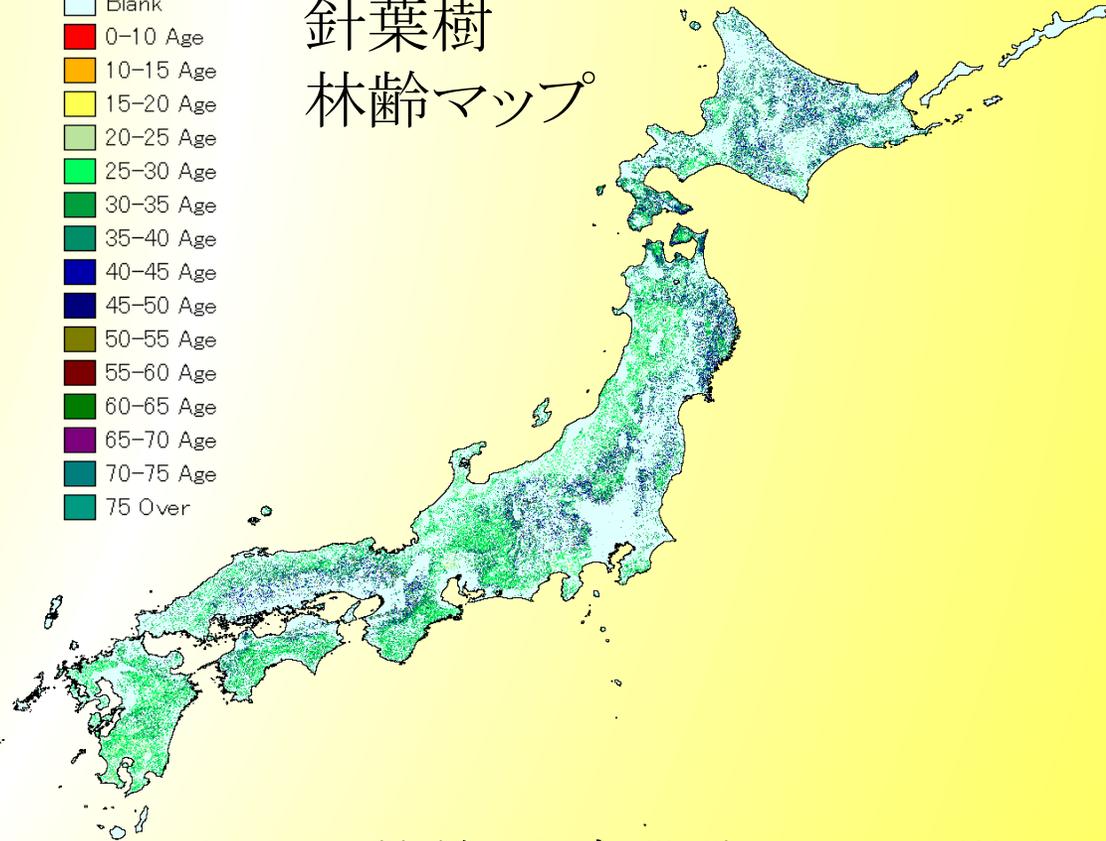
(m³/ha)



材積量
↓
林齢に変換



針葉樹
林齢マップ

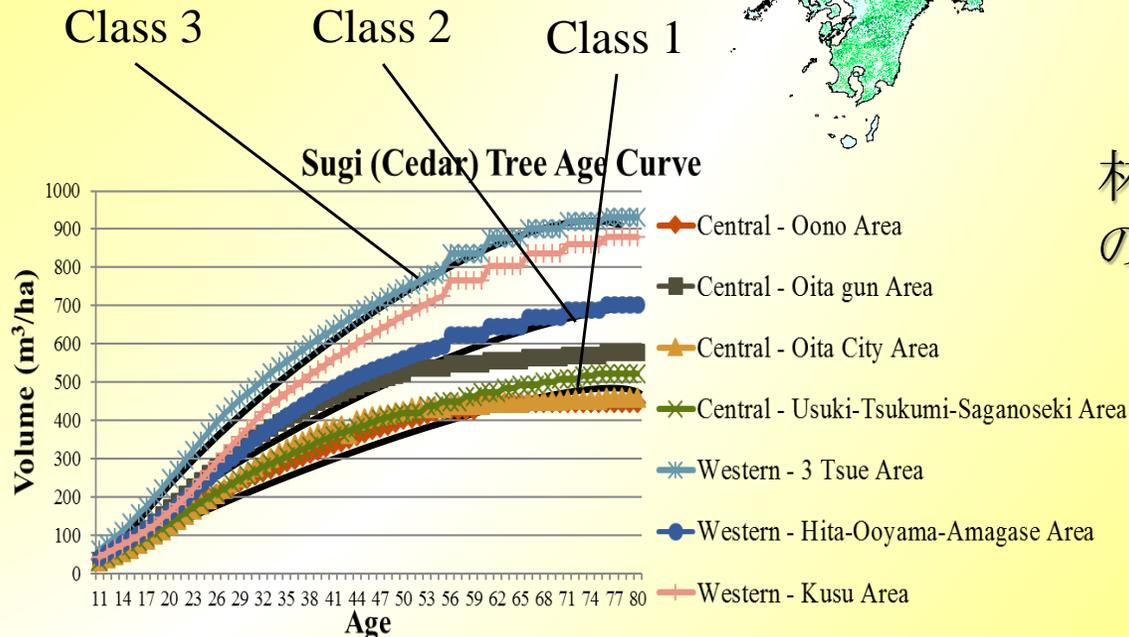


雨量データ



針葉樹
雨量閾値

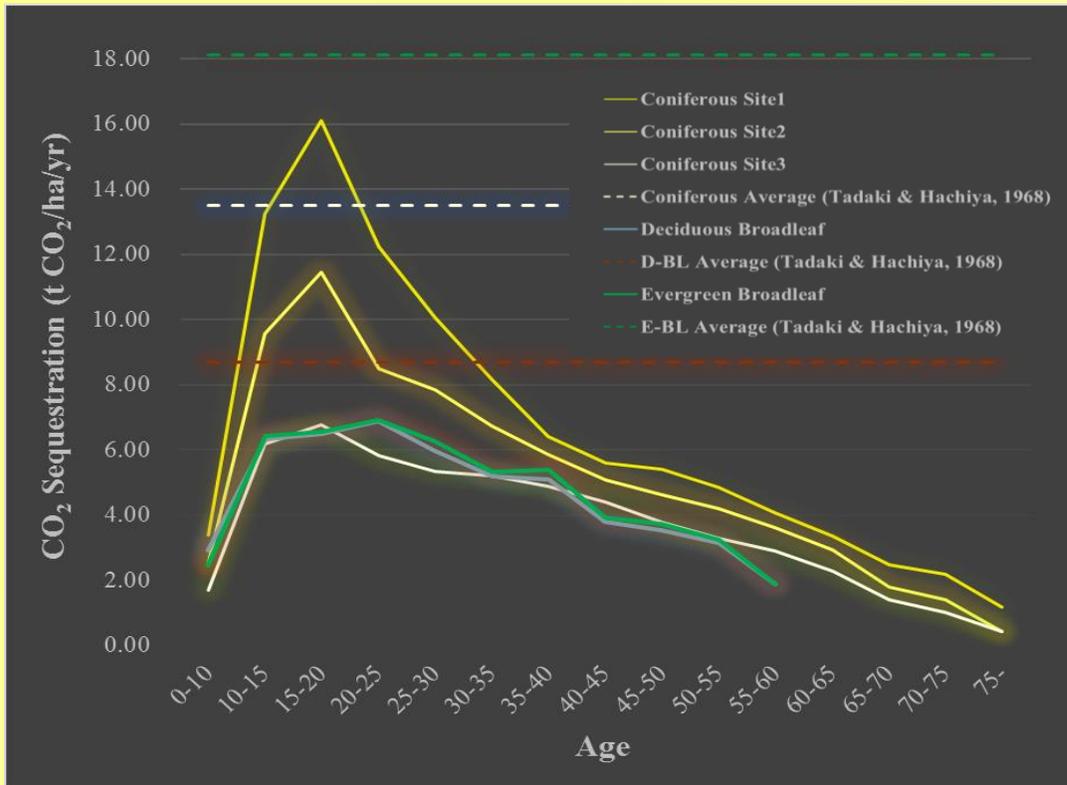
- Class 1 = <1,600 mm
- Class 2 = 1,600 – 2,000 mm
- Class 3 = >2,000 mm



林齢: 生育段階によって樹木の固定量は異なるため重要

CO₂個定量マップ

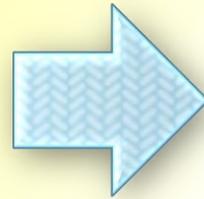
林齢毎のCO₂個定量値



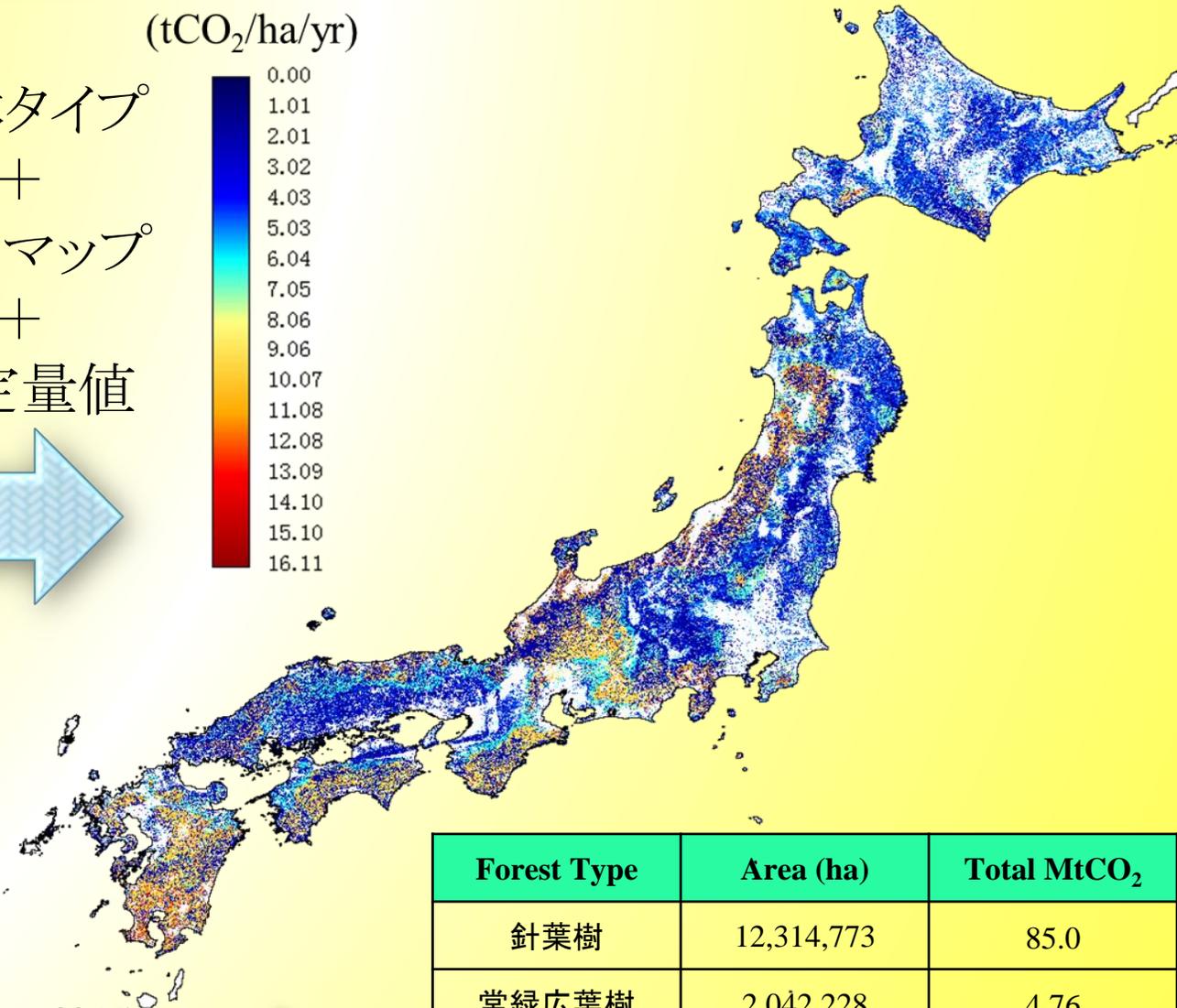
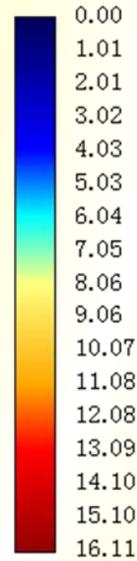
Site 1 = 高成長率
 Site 2 = 中成長率
 Site 3 = 低成長率

X軸 = 林齢
 Y軸 = 固定量/ha/年

森林タイプ
 +
 林齢マップ
 +
 固定量値



(tCO₂/ha/yr)



Forest Type	Area (ha)	Total MtCO ₂
針葉樹	12,314,773	85.0
常緑広葉樹	2,042,228	4.76
落葉広葉樹	10,190,332	21.61
全体	24,547,351	111.27

$$Q_t = \sum A_{ie} \times S_{ie}$$

Q_t = トータルの固定量
 A = 森林面積
 S = 単位面積当たりの固定量値

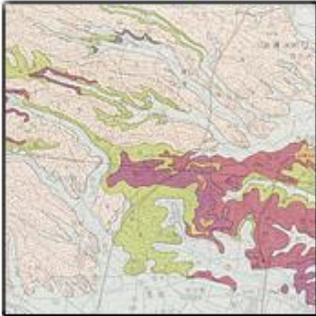
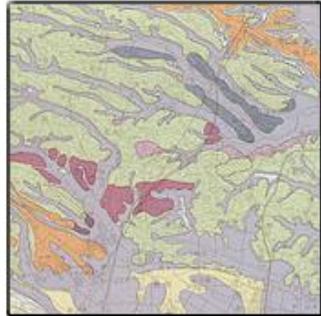
i = 林種
 e = 林齢

今後への発展・可能性

地形分類図

表層地質図

土壌図



宮城県「古川」の一部

地形分類図

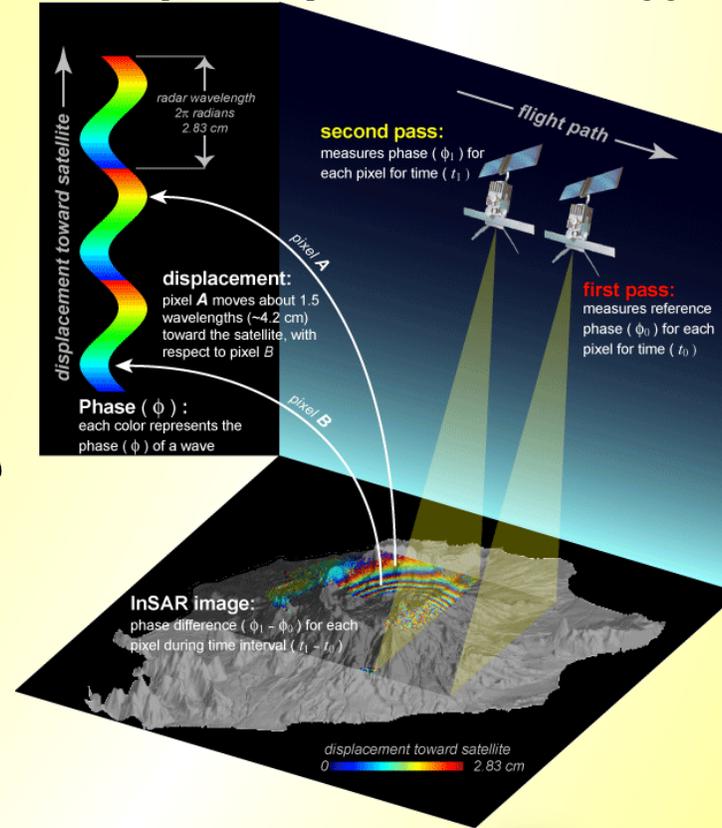
表層地質図

土壌図

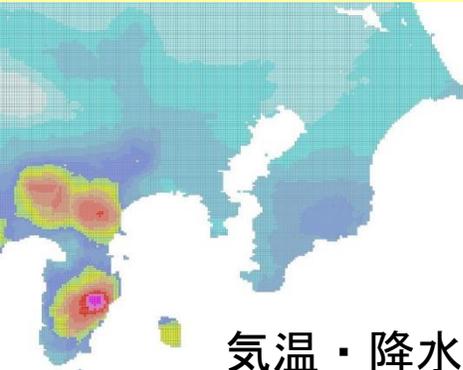
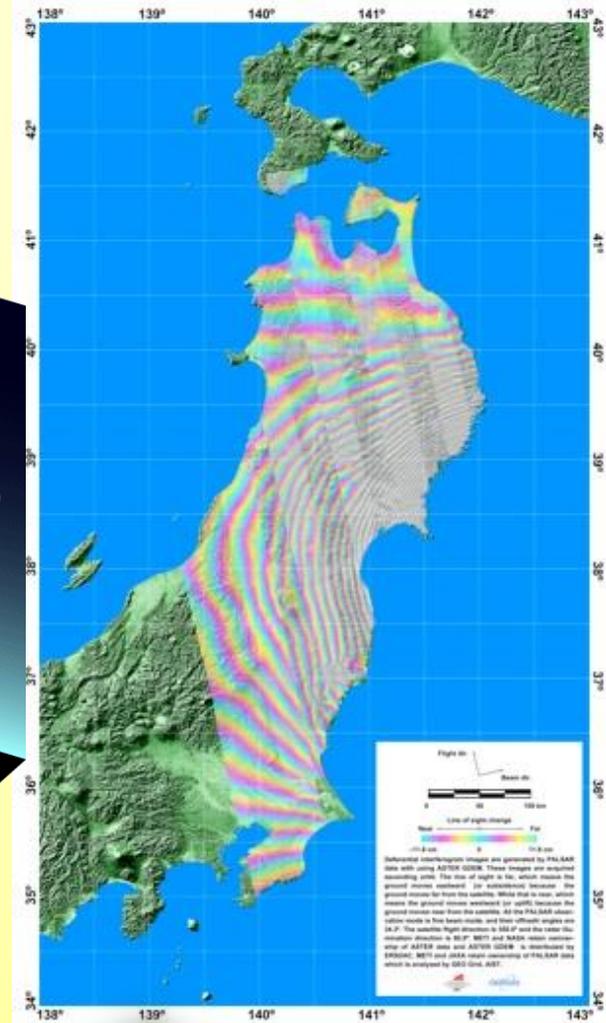


九州地方の一部

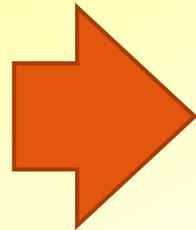
(http://insar.sk/wp-content/uploads/2012/09/InSAR_big.gif)



とか



気温・降水量・日射量

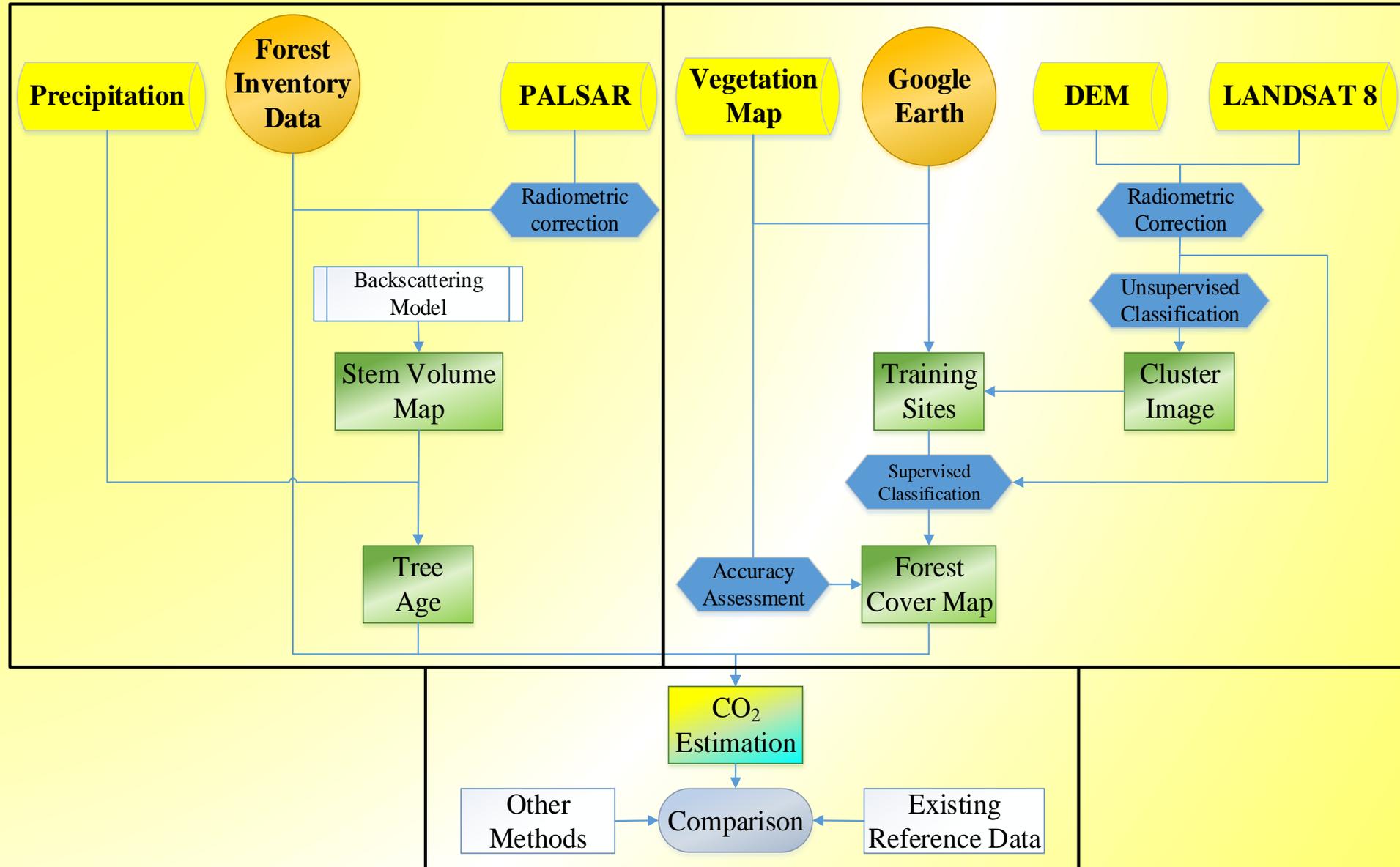


GISベースでできる
林地生産力の推定
(空間スケール)

