



# REDD+

Reducing Emission from Deforestation  
and Forest Degradation-plus

平成25年度 応用講習a

## 第3章

# 地上調査の設計

一般社団法人 日本森林技術協会  
金森 匡彦

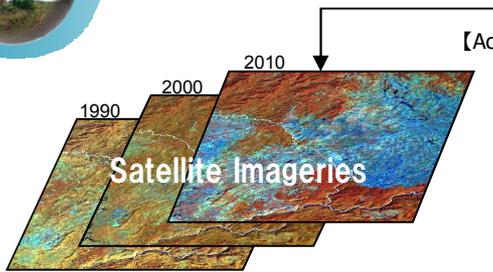
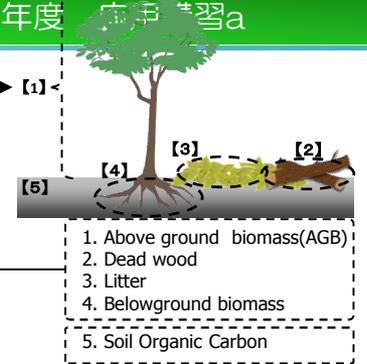
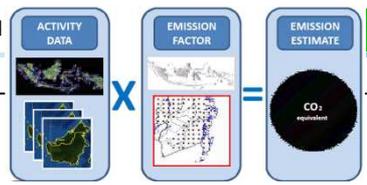




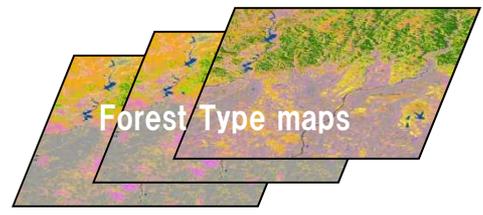
# REDD+における地上調査

# REDD+における地上調査の目的

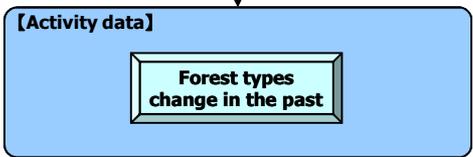
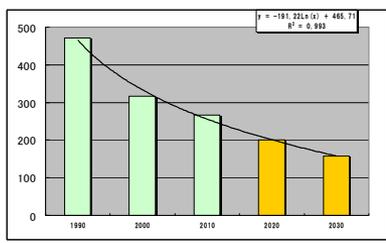
- 森林における炭素量計算の基礎データを得る
  - 単位面積あたり炭素量＝
    - ①地上部(樹幹＋枝葉)
    - ＋②枯死木及び③リター(落葉・落枝)
    - ＋④地下部(根)
    - ＋⑤土壌炭素量
- より信頼性の高い炭素量推計のために
  - 科学的な信頼性(統計的な方法に基づく調査データ)
  - デフォルト値よりは独自調査によるオリジナルデータ(国、地域、樹種、生育段階)