マイクロ波データの位相情報を利用
インターフェロメトリ技術を応用した
森林の成長量・消失量の計算

ありがとうございました

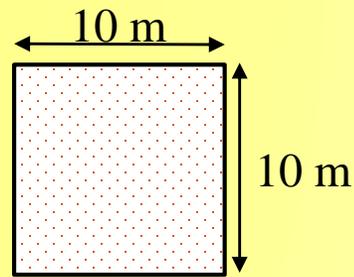
フローチャート全図



PALSAR解析・及び 材積量マップの作成



調査データ

プロット
範囲

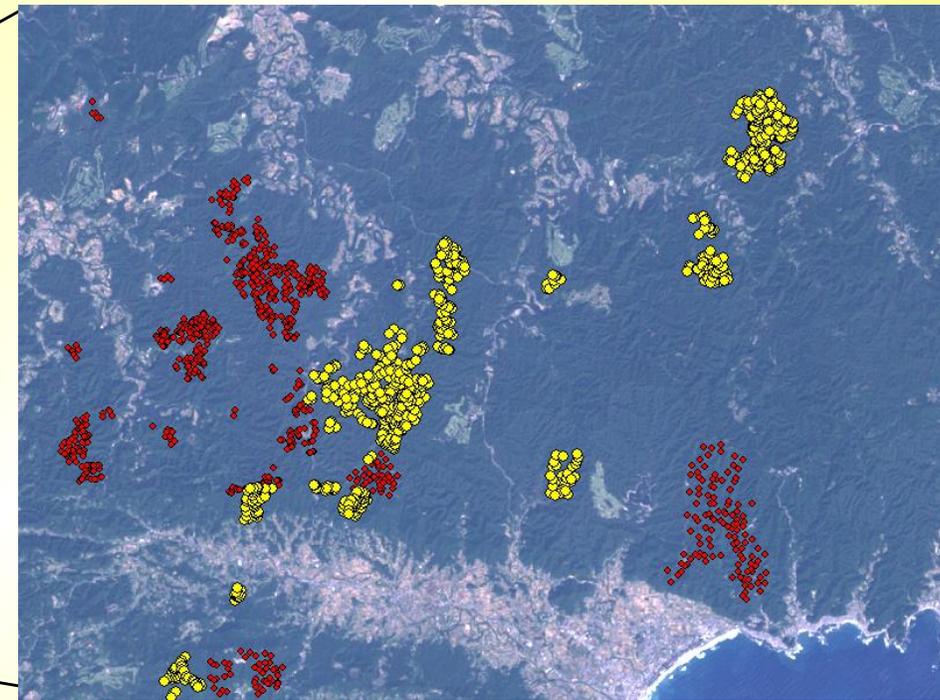
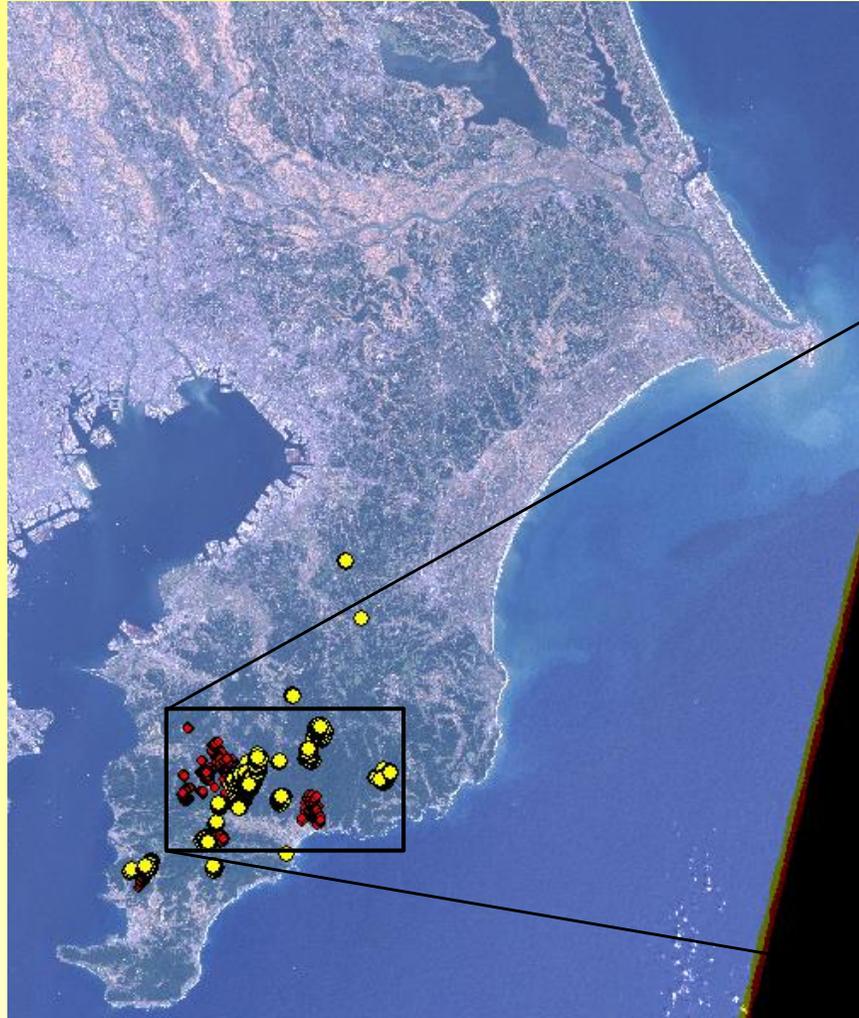
(Chiba Prefecture, 2012)

林班	小班	樹種	林齢	斜面	位置	標本面積 (ha)	平均DBH (cm)	平均 H (m)	本数/ha	蓄積 (m ³ /ha)	胸高断面 積 (m ² /ha)	R _y	林分形状比	相対幹距	平均枝下高 (m)	枯枝上部高 (m)	調査年月日
1	い-6	スギ	28	W34	中腹	0.01	20.4	14.5	2,200	664	80.0	0.86	71	15%	8	8	2011/3/14
1	い-10	スギ	28	NE36	中腹	0.01	32.6	19.5	1,300	1117	118.9	0.84	60	14%	10	10	2011/3/17
1	ろ-1	スギ	28	NW38	中腹	0.01	18.0	10.6	2,100	292	54.9	0.73	59	21%	1	1	2011/3/16
1	ろ-2	スギ	28	NE36	中腹	0.01	17.5	10.3	1,600	214	40.3	0.63	59	24%	2	2	2011/3/16
1	ろ-3	スギ	80	NE21	中腹	0.01	27.2	18.0	1,700	1030	108.5	0.88	66	13%	5	5	2011/3/16
1	ろ-4	スギ	28	N45	中腹	0.01	19.7	13.6	2,300	507	72.8	0.85	69	15%	3	3	2011/3/16
1	ろ-8	スギ	80	NE38	中腹	0.01	22.4	14.8	2,200	881	102.3	0.87	66	14%	9	9	2011/3/17
1	に-2	スギ	82	SW83	中腹	0.01	34.5	17.1	1,100	951	116.9	0.75	49	18%	7	7	2011/3/16
1	へ-1	スギ	23	SE41	中腹	0.01	12.2	8.3	2,800	170	35.0	0.71	68	23%	6	6	2011/3/4
1	へ-4	スギ	80	SE40	中腹	0.01	31.7	21.1	1,300	1223	117.0	0.87	67	13%	8	8	2011/3/14
1	へ-9	スギ	80	SE38	中腹	0.01	27.9	16.4	1,400	853	98.1	0.79	59	16%	8	8	2011/3/15
1	へ-11	スギ	80	NE38	中腹	0.01	37.8	22.0	1,300	1580	164.9	0.88	58	13%	8	8	2011/3/15
1	へ-12	スギ	23	SE40	中腹	0.01	14.4	9.7	1,800	162	30.8	0.65	67	24%	4	4	2011/3/15



調査データ

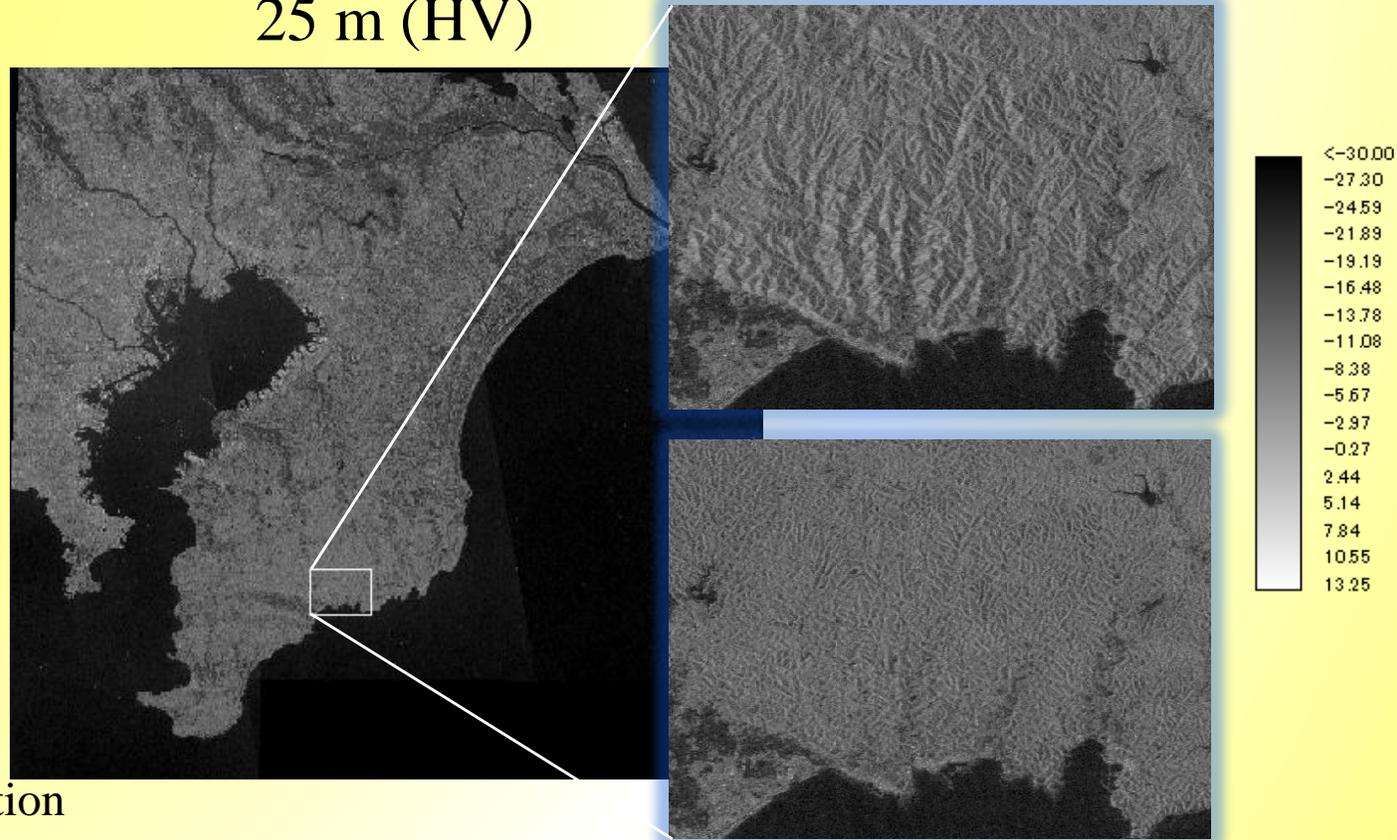
2011 中央+南 (赤)
2012 中央+南 (Yellow)
観測プロット数 (1938)



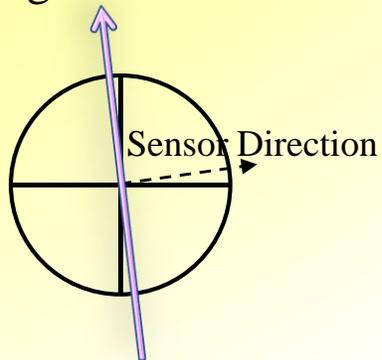
PALSAR GLOBAL MOSAIC (PGM)

25 m (HV)

2009+2010
平均化



Flight Direction



$$\sigma^0 \text{ (dB)} = 10 \times \log_{10} DN^2 + CF$$

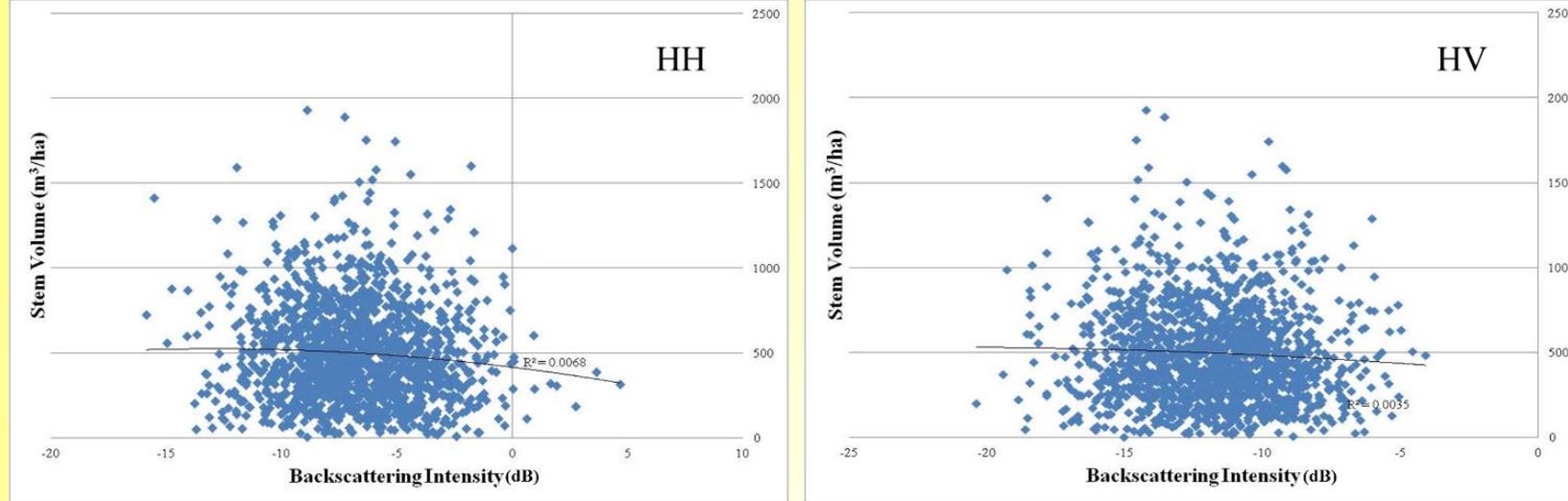
σ^0 = 後方散乱強度

上図 = 補正なし
下図 = 補正あり

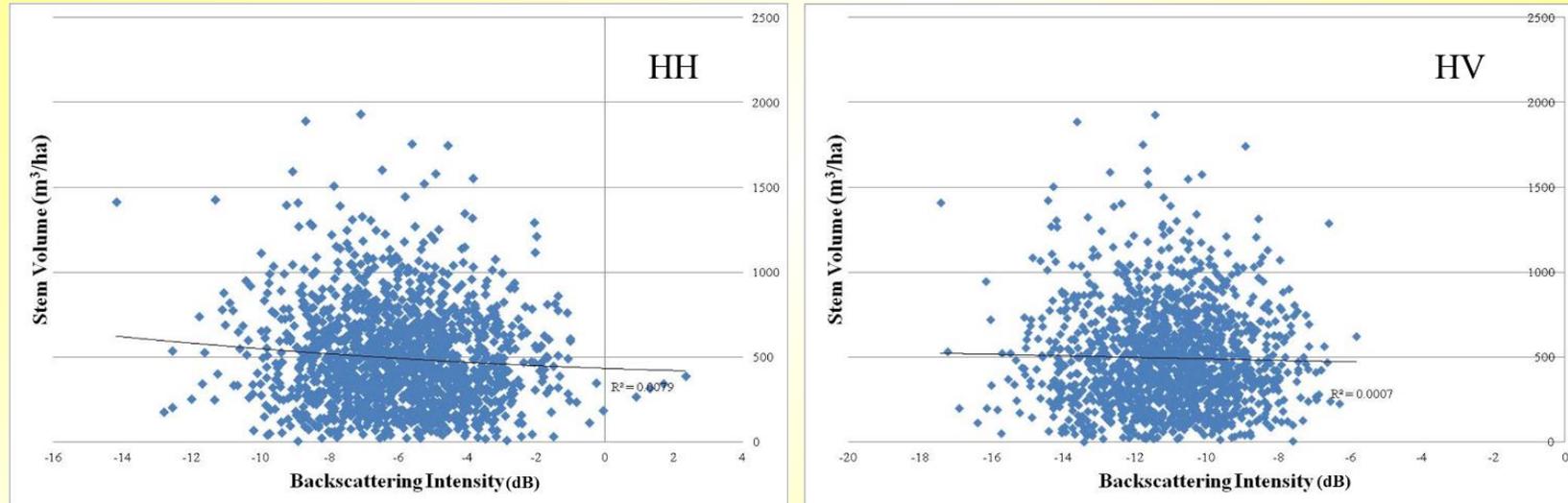
森林 - σ^0 の関係性分析

- (a) = 10 m PALSAR X軸 = 後方散乱強度 (dB)
(b) = 25 m PALSAR Y軸 = 林分材積量 (m^3/ha)

(a)



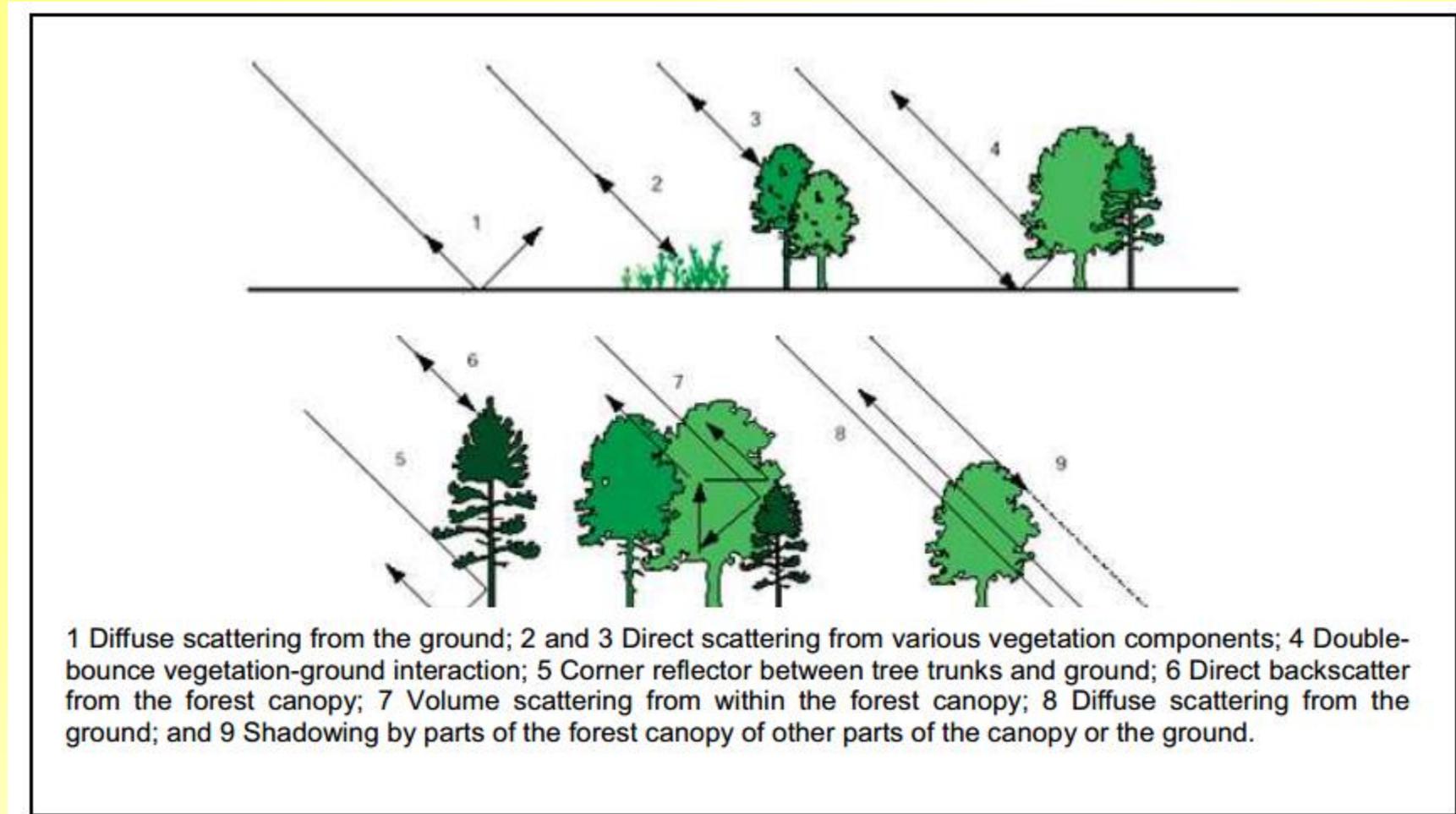
(b)



森林 - σ^0 の関係性分析

後方散乱は次の要因で構成されている

Ulaby et al. (1990) は11固の成分を見つけた

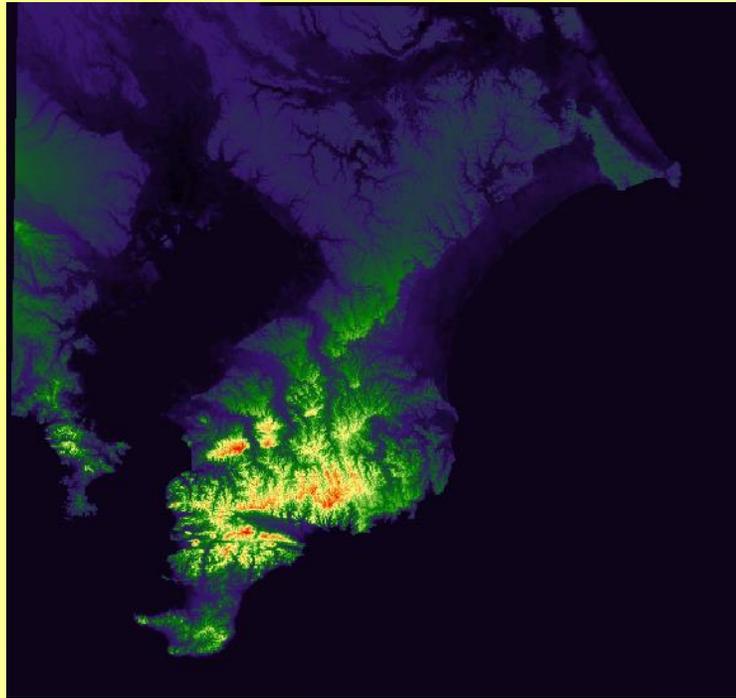


SARによる樹木から表面散乱と体積散乱の種類(Piwowar, 1997)

森林域からの後方散乱は、植生、種、構造によって変化する

(Leckie, 1990; Dobson et al., 1992a; 1992b; 1995)

数値標高モデルを変換 (DEM)



10 m DEM



Resample to 25 m
(Bilinear Method)