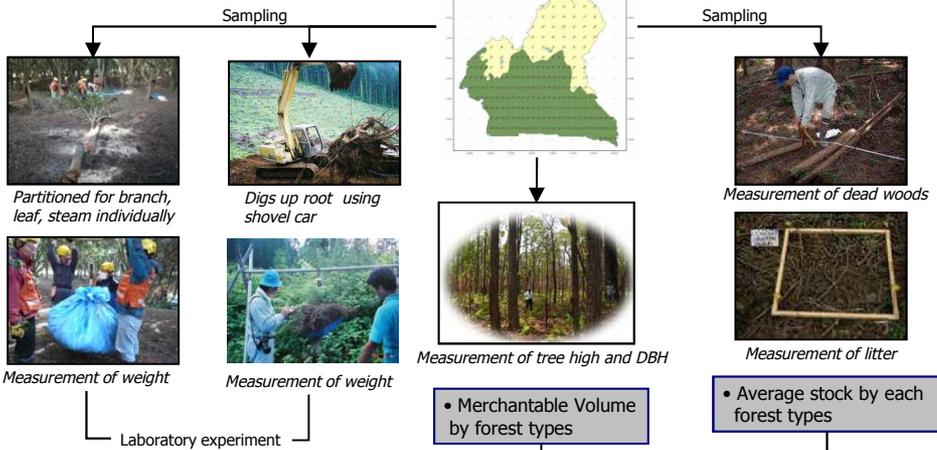
Classification



Forest Area Change Detection

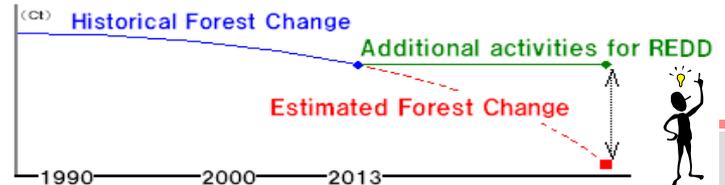
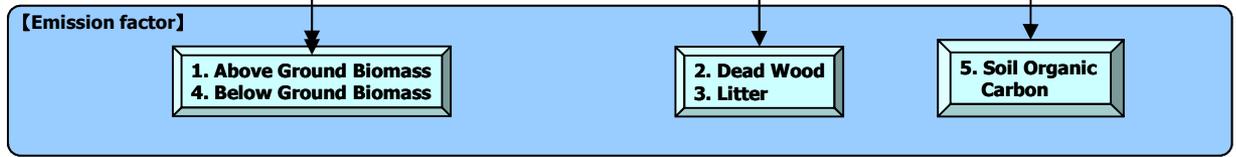


Developing National forest Inventory System



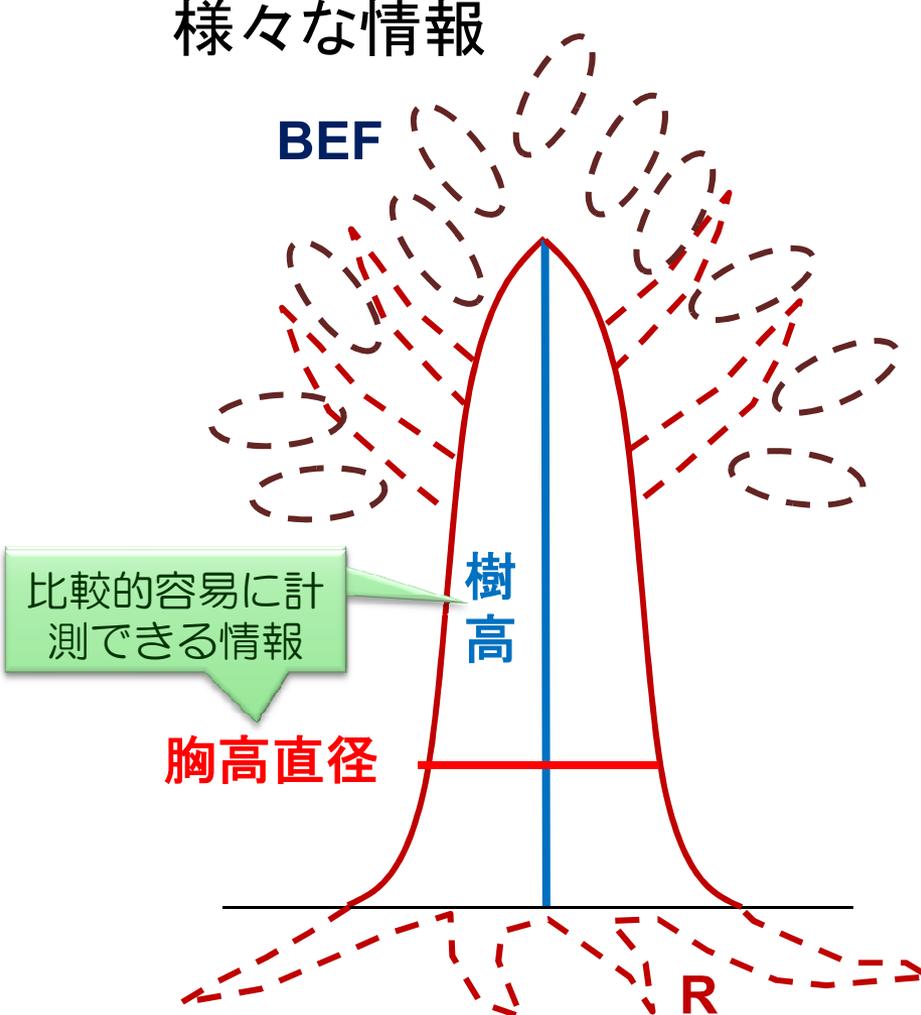
Development of Biomass conversion and expansion parameter(BCEF)

(AGB=Merchantable volume × BCEF)



# 樹木をモデル化して材積やバイオマスを把握する

- 計測値を材積、バイオマス、炭素量に変換するために必要な様々な情報



樹幹材積

総バイオマス

## ＜幹材積からの変換＞

樹幹のモデル化: 既存の材積式、材積表を利用(胸高直径、樹高を調べることにより計算)

バイオマスへの拡張: 幹材積を基準として、幹以外の部分(枝・葉・根)の構成比を調べることによりバイオマス量に換算する

## ＜計測値からの直接変換＞

アロメトリー式(相対生長式)

胸高直径等から直接バイオマス量や炭素量に変換する



# 5プールを把握するための地上調査

- ①地上部
  - 樹幹：プロットにおける立木調査（胸高直径や樹高を調べる**狭義の地上調査**→**一般的な国家森林資源調査（NFI）**）、樹幹材積変換のための破壊的調査（樹幹解析等）
  - 枝葉：BEF開発のための破壊的調査、生重及び乾重計測
- ②枯死木及び③リター
  - 枯死木：立木又は倒木、腐朽の程度
  - リター：小区画（0.5m四方等）における層厚調査及び試料採取
- ④地下部（根）
  - 根部を掘り出し生重量計測、試料採取し乾重計測
- ⑤土壌炭素
  - 層位ごとに資料採取し分析（林野庁土壌インベントリ調査）

# 我が国における各種モデル開発調査

- 幹材積
  - 昭和30～40年代
  - 「立木幹材積表」等として整理
- BEF及びR
  - 森林吸収源インベントリ情報整備事業
- 枯死木、リター、土壌炭素量
  - 森林吸収源インベントリ情報整備事業（森林土壌炭素蓄積量調査）
  - <http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/fsinvent/>

# 国家森林資源調査

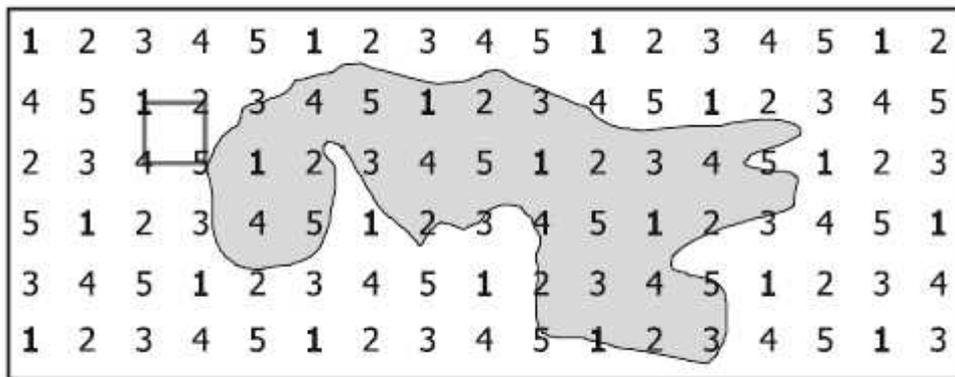
- 国家森林資源調査 (NFI: National Forest Inventory)
  - 国レベルで森林資源量を把握する調査
  - 全国で統一的手法により定期的に実施
- 統計的なサンプリング
  - 吸収量報告には統計的な信頼性の情報が必要
  - 系統抽出 (システマティックサンプリング)
- 現地調査
  - プロット調査、ポイントサンプリング
  - 資源把握に必要な情報: 胸高直径、樹高
  - その他必要な項目 (森林被害、生物多様性)