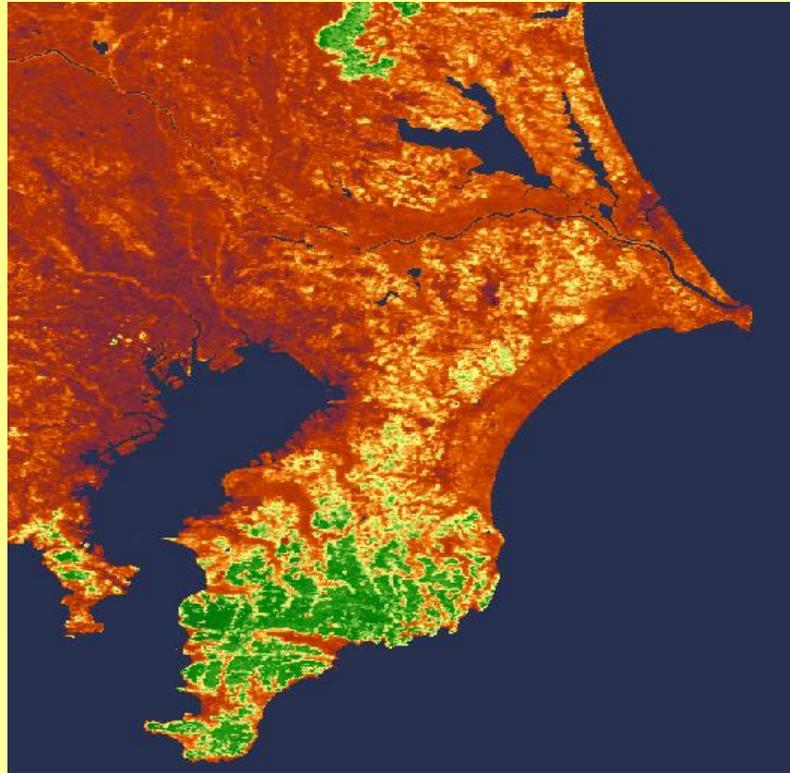
方位
aspect

傾斜
Slope

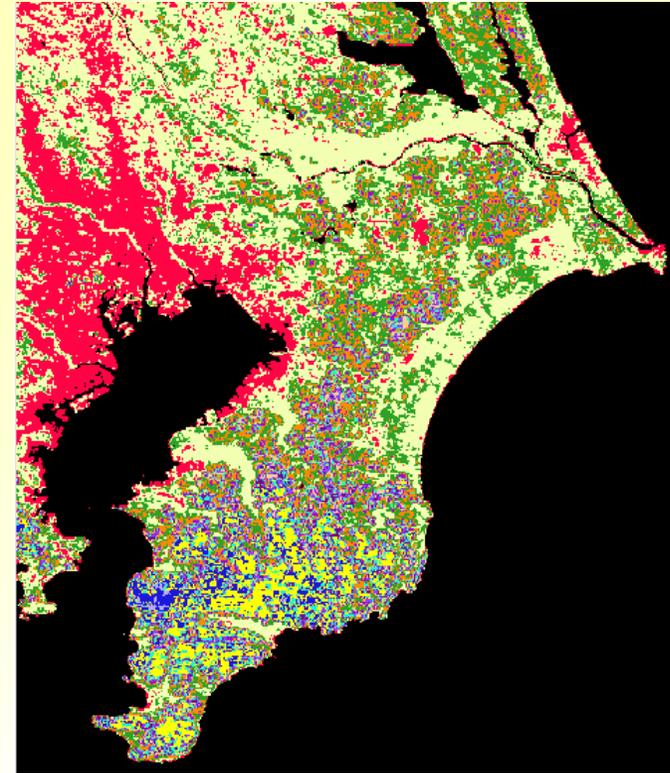
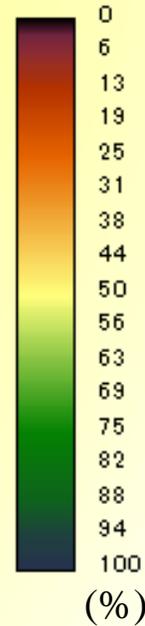


Vegetation Continuous Fields (VCF)

(DiMiceli et.al, 2011)



VCF Ver.5 250 m (2010)

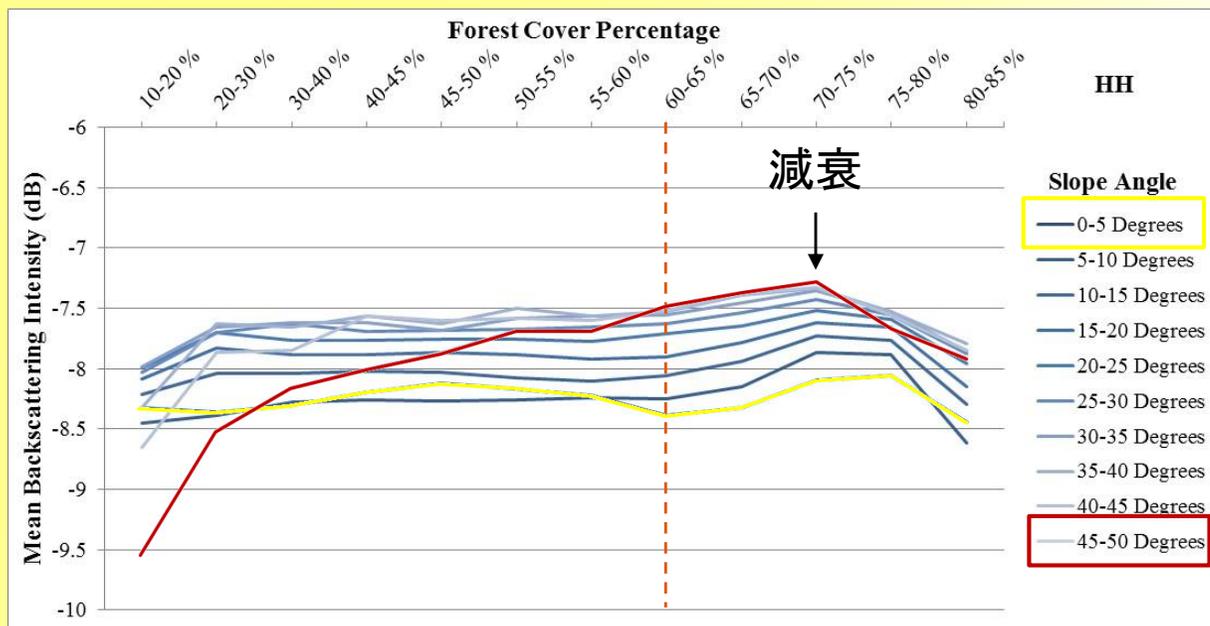


Reclassified VCF 25 m

Class ID	Percentage
1	0-10 %
2	10-20 %
3	20-30 %
4	30-40 %
5	40-45 %
6	45-50 %
7	50-55 %
8	55-60 %
9	60-65 %
10	65-70 %
11	70-75 %
12	75-80 %
13	80-85 %

Resample to 25 m (Bilinear Method)

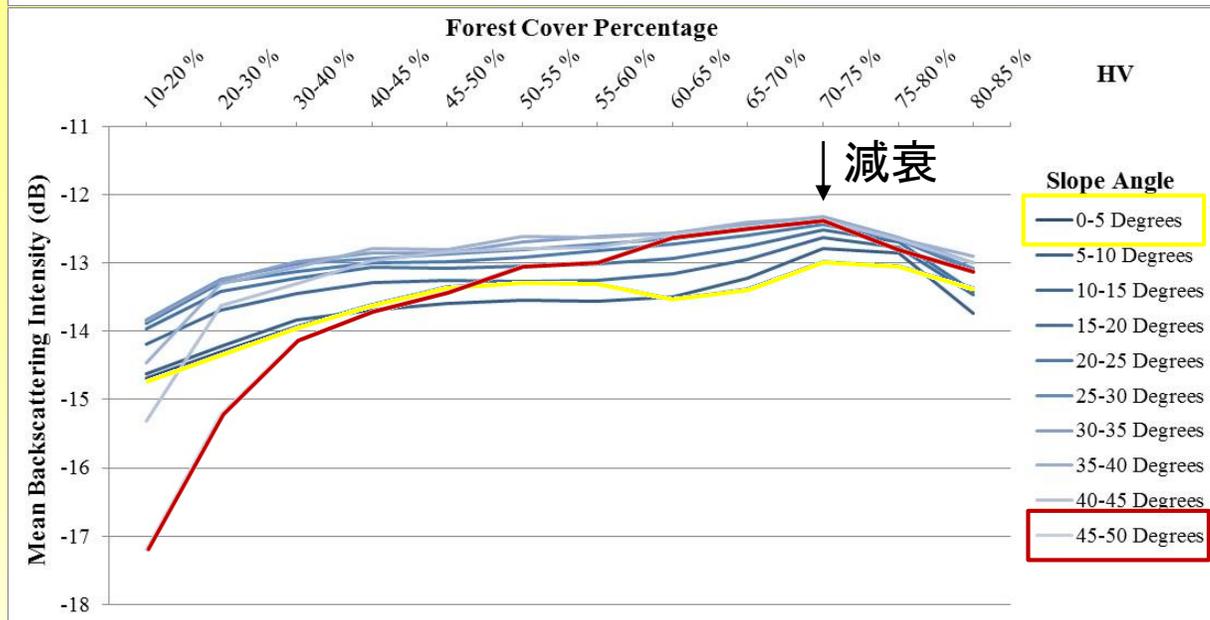
後方散乱強度の特性



※Foreslope Area

X軸 = 森林被覆率

Y軸 = 後方散乱強度 (平均)



各 傾斜域

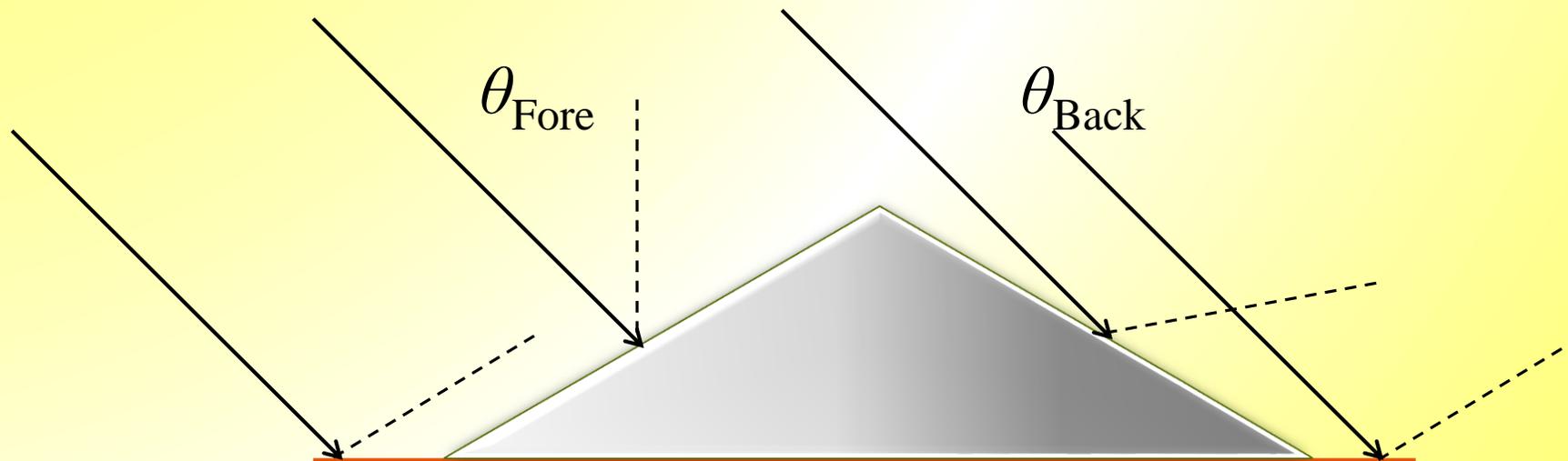
各 森林被覆率域

からの後方散乱の特徴

後方散乱強度の特性

新しくわかったこと

- σ^0 は傾斜が高くなるにつれて上がる (Foreslope)
- σ^0 は傾斜が高くなるにつれて下がる (Backslope)
 - Local Incidence Angleによる違い
- レーダーの減衰 (樹冠(林冠)等による)

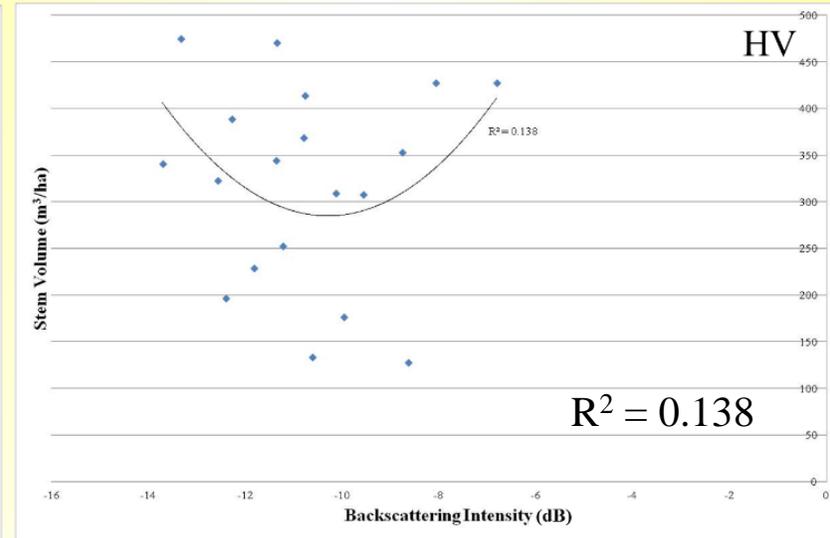
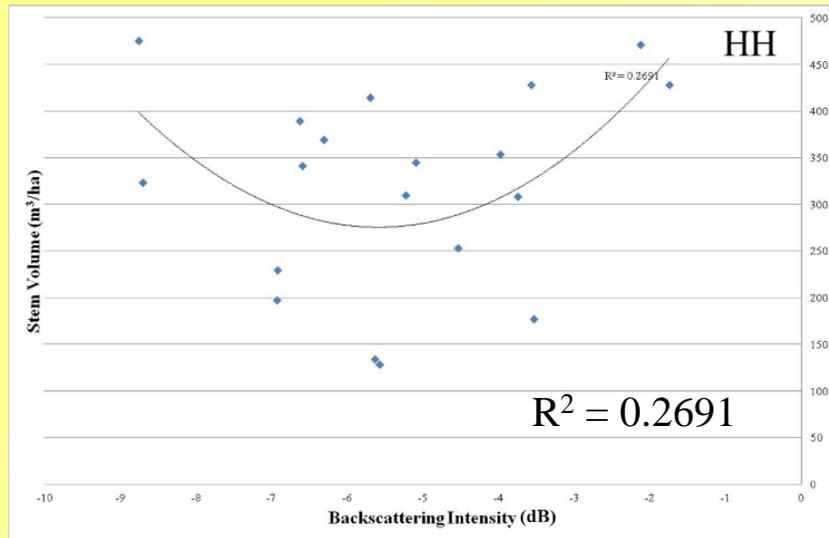


森林 - σ^0 の関係性分析

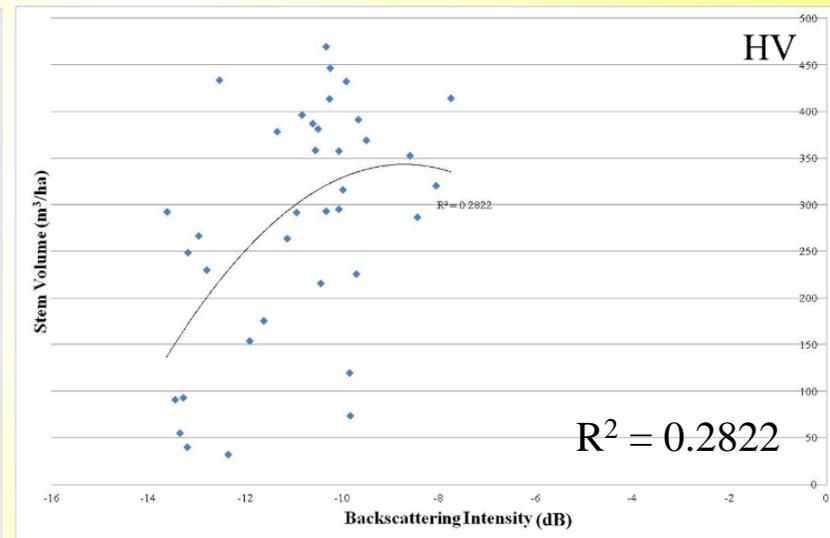
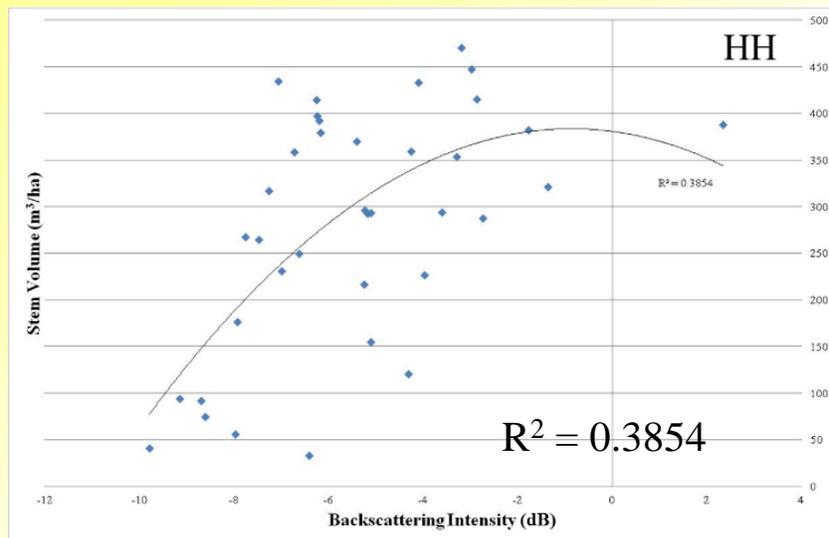
(a) = スギ X軸 = 後方散乱強度 (dB)

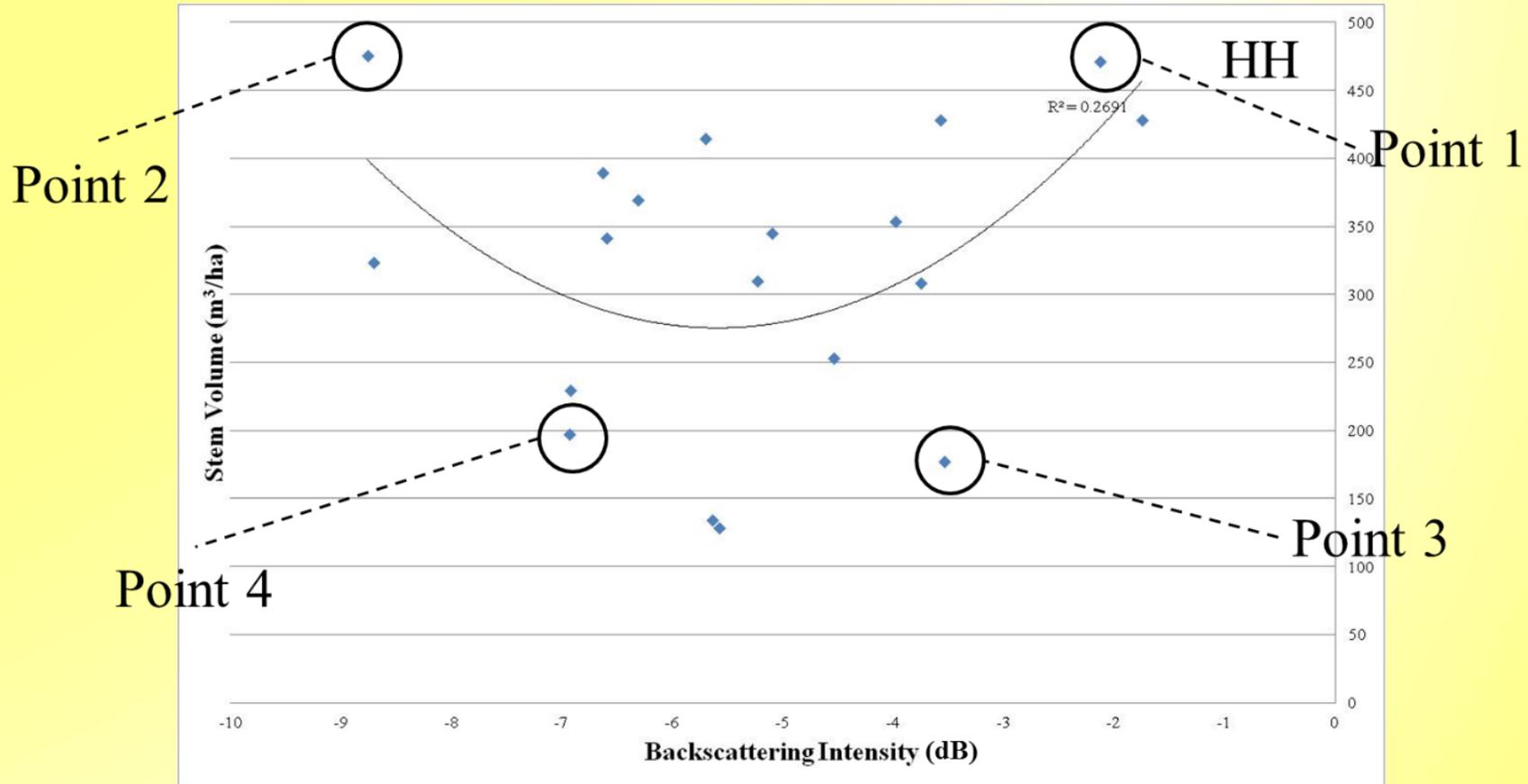
(b) = ヒノキ Y軸 = 林分材積量 (m^3/ha)

(a)



(b)



森林 - σ^0 の関係性分析

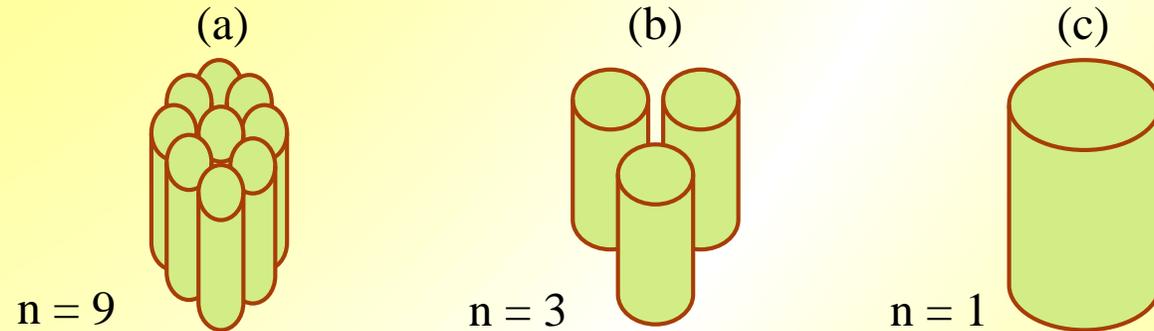
スギ

類似する材積量でありながら
対照的な後方散乱強度を持つポイント

森林 - σ^0 の関係性分析

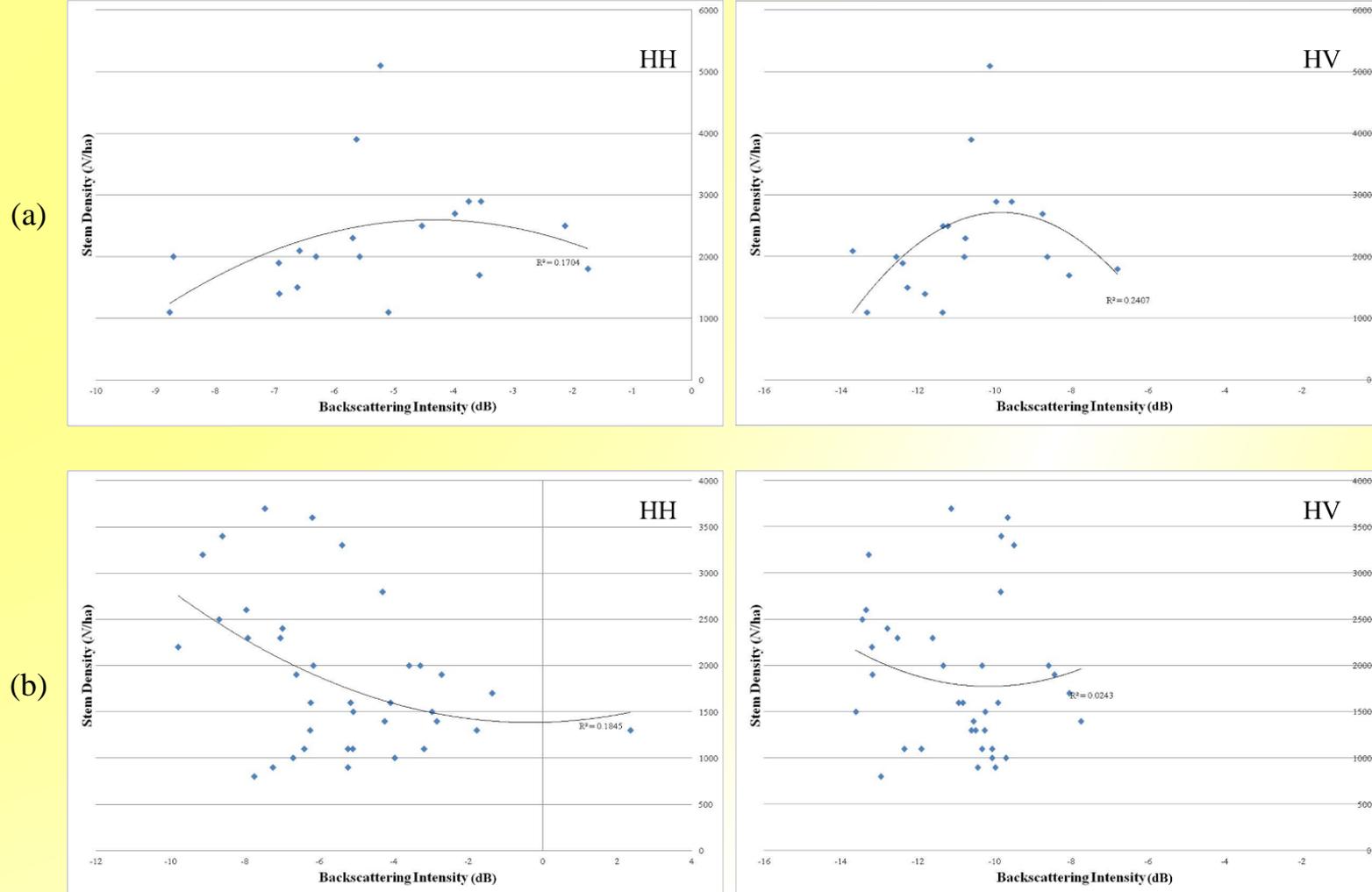
	dB	DBH (cm)	Height (m)	Density/ha	Volume/ha	Age
Point 1	-2.13	16.56	11.96	2500	471	20
Point 2	-8.76	26.545	15.18	1100	475	57
Point 3	-3.54	12.76	8.76	2900	177	22
Point 4	-6.94	14.84	11	1900	197	18

単位面積当たりの材積量とは.... (Brolly and Woodhouse, 2012)



後方散乱の総計は本数はもとより、形や大きさによっても決定される

(Imhoff, 1995; Smith-Jonforsen et al., 2007)

森林 - σ^0 の関係性分析

(a) = スギ
(b) = ヒノキ

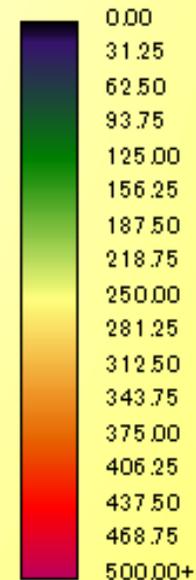
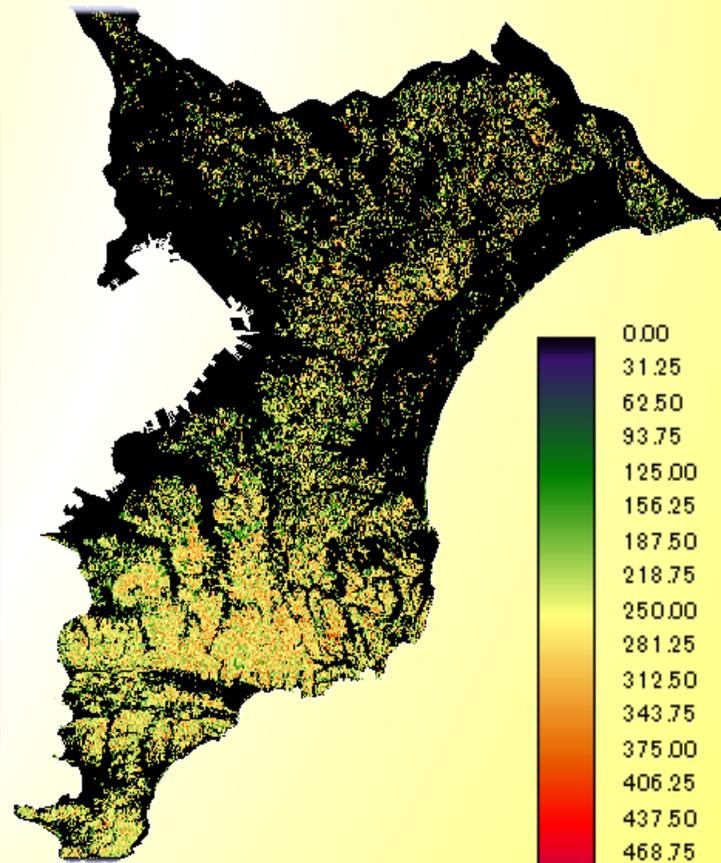
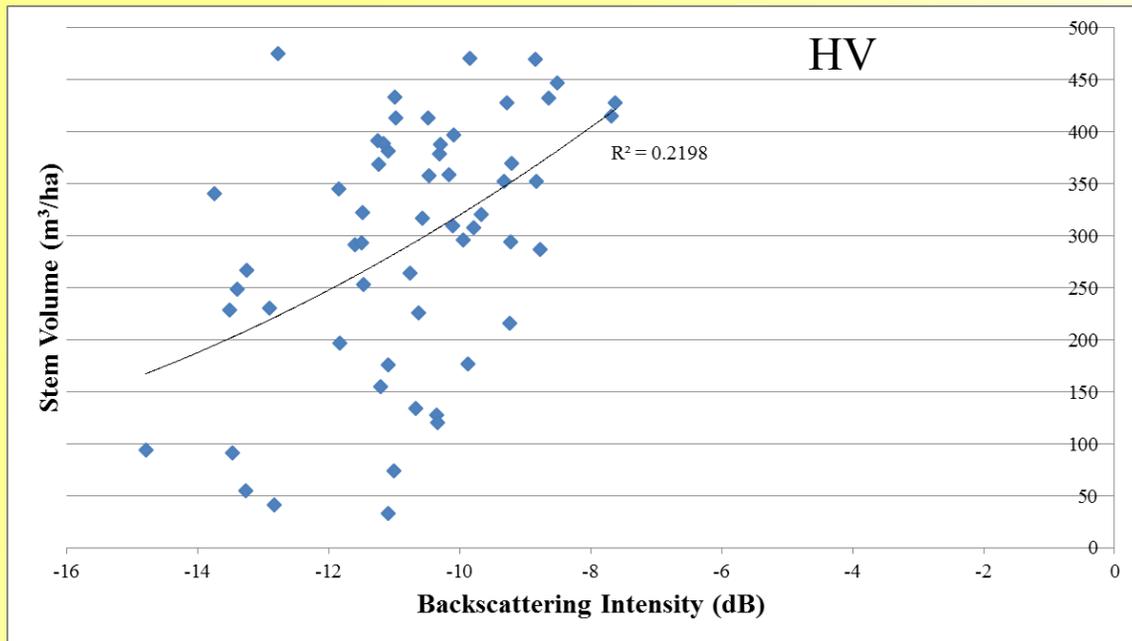
X軸 =
後方散乱

Y軸 =
本数/ha

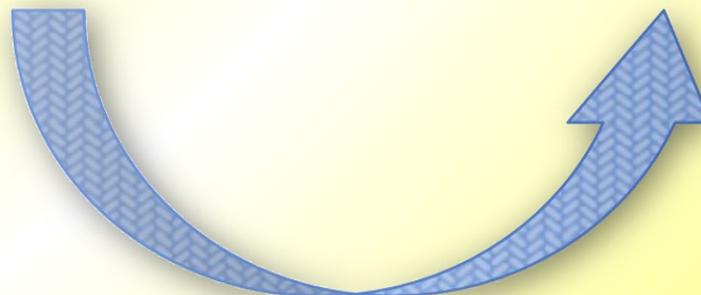
スギ林に関しては、本数は一つの要因として重要である

→スギの心材の含水率がヒノキと比べて非常に高い (要検証)

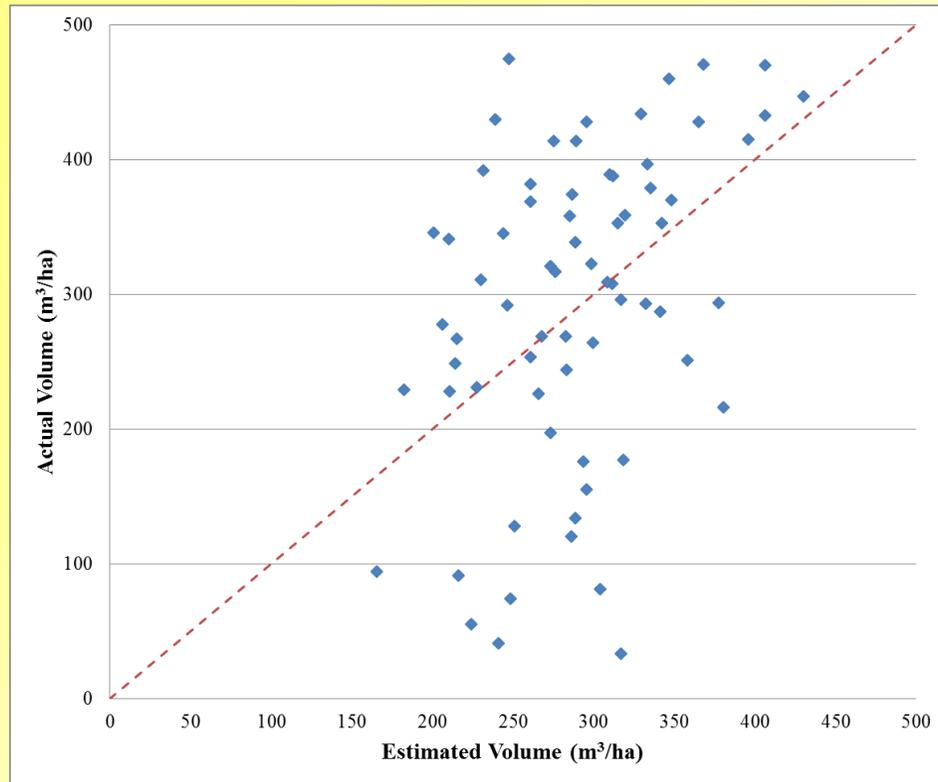
林分材積量 推定マップ



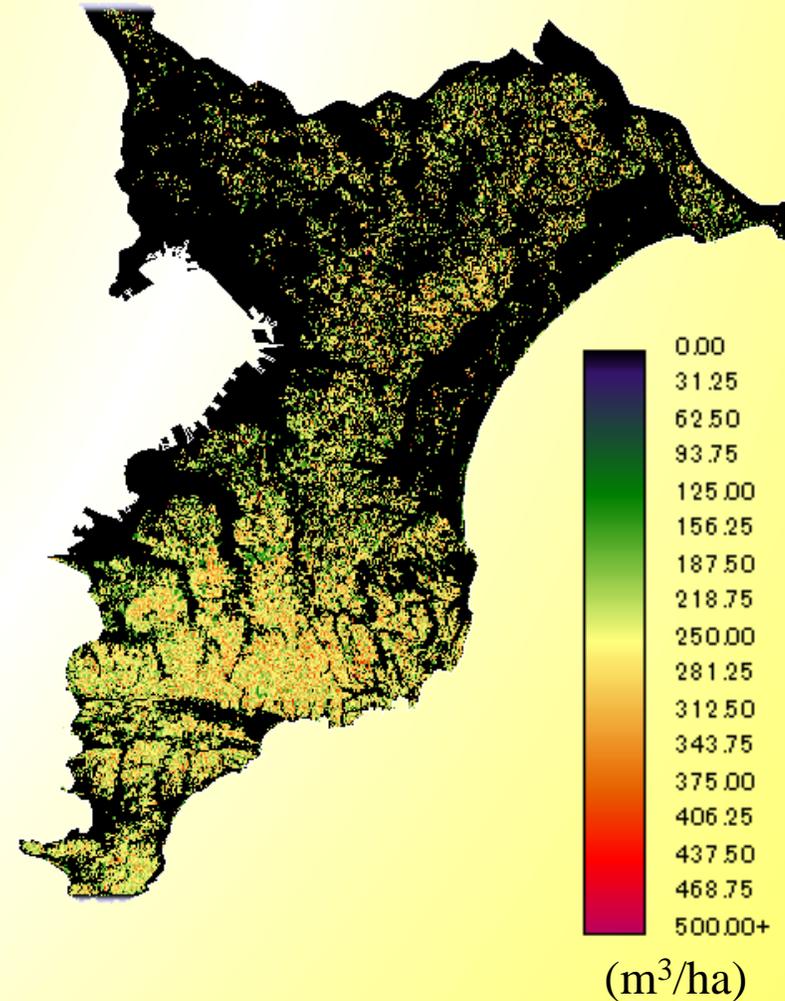
$$StemVolume = 1.4192\sigma_{HV}^{0^2} + 60.472\sigma_{HV}^0 + 773.8$$



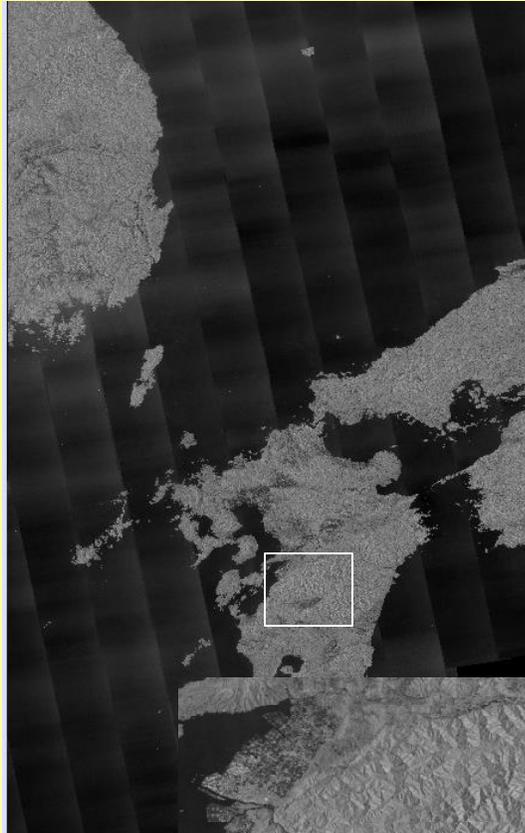
後方散乱モデルの評価



RMSE = 105.58 m³/ha

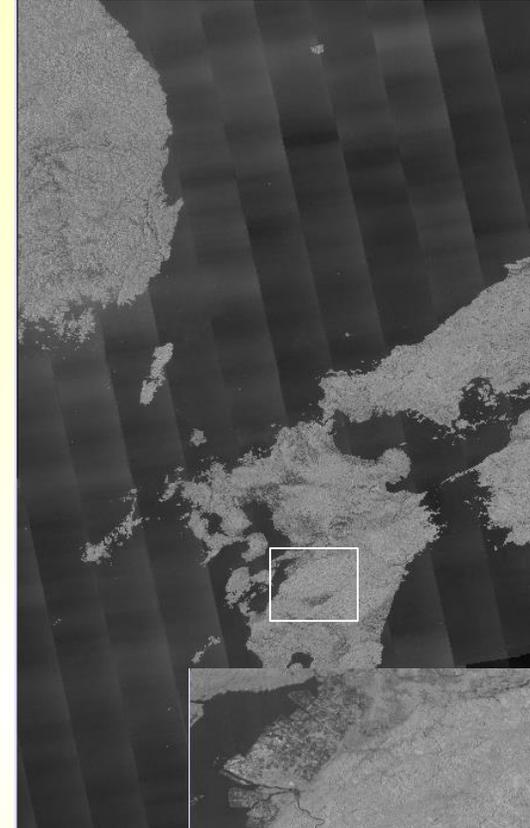


PALSAR 50 m 傾斜補正

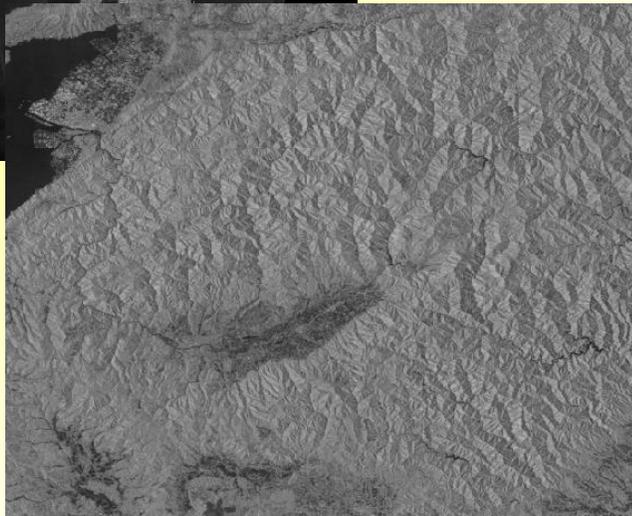


2007年と2009年の
データを平均化
↓
ジオレファレンシ
ング
↓
傾斜補正
Zhou et al. (2011)

補正前 (HV)



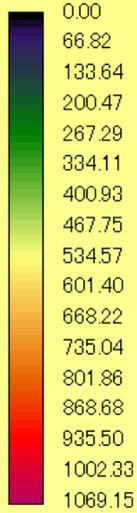
補正後 (HV)



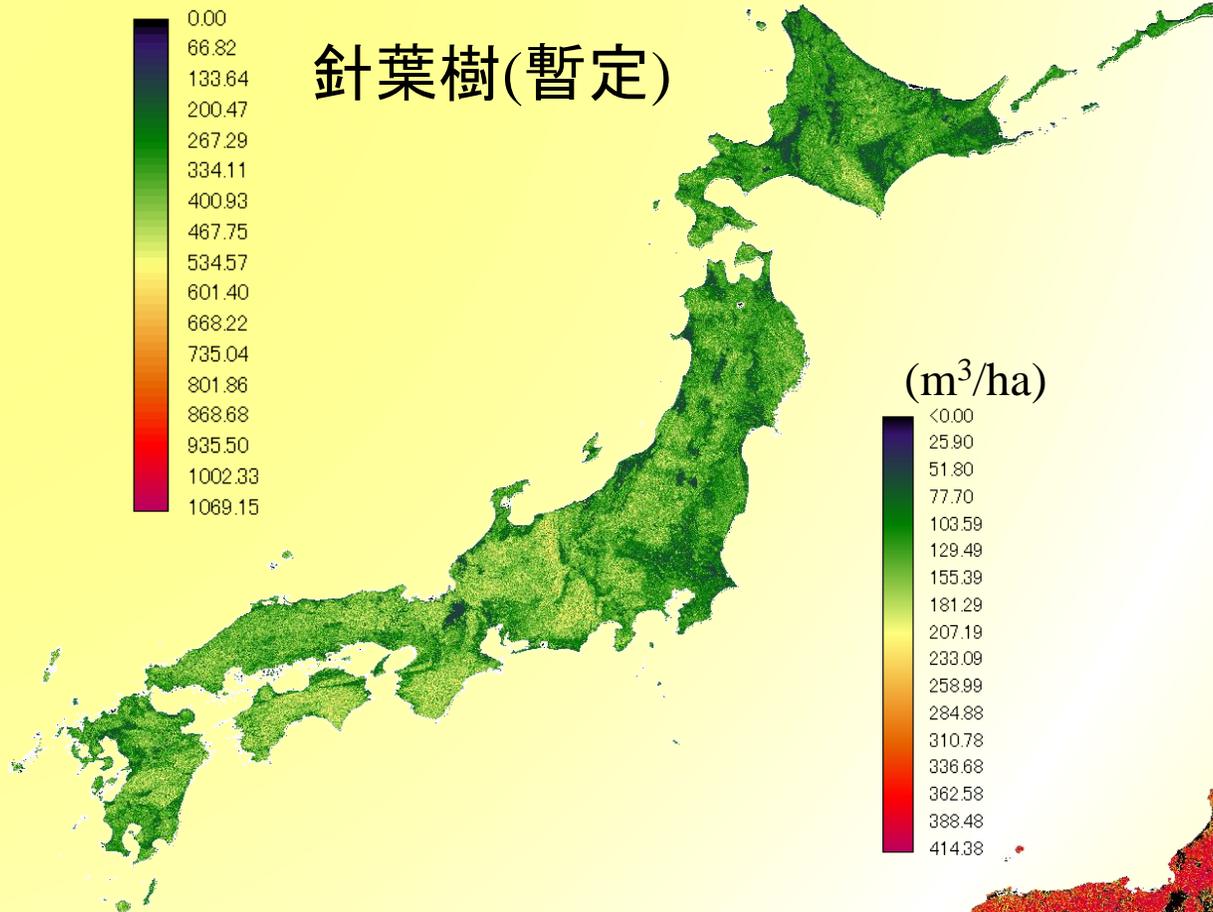
Results

材積量マップ（日本全体）

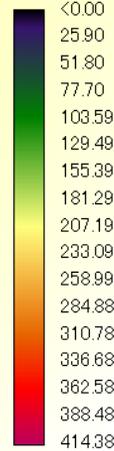
(m³/ha)



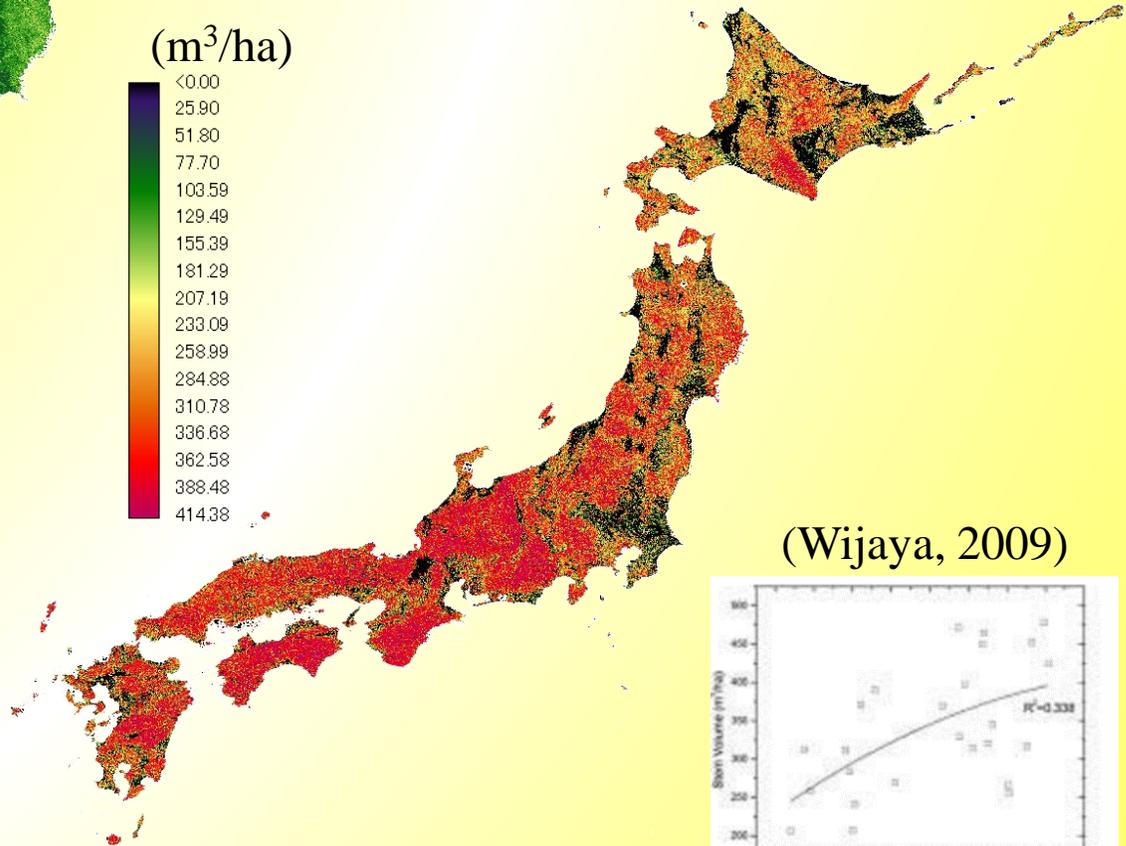
針葉樹(暫定)



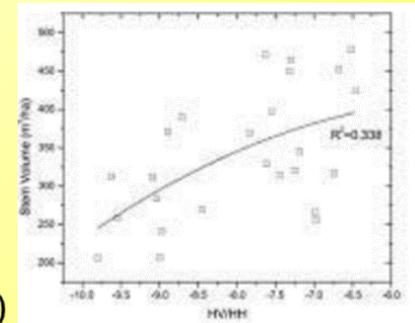
(m³/ha)



広葉樹(暫定)

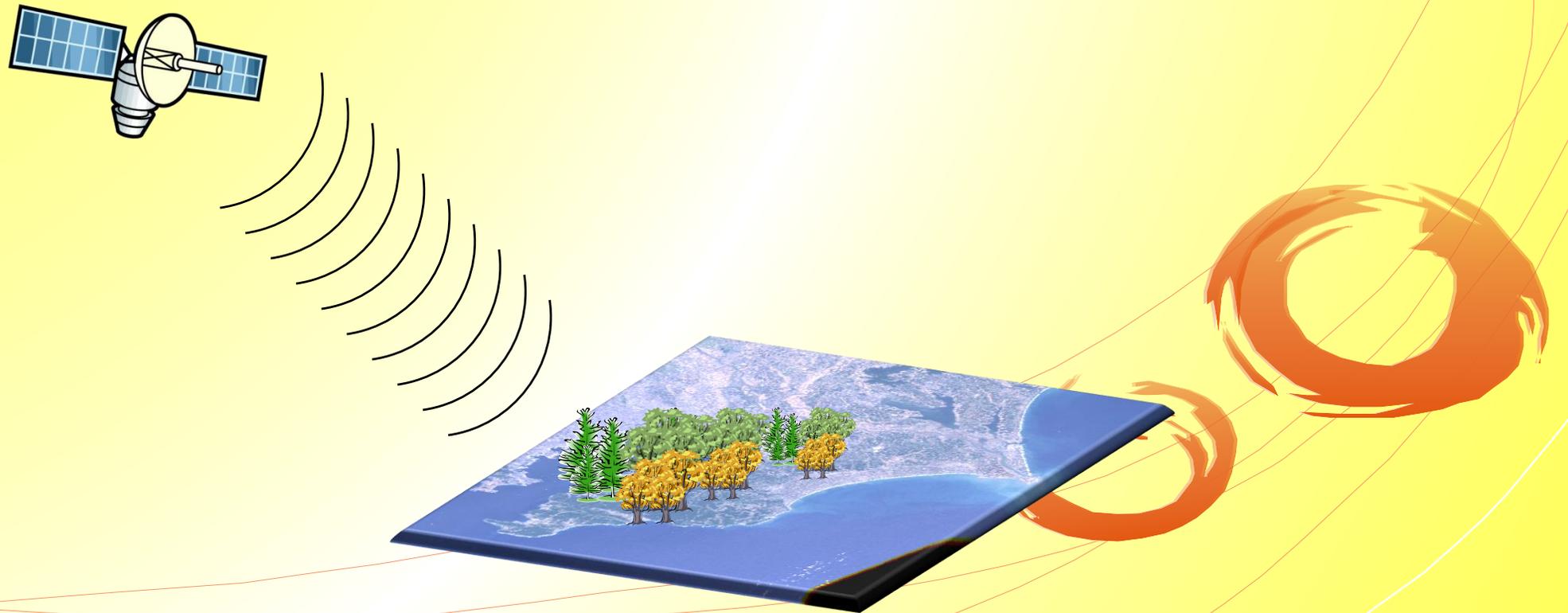


(Wijaya, 2009)



$$\text{Stem Volume (V)} = 256.85 - (65.458 \times \sigma) - (6.8 \times \sigma^2)$$

詳細な土地被覆図の分類



	LANDSAT OLI Data Sets		
Region	PATH	ROW	DATE
Kyushu Yamaguchi	112	36	2014-05-02
	112	37	2013-04-13
	112	38	2013-04-13
	113	37	2014-04-23
	113	38	2013-10-29
Chugoku Shikoku Kinki	110	36	2014-03-17
	110	37	2014-03-17
	111	35	2013-05-24
	111	36	2013-05-24
	111	37	2014-05-11
	112	35	2013-08-19
Chubu	108	35	2013-08-07
	108	36	2013-08-07
	109	35	2013-08-14
	109	36	2013-08-14
	109	37	2013-10-17
	110	35	2013-05-17
Kanto	107	34	2013-09-17
	107	35	2013-09-17
	107	36	2013-09-17
	109	34	2013-08-14

	LANDSAT OLI Data Sets ³¹		
Region	PATH	ROW	DATE
Tohoku	106	33	2014-05-08
	107	31	2014-04-29
	107	32	2013-10-19
	107	33	2013-09-17
	108	31	2014-04-20
	108	32	2013-06-04
	108	33	2013-06-04
	108	34	2013-06-04
	105	30	2014-06-02
	106	29	2014-06-25
Hokkaido	106	30	2014-06-25
	106	31	2013-10-28
	107	29	2013-10-19
	107	30	2013-10-19
	108	28	2013-10-10
	108	29	2013-10-10
	108	30	2013-10-10

Radiometric Correction (IRC Method)

(Kobayashi and Sanga, 2008)

- Derive Solar and Land Geometric Parameters
- Calculate Topographic Correction Factor
- Rayleigh Scattering & Water Vapor Transmittance Functions

$$L_g = (L_s^* - L_h) \times \frac{A}{0.5 \times (1 + T_r) \times T_r \times T_w^2}$$

L_g = Corrected radiance

L_s^* = At-Satellite observed spectral radiance from a sloped terrain

L_h = Upwelling atmospheric spectral radiance

A = Topographic correction factor

T_r = Rayleigh scattering transmittance function

T_w = Water vapor transmittance function

Integrated Radiometric Correction (IRC)

$$A = \frac{\cos\theta_z + Ch_0^{-1}}{\cos i + Ch_0^{-1}h}$$

θ_z = Solar Zenith Angle
 $\cos i$ = cosine of the incidence angle
 C = quotient between the regressional intercept b and slope m
 h = sky dome diffusing

$$T_{r\lambda} = -\frac{P}{P_0} \times M \times \frac{1}{115.6406\lambda^4 - 1.335\lambda^2}$$

P = ambient atmospheric pressure
 P_0 = sea-level atmospheric pressure
 M = relative air mass
 λ = wavelength (μm)

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{a_i}{a_0}\right)$$

a_i = altitude at each pixel
 a_0 = scale height (7900 m)

$$T_{w\lambda} = \exp\left[-\frac{0.2385a_{w\lambda}WM}{(1 + 20.07a_{w\lambda}WM)^{0.45}}\right]$$

$a_{w\lambda}$ = water vapor absorption coefficient
 W = precipitable water vapor

Result

IRC Method

左図 - 補正なし

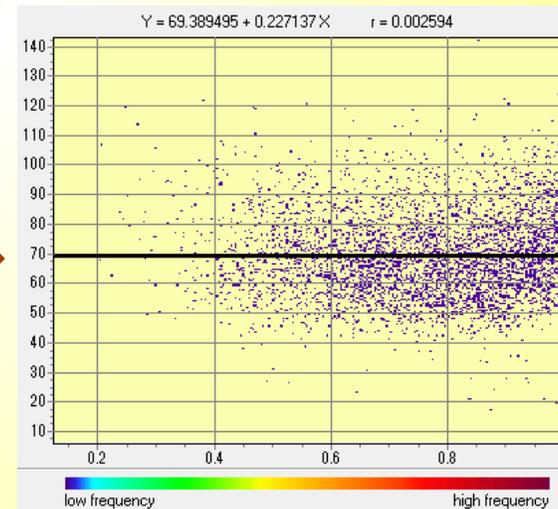
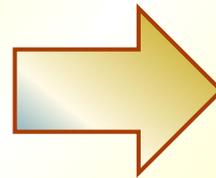
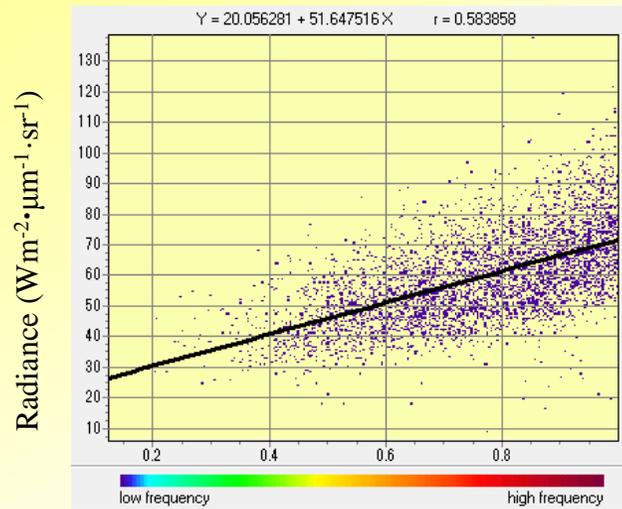
右図 - 補正あり

IRC=Integrated Radiometric Correction (Kobayashi & Sanga-Ngoie, 2008)

R:G:B
4:3:2



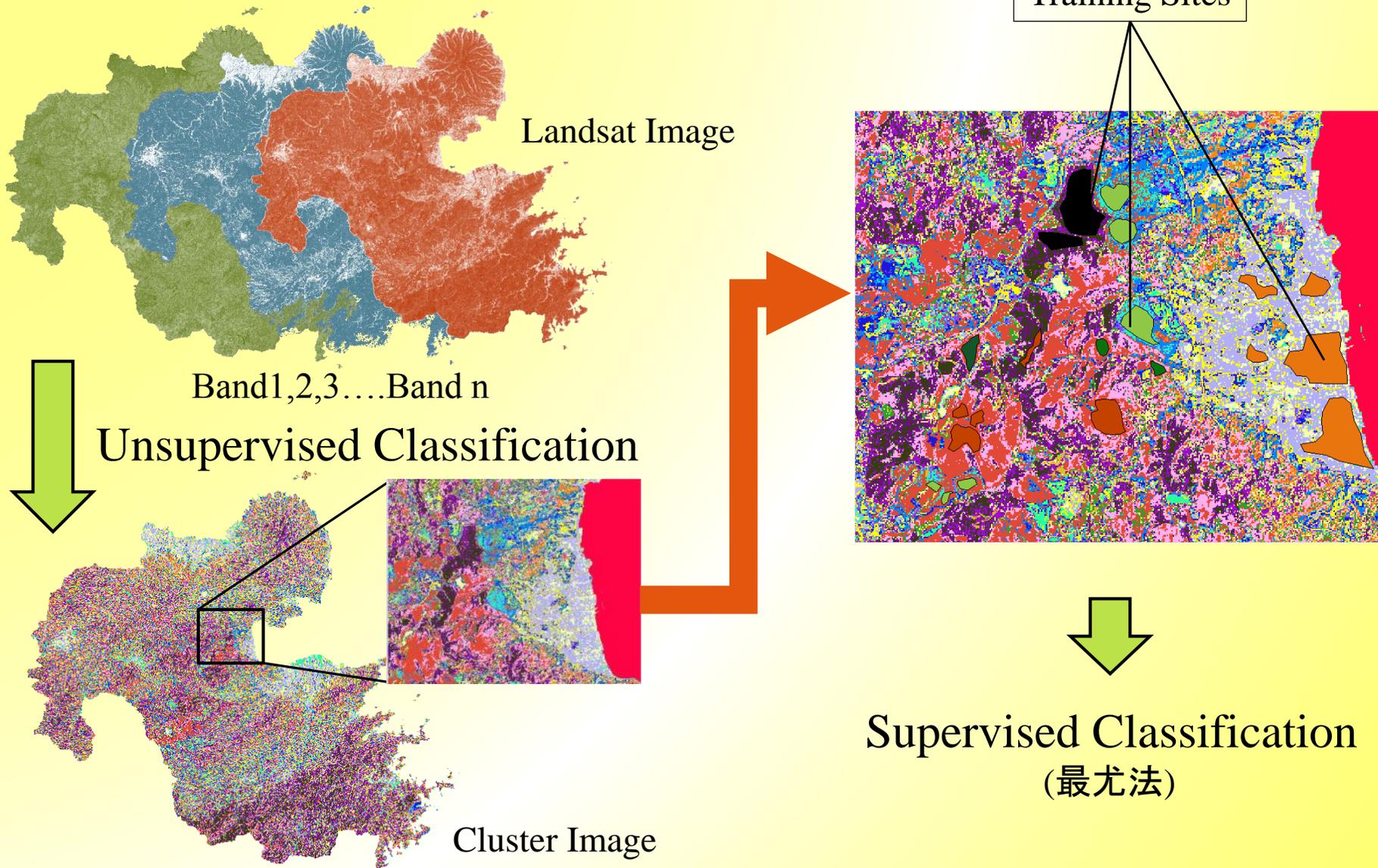
Band 5



Cosine of Incidence

土地被覆図分類

Hybrid Classification (Richards & Jia, 1999)



インプットデータ

- LANDSAT OLI
 - Band 2-6
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- Normalized Difference Water Index (NDWI) (Li et al., 2013)
- Green Red Vegetation Index (GRVI) (Motohka et al., 2010)

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR}}$$

IR = Infrared

R = Red

SWIR = Short Wave Infrared

$$GRVI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Red}}$$

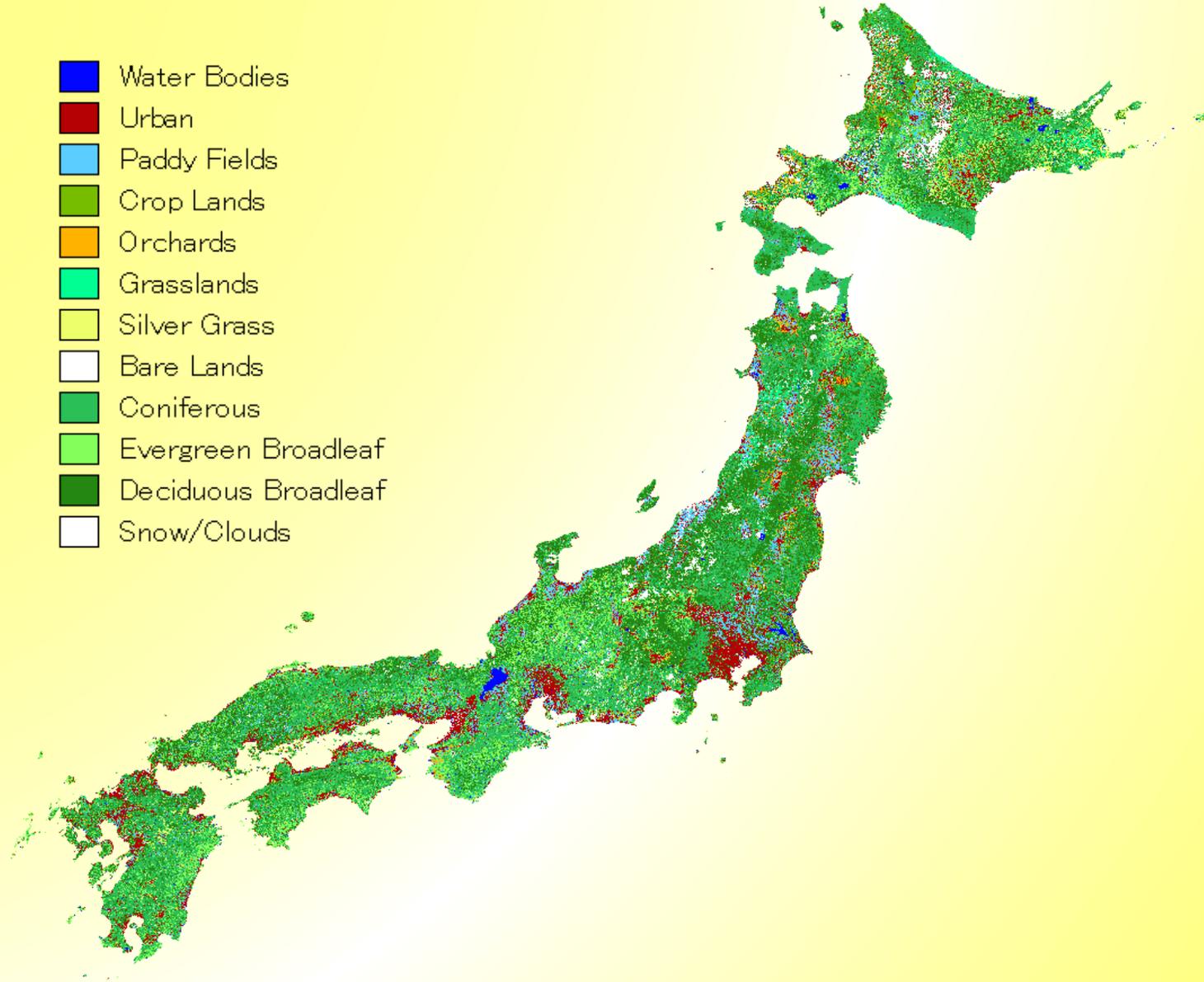
Class Legend

Num	Cover Type (a)	Num	Cover Type (b)
1	Water Bodies	1	Water Bodies
2	Urban	2	Urban
3	Paddy Fields	3	Paddy Fields
4	Crop Lands	4	Crop Lands
5	Orchard	5	Orchard
6	Grasslands	6	Grasslands
7	Silver Grass	7	Silver Grass
8	Bare Lands	8	Bare Lands
9	Japanese Hemlock (Conifer)	9	Coniferous
10	Cedar-Cypress (Conifer)	10	Evergreen-BL
11	Evergreen Oak (EBL)	11	Deciduous-BL
12	Castanopsis sieboldii (EBL)	12	Clouds/Snow
13	Castanopsis (EBL)		
14	Other-EBL-Tall (EBL)		
15	Other-EBL-Short (EBL)		
16	Acer (DBL)		
17	Quercus crispula Blume (DBL)		
18	Carpinus tschonoskii Maxim (DBL)		
19	Quercus serrate (DBL)		
20	Japanese Beech (DBL)		
21	Japanese Tallow Tree (DBL)		
22	Sawtooth Oak (DBL)		
23	Other-DBL-Tall (DBL)		
24	Other-DBL-Short (DBL)		

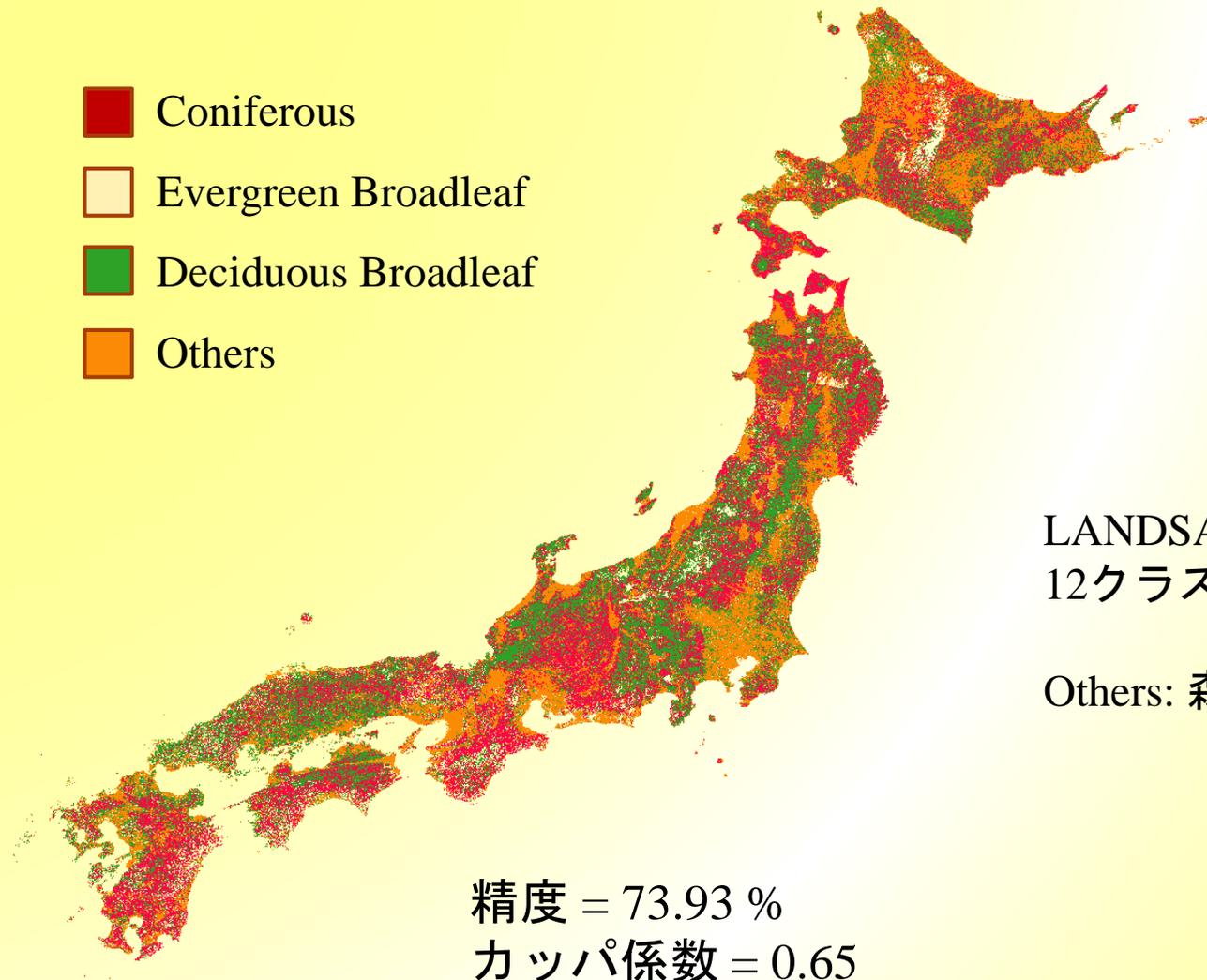
Cover Type (a) : オリジナル
Cover Type (b) : 再分類

土地被覆図 (日本)

- Water Bodies
- Urban
- Paddy Fields
- Crop Lands
- Orchards
- Grasslands
- Silver Grass
- Bare Lands
- Coniferous
- Evergreen Broadleaf
- Deciduous Broadleaf
- Snow/Clouds



森林マップ（林種別）



- Coniferous
- Evergreen Broadleaf
- Deciduous Broadleaf
- Others

LANDSAT OLIを用いて作成
12クラスを4クラスに再分類

Others: 森林以外のクラス

精度 = 73.93 %

カッパ係数 = 0.65

Producers Accuracy:

針葉樹 (85.2 %), 常緑広葉樹 (53.3 %) 落葉広葉樹 (68 %)

精度評価

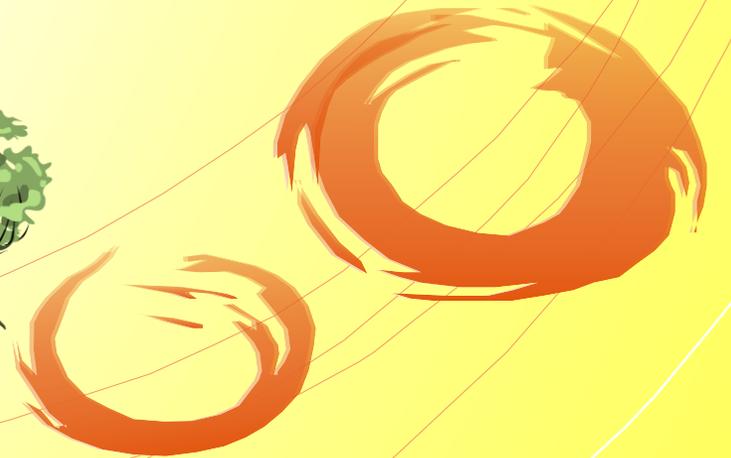
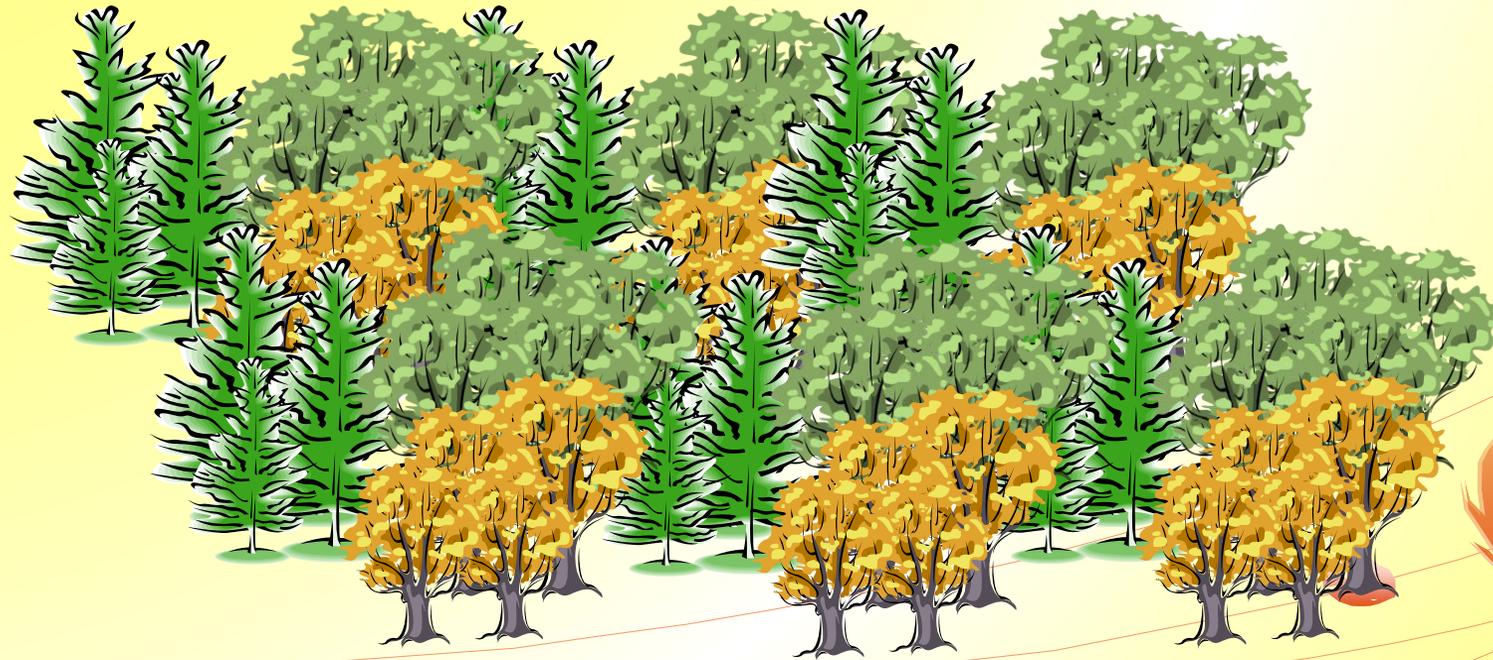
Modified Error Matrix

		Reference				Total	ErrorC
		Coniferous	Evergreen Broadleaf	Deciduous Broadleaf	Others		
Classified	Coniferous	852	253	149	24	1278	0.3334
	Evergreen Broadleaf	41	533	113	30	717	0.2566
	Deciduous Broadleaf	59	200	680	54	993	0.3152
	Others	48	14	58	892	1012	0.1186
	Total	1000	1000	1000	1000	4000	
	ErrorO	0.1480	0.4670	0.3200	0.1080		0.2607

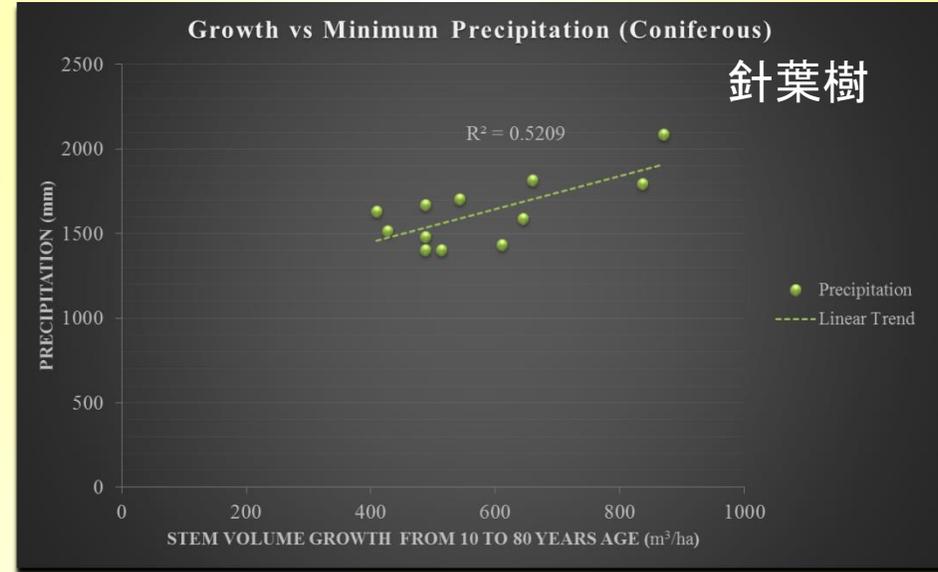
Overall Accuracy = 73.93 %

Overall Kappa Index of Agreement = 0.65

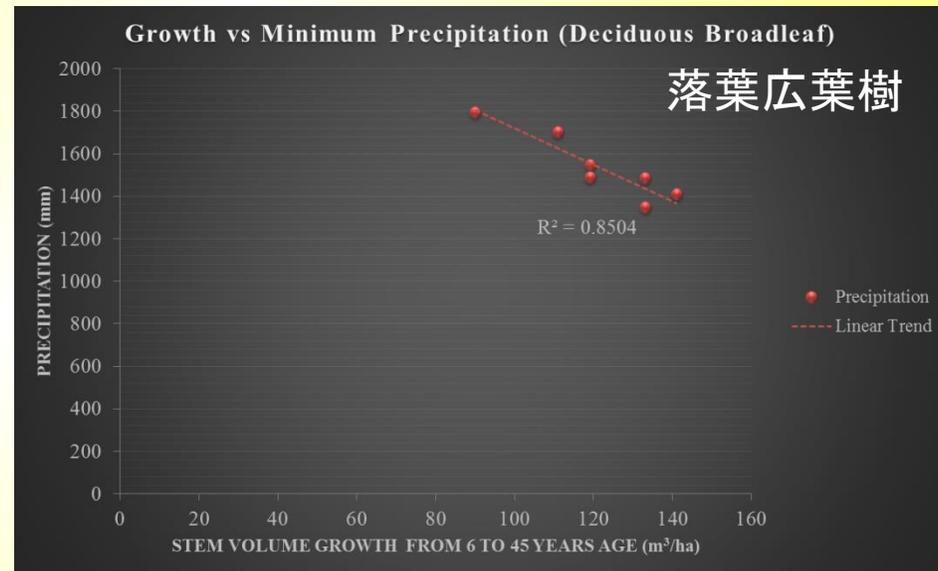
CO₂固定量(NPP)の算定



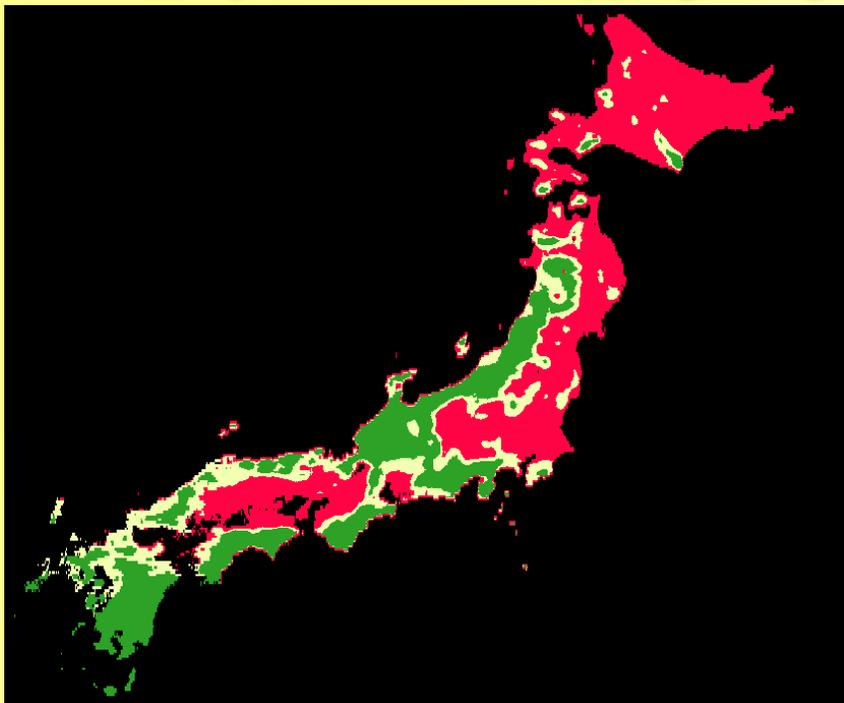
林地生産力の解析



観測地域 (大分)



地域ごとの成長率の違い推定 (針葉樹)



針葉樹

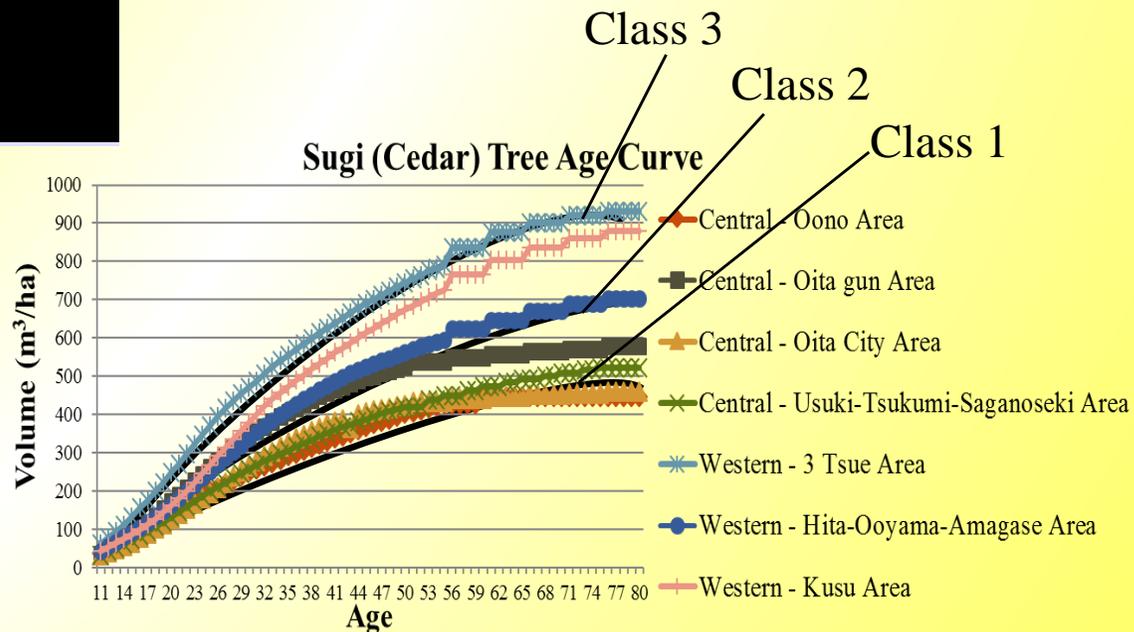
雨量閾値

■ Class 1 = <1,600 mm

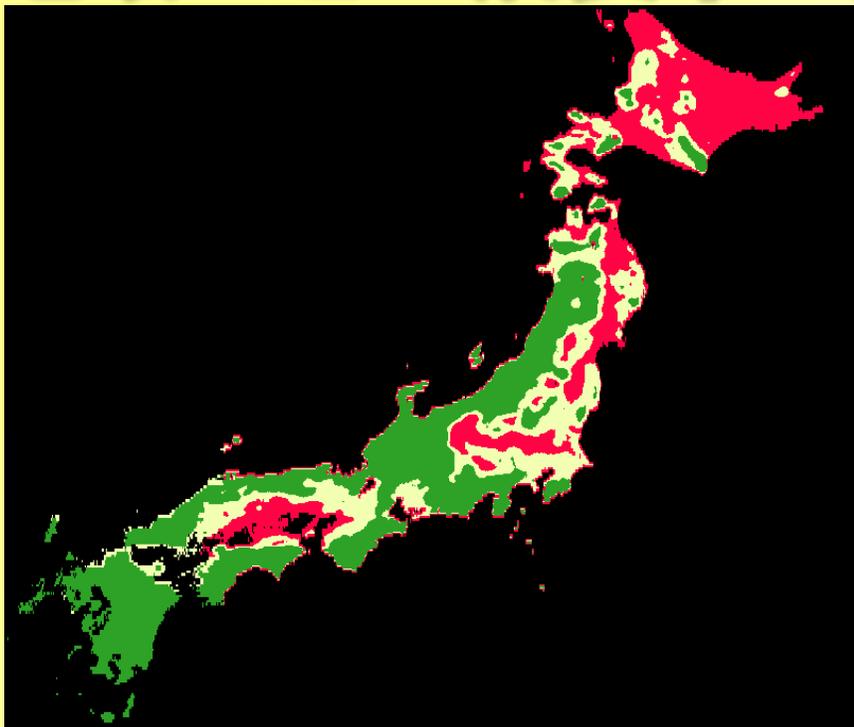
■ Class 2 = 1,600 – 2,000 mm

■ Class 3 = >2,000 mm

材積量
↓
林齢に変換



地域ごとの成長率の違い推定 (落葉広葉樹)

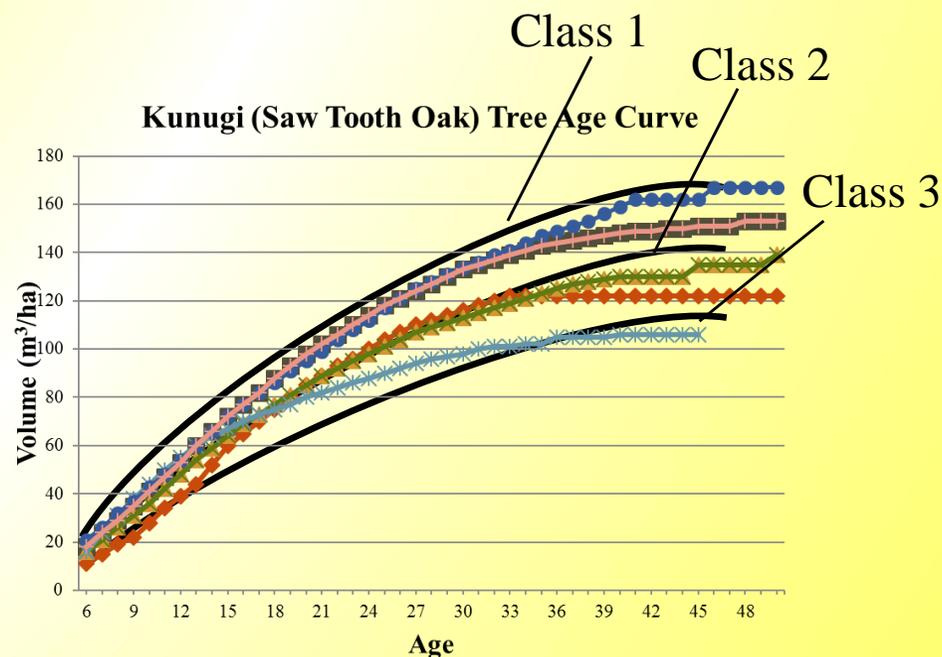


落葉広葉樹

雨量閾値

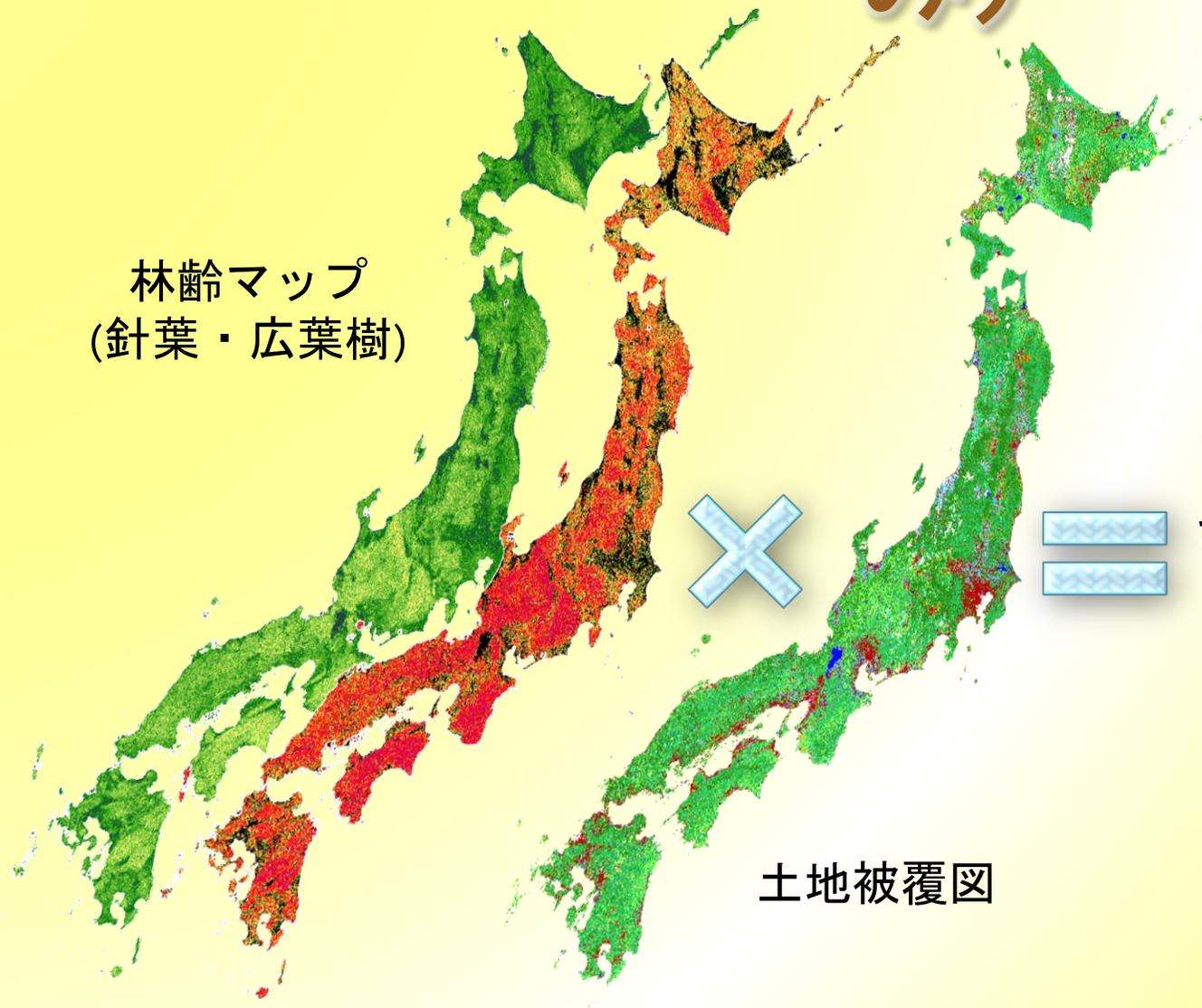
- Class 1 = <1,300 mm
- Class 2 = 1,300 – 1,700 mm
- Class 3 = >1,700 mm

材積量
↓
林齢に変換



Methodology 林齢マップ (森林域のみ)

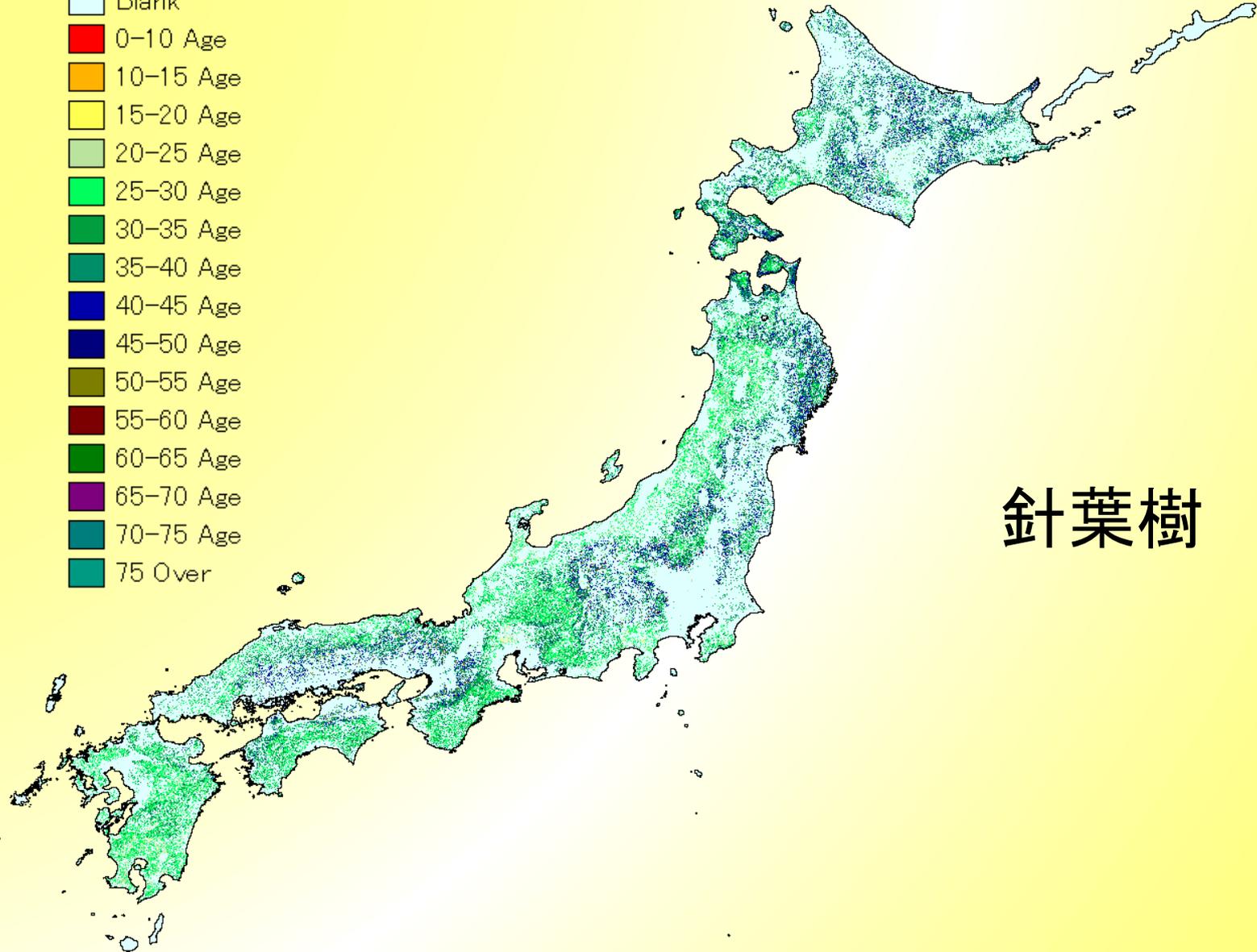
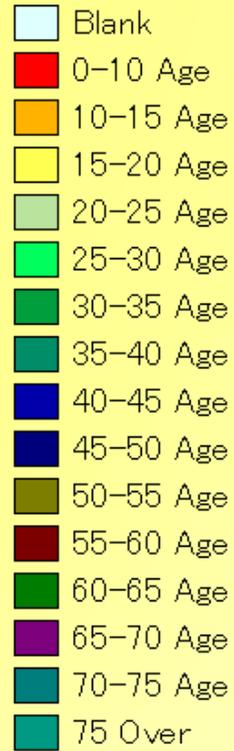
林齢マップ
(針葉・広葉樹)



それぞれの森林域毎の
林齢マップが完成

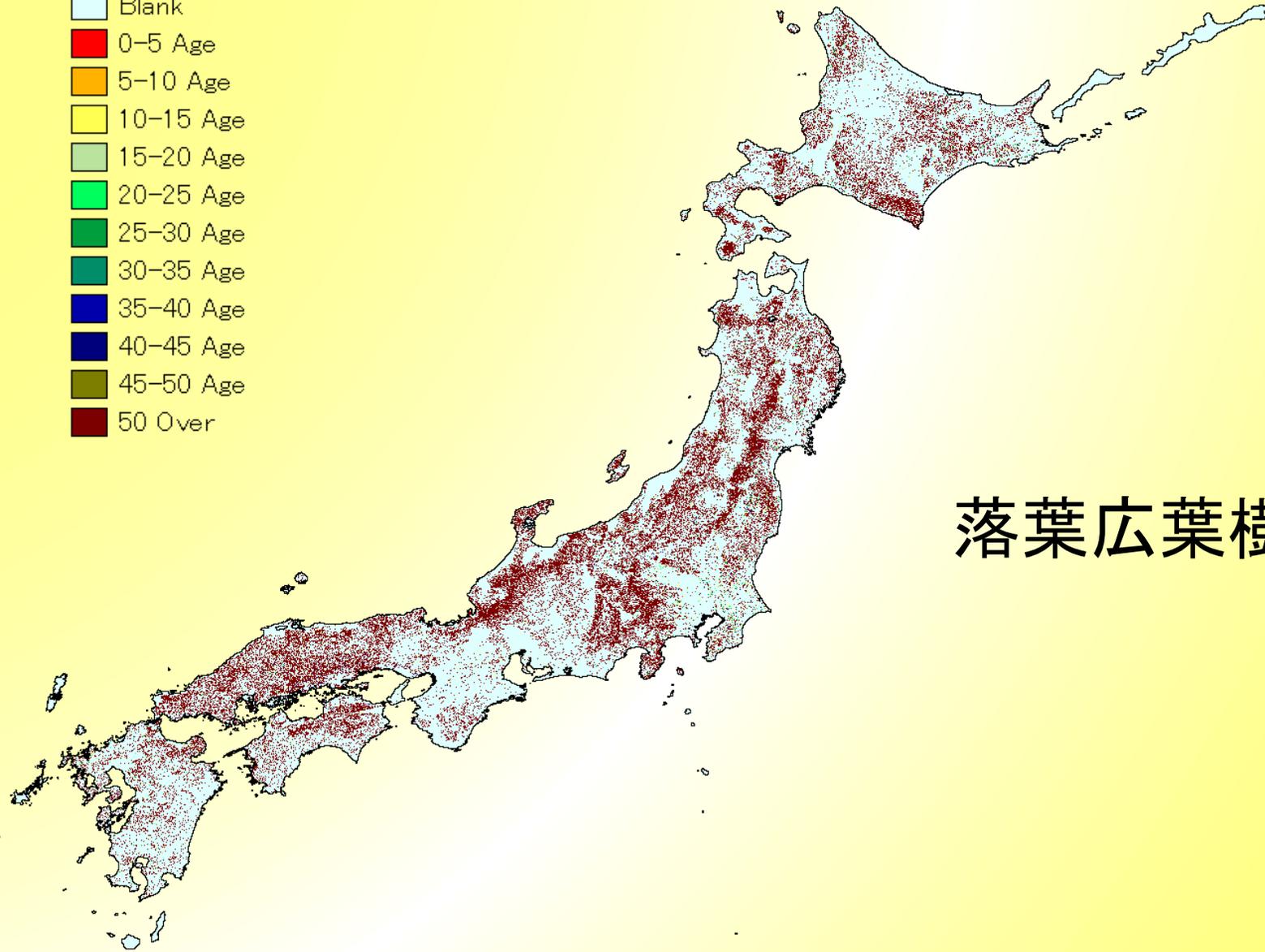
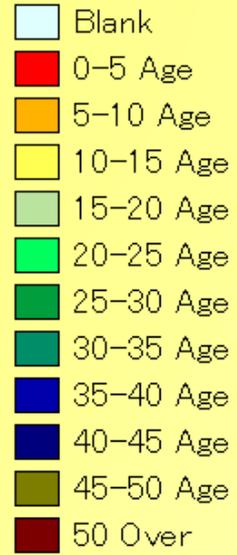
土地被覆図

林齢マップ



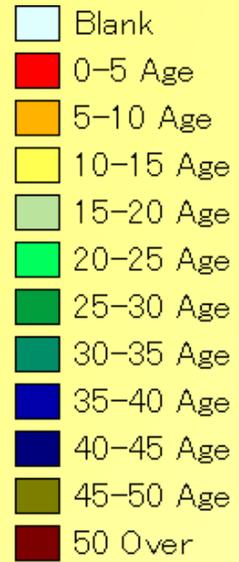
針葉樹

林齢マップ



落葉広葉樹

林齢マップ



常緑広葉樹

CO₂固定量データ（栃木県）

県庁データ

CO2吸収量表
地区名:佐野 樹種:シイカシ林

林齢	CO2吸収量 (t-CO2/年・ha)		
	地位Ⅰ	地位Ⅱ	地位Ⅲ
1	0.65	0.65	0.65
2	2.06	2.06	2.06
3	3.38	3.38	3.38
4	4.55	4.55	4.55
5	5.56	5.56	5.56
6	10.09	10.09	10.09
7	10.09	10.09	10.09
8	10.09	10.09	10.09
9	10.09	10.09	10.09
10	8.07	8.07	8.07
11	8.07	8.07	8.07
12	8.07	8.07	8.07
13	8.07	8.07	8.07
14	8.07	8.07	8.07
15	8.07	8.07	8.07
16	8.07	8.07	8.07
17	8.07	8.07	8.07
18	8.07	8.07	8.07
19	8.07	8.07	8.07
20	8.07	8.07	8.07
21	7.26	7.26	7.26
22	5.45	5.45	5.45
23	5.45	5.45	5.45
24	5.45	5.45	5.45
25	5.45	5.45	5.45
26	5.45	5.45	5.45
27	5.45	5.45	5.45
28	5.45	5.45	5.45

CO₂固定量(tCO₂/year)

= 森林面積 × 森林成長量 × 拡大係数 ×
容積密度 × 炭素含有率 × CO₂換算係数

宇都宮大学への委託により作成した
森林成長量データベースの数値を利用

固定量値の算出方法(本研究用)

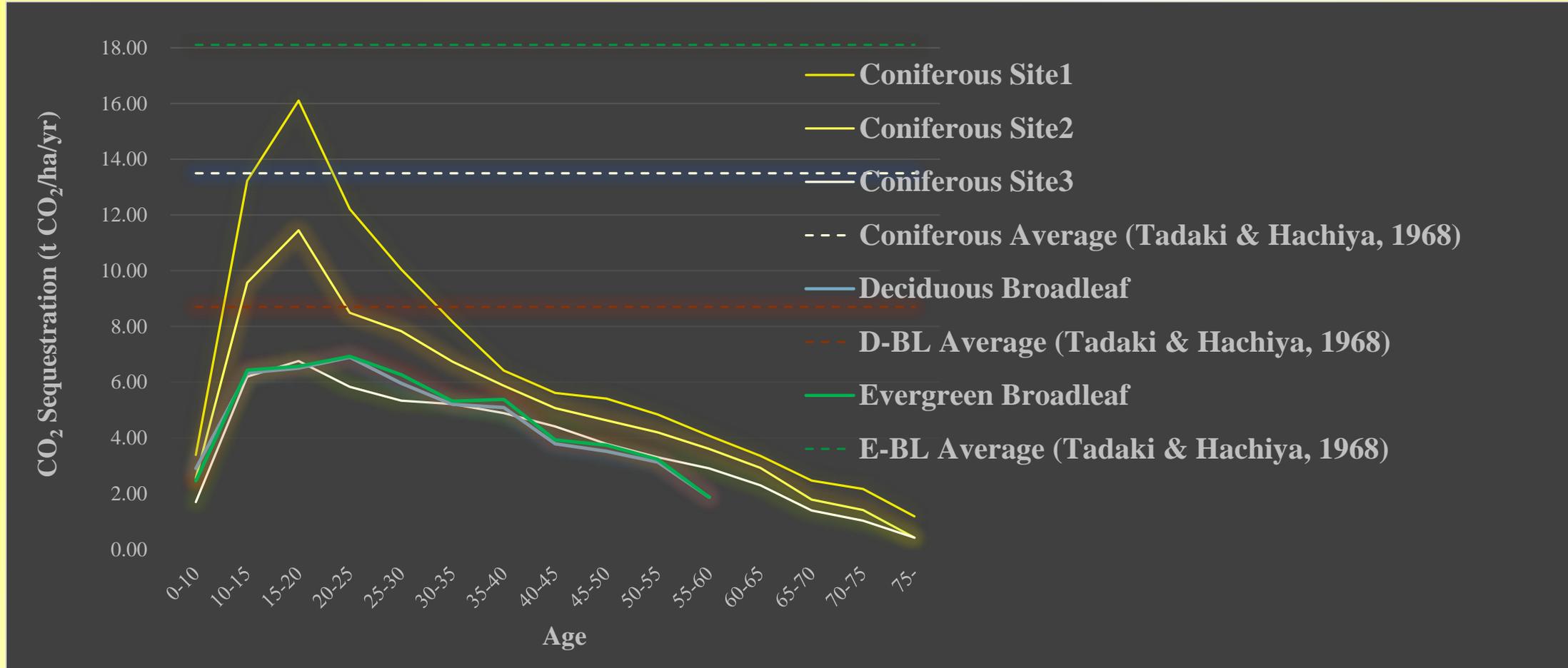
針葉樹 = スギ : ヒノキ (7:3)

落葉広葉樹 = クヌギ : ブナ : ケヤキ : アカシデ (平均)

常緑広葉樹 = シイ・カシ : その他カシ類 (平均)

(tCO₂/ha/year)

CO₂固定量 (tCO₂/ha/year)

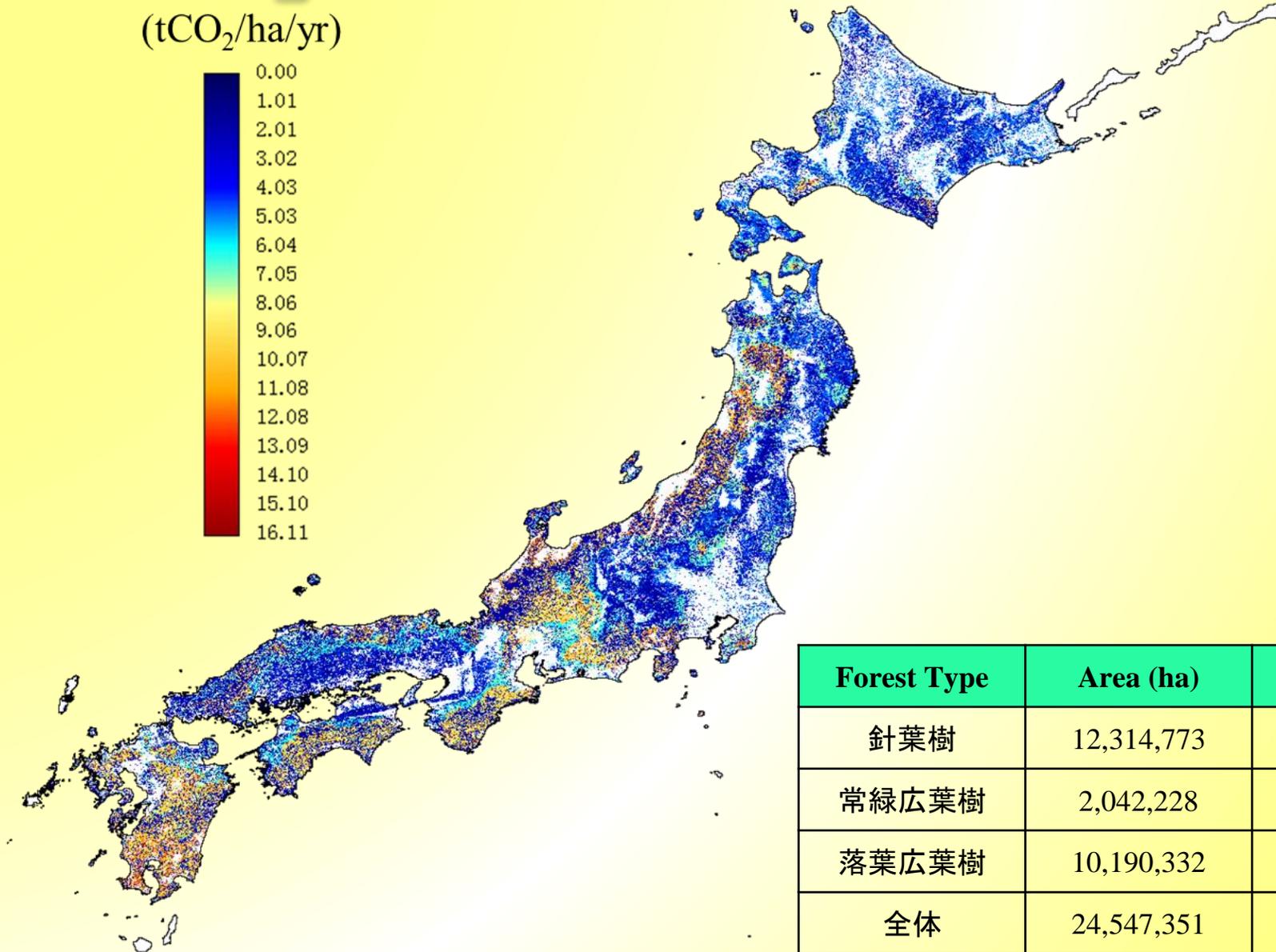


Site 1 = 高成長率
 Site 2 = 中成長率
 Site 3 = 低成長率

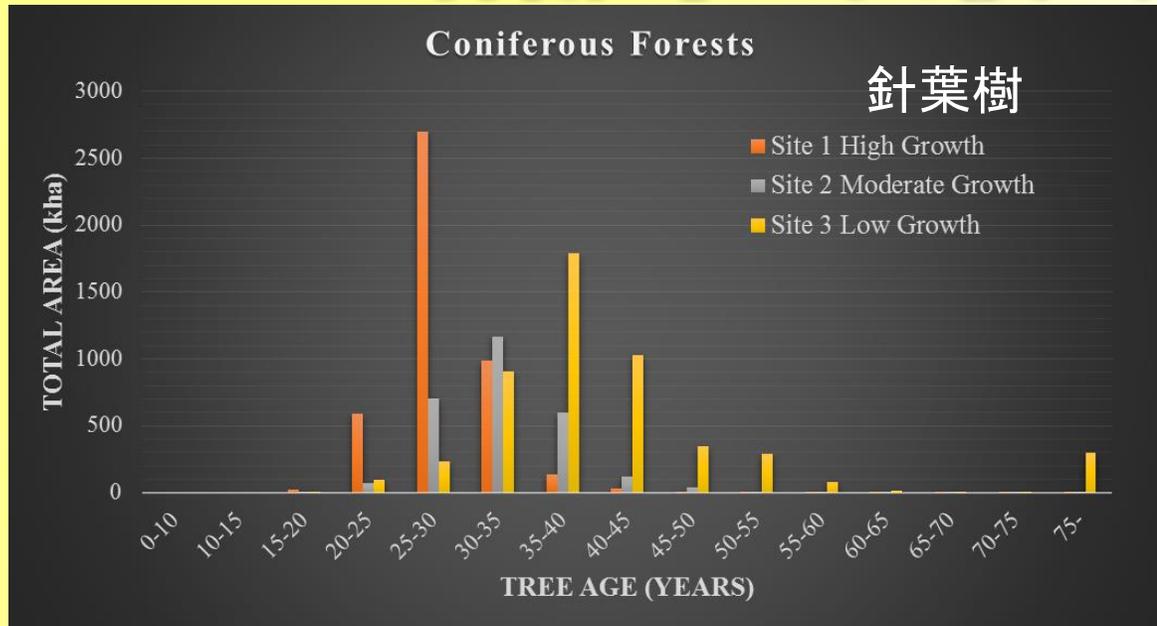
X軸 = 林齡
 Y軸 = 固定量/ha/年

CO₂固定量マップ（森林域）

(tCO₂/ha/yr)

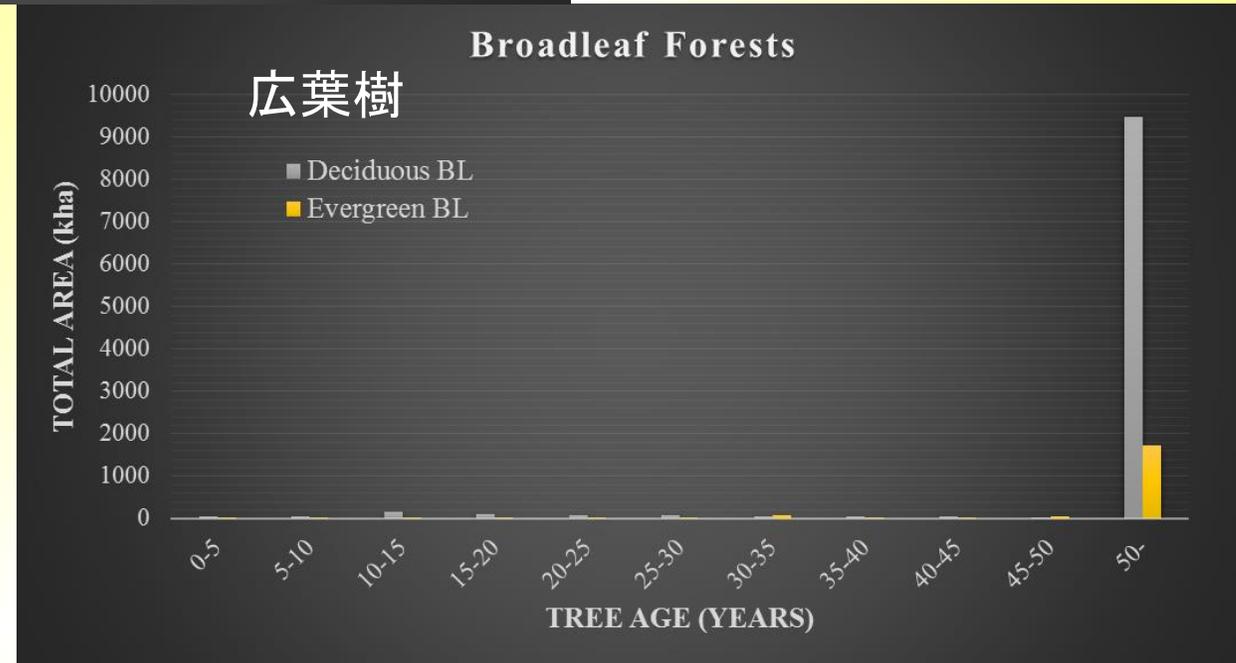


Forest Type	Area (ha)	Total MtCO ₂
針葉樹	12,314,773	85.0
常緑広葉樹	2,042,228	4.76
落葉広葉樹	10,190,332	21.61
全体	24,547,351	111.27

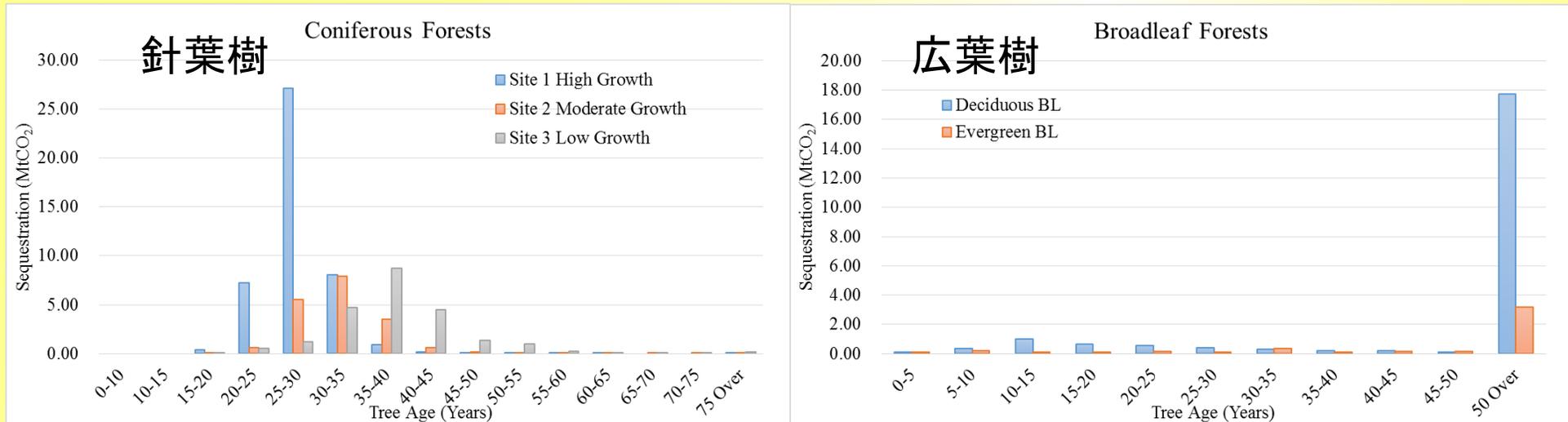


Site 1 = 高成長率
Site 2 = 中成長率
Site 3 = 低成長率

X軸 = 林齢
Y軸 = 面積 (kha)



林齢毎のCO₂固定量（トータル）



Forest Type	Area (ha)	Total MtCO ₂
針葉樹	12,314,773	85.0
常緑広葉樹	2,042,228	4.76
落葉広葉樹	10,190,332	21.61
全体	24,547,351	111.27

$$Q_t = \sum A_{ie} \times S_{ie}$$

Q_t = トータルの固定量

A = 森林面積

S = 単位面積当たりの固定量値

i = 林種

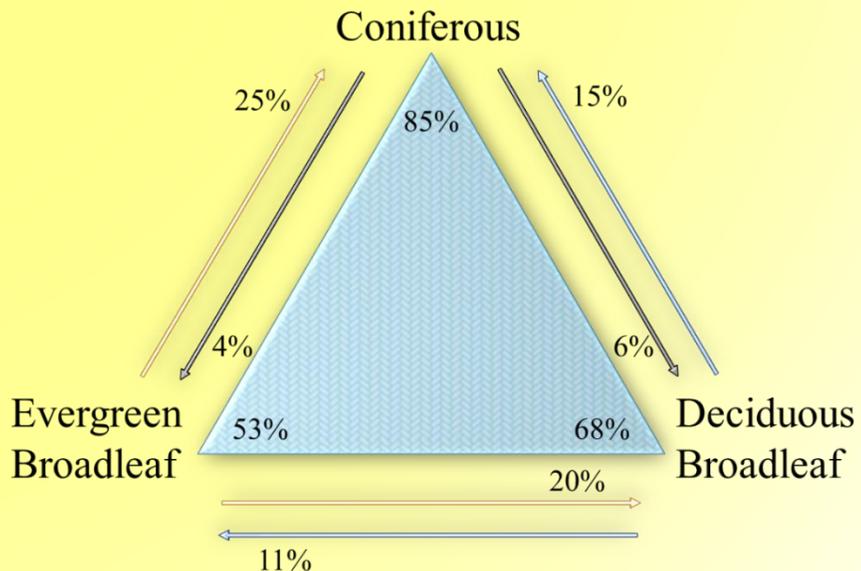
e = 林齢

固定量値のエラー解析

- 土地被覆図のエラー
 - 誤分類による森林面積のエラー
- 後方散乱モデル
 - モデルの信頼性 (RMSEの度合い)
- 林齢 - 材積量の成長曲線
 - 各地域ごとに合った関係性
- CO₂固定量値
 - 最大値・最小値・その他 (施肥効果等)

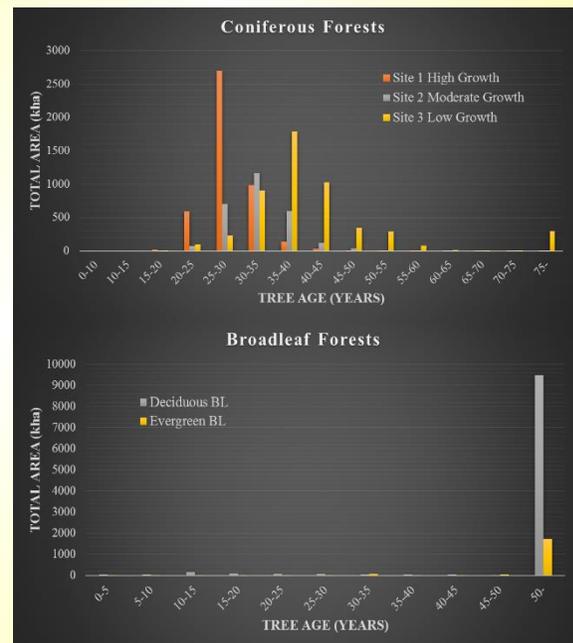
固定量のエラー解析

土地被覆図のエラー



三角形の中の数字 = Producers Accuracy
 外の数字 = Omission Error

この状態を最小状態を最大値



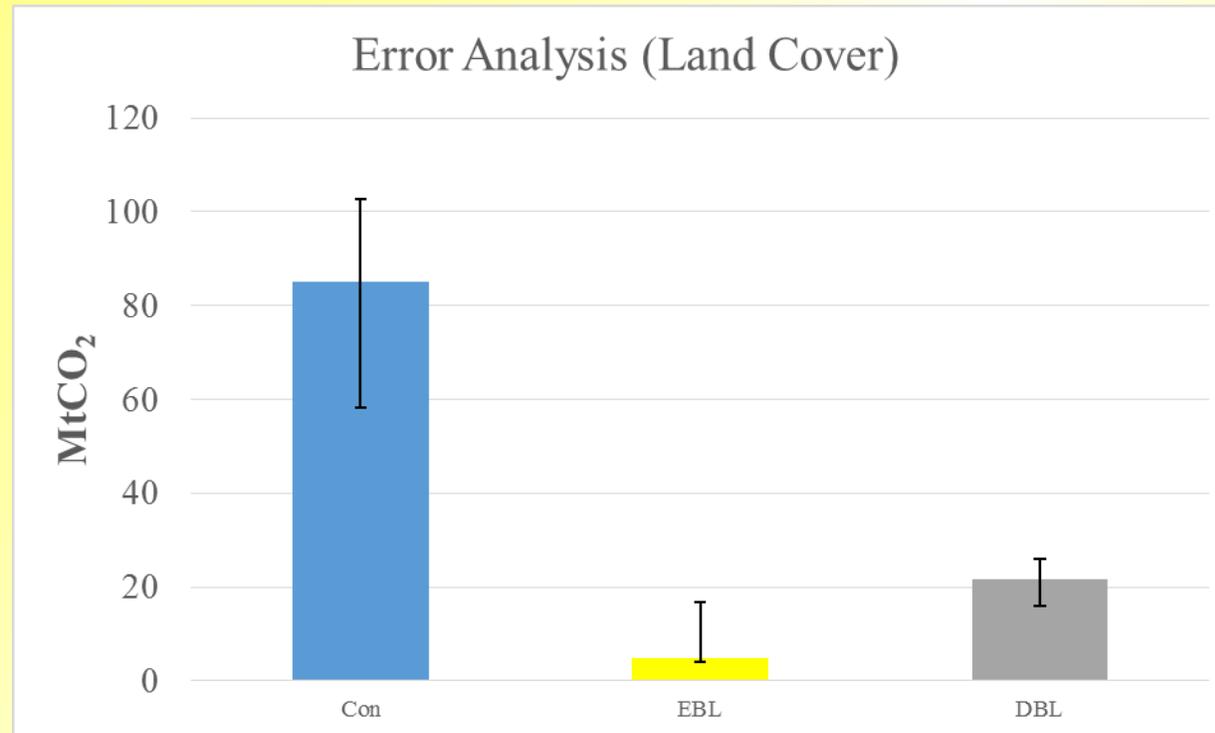
分布の割合で
 乗出し



分布の割合で
 吸出乗せ

固定量のエラー解析

土地被覆図のエラー



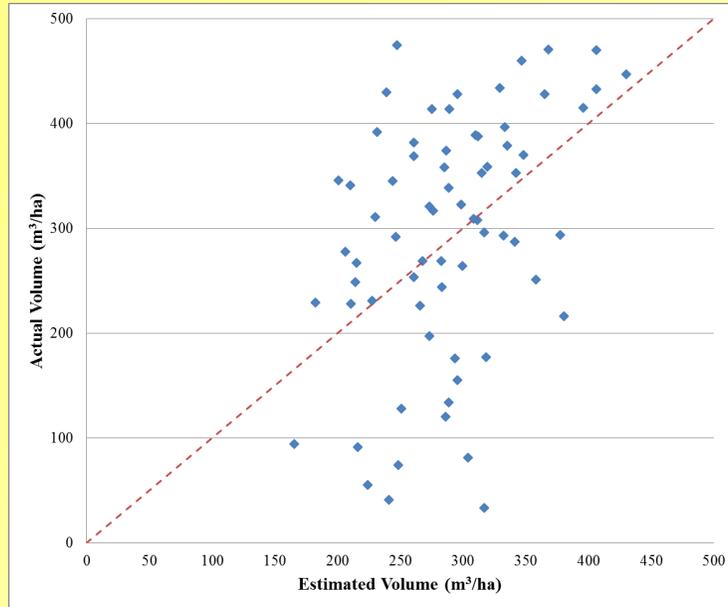
	Con	EBL	DBL	Total
MAX	102.67	16.70	25.98	145.35
MIN	58.32	4.05	15.98	78.35

(MtCO₂)

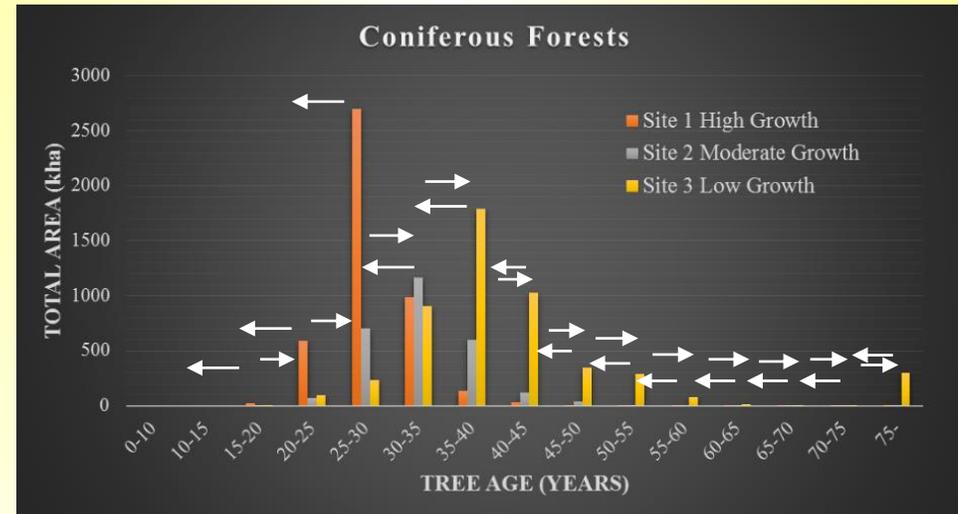
固定量のエラー解析

後方散乱モデル

105.58 m³/ha分変化した場合



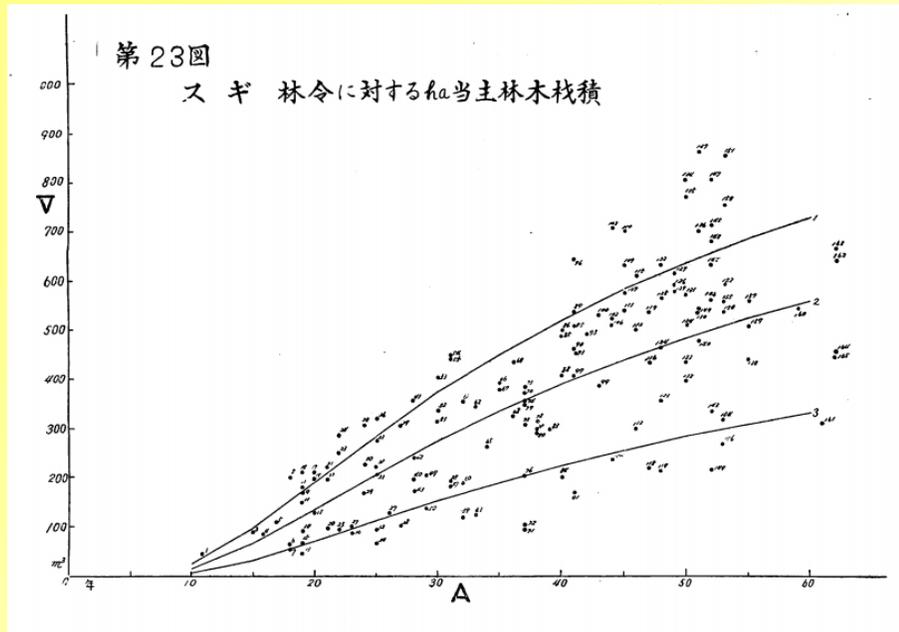
RMSE = 105.58 m³/ha



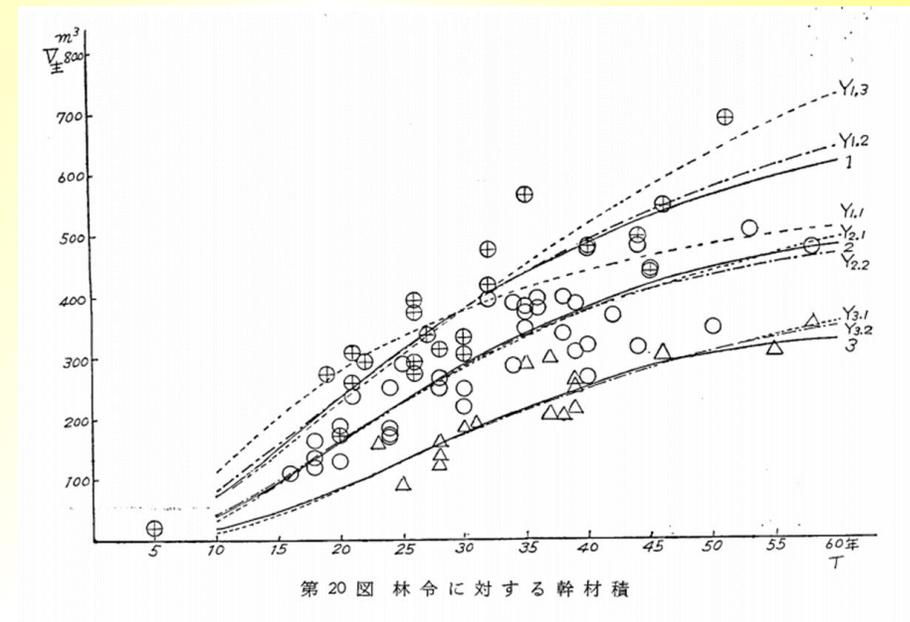
	Con	EBL	DBL	Total
MAX	99.81	N/A (4.76)	N/A (21.61)	126.18
MIN	65.46			91.83

固定量のエラー解析

林齢 - 材積量の成長曲線



青森県の成長曲線(スギ)

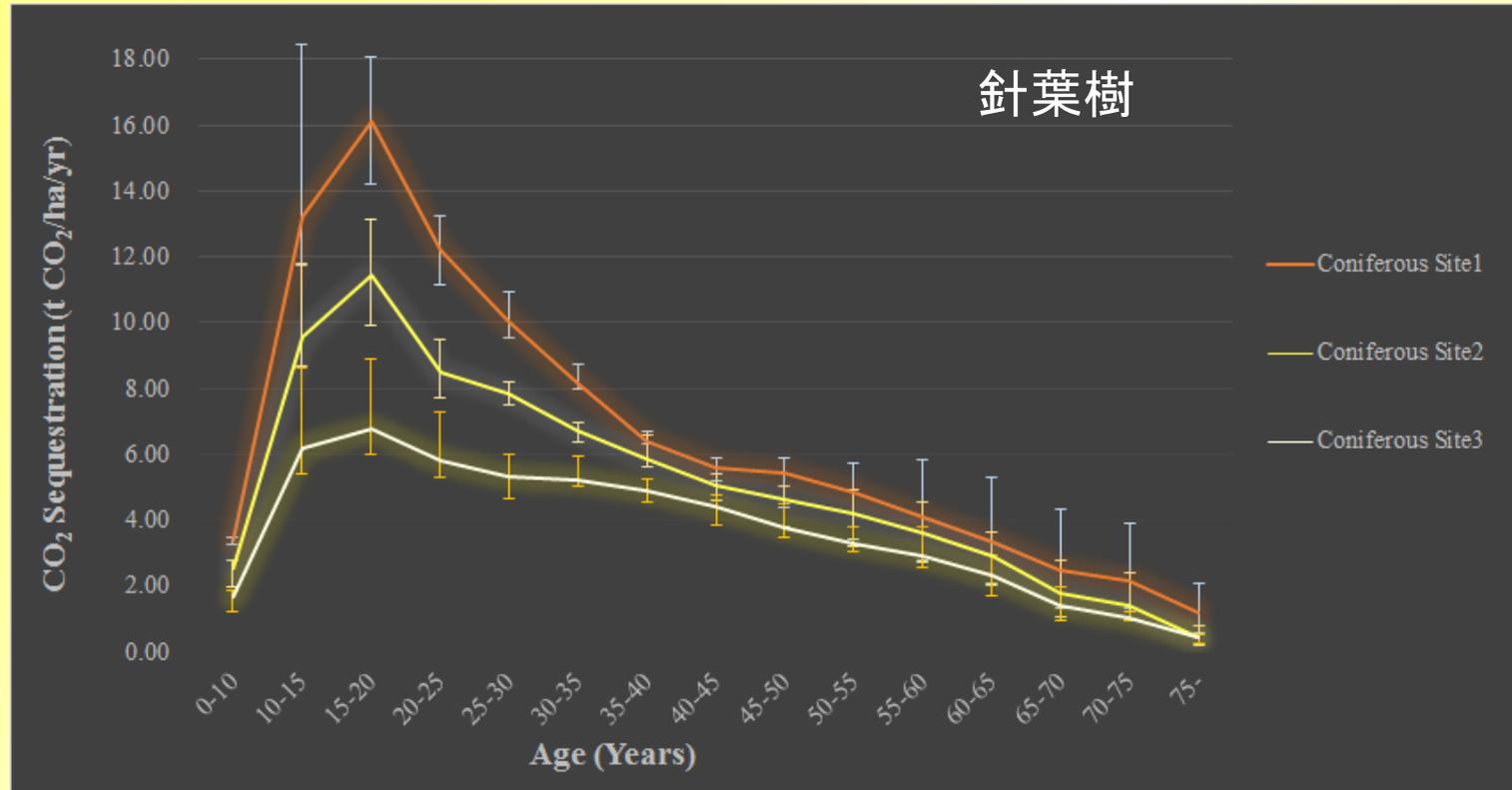


鹿児島県の成長曲線(スギ)

違う気候地域でも、成長曲線の差は大して見られない
あるのは林地生産力による成長率の違い

固定量のエラー解析

CO₂固定量値



	Con	EBL	DBL	Total
MAX	90.97	14.78	31.94	137.69
MIN	78.80	6.55	7.38	92.73

(MtCO₂)

固定量のエラー解析

まとめ

Unit: MtCO₂

Forest Types	Con		DBL		EBL		Total	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Land Cover Mapping	58.32	102.67	15.98	25.98	4.05	16.70	78.35	145.35
Backscattering Model	65.46	99.81	N/A (21.61)		N/A (4.76)		91.83	126.18
Tree Age Curve	N/A		N/A		N/A		N/A	
Sequestration Value	78.80	90.97	7.38	31.94	6.55	14.78	92.73	137.69



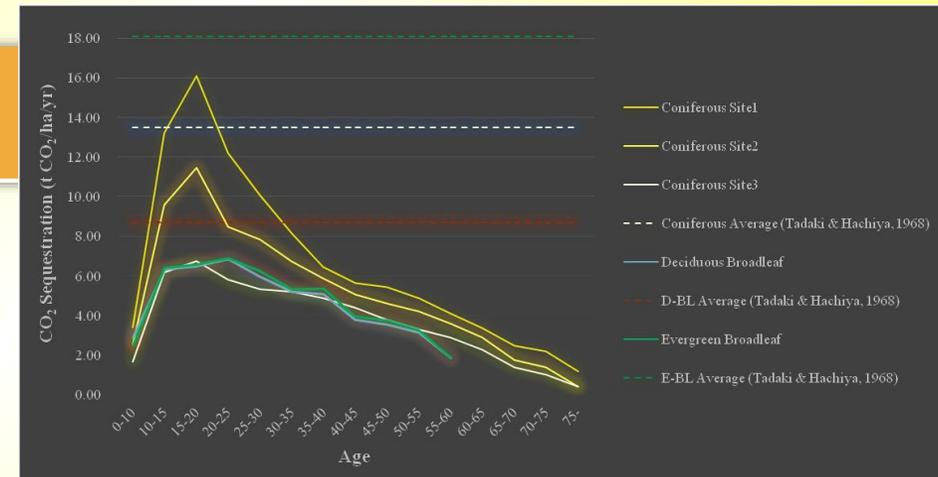
本研究手法の優位性

他手法との比較

Methods	Total CO ₂ Sequestration
Conventional (只木・蜂屋, 1968)	308.51 MtCO ₂
Sasaki and Kim (2009)	73.7 MtCO ₂
NIES (2014)	77.67 MtCO ₂

Stem Volume Method (本研究)

Conventional → 過大評価
 Sasaki and Kim → モデリング
 NIES → 森林域の不確実性



結論

➤ 光学とマイクロ波の融合

= より詳細な固定量を算定することが可能となった（森林タイプ、森林の状態）

➤ SARを用いた林齢推定

= 林種別の林齢毎に固定量をより深く調査することが可能となった

➤ SARを用いた更なる調査

= 材積量推定等のために、SARデータと森林の関係性をより詳細に識別できるようにならない

➤ 森林域のゾーニング等(林地生産力)

= 今後の政策立案のための重要な情報源にできる
NPPのみならずNEPでの算定や、リモートセンシングによる
APAR（光合成有効放射吸収量）の測定との比較等

Originality

Issue

Future Works

御清聴
ありがとうございました