## フランスのNFI

- 調査時期：1950年代～最新NFI5（2004-2009）
- サンプルングの方法
  - Level1（1.41km × 1.41 km）の格子点ごとに写真判読
  - Level2（1.99km × 1.99km）の格子点を中心とした1km四方からランダムサンプルング
- 空中写真による林相図作成
  - 赤外線写真を自動区分ソフトで解析し、技術者が確認のうえ林相図を作成
  - 現地情報をタブレットPCで見ながら確認
- 写真判読プロット数：275,000
- 現地調査プロット数：50,000（うち森林35,000）
  - 森林の現地調査は4重の円形プロットで実施

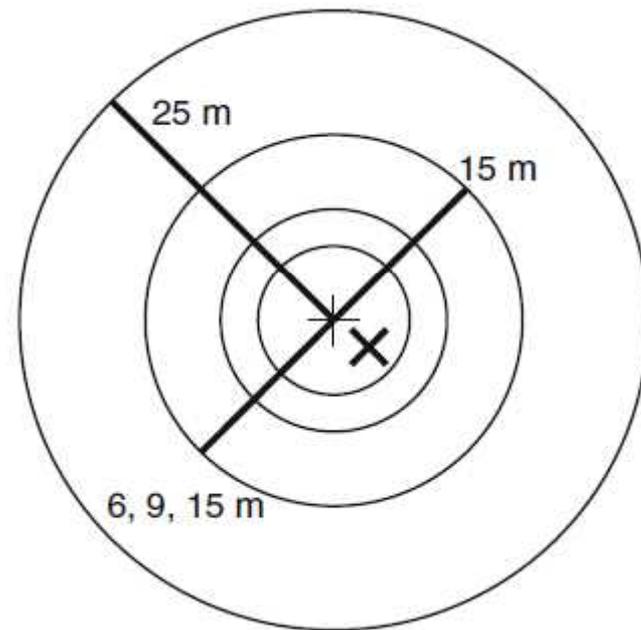


# フランス:プロットの配置・構造

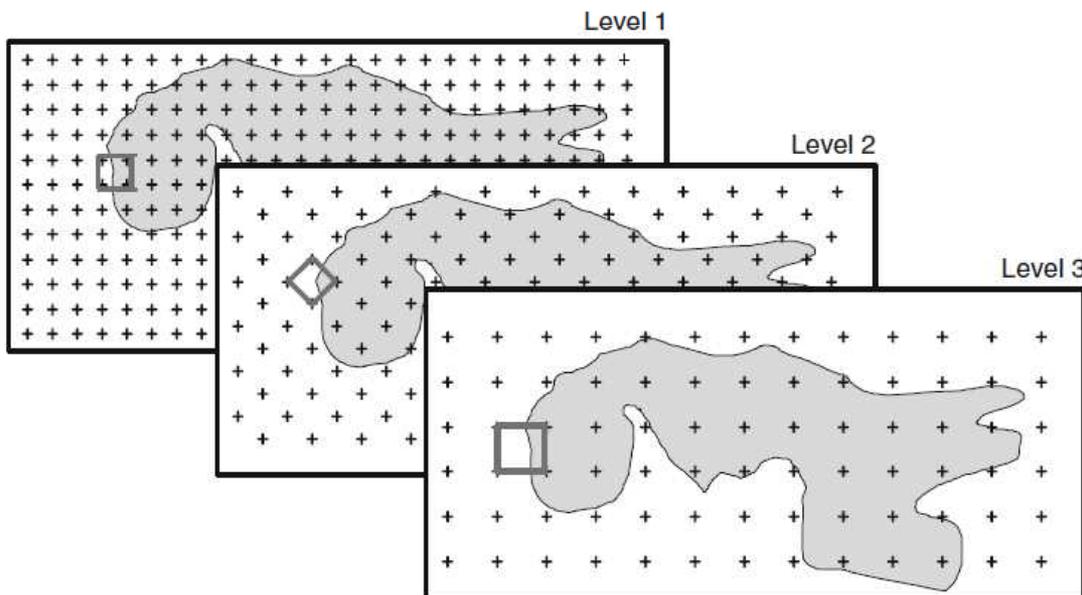


5年のサイクルに対応した格子点配置

□ 1.41 x 1.41 km mesh



4重円形プロット(円によって調査項目が変わる。  
×は土壌調査地点)



グリッドの階層構造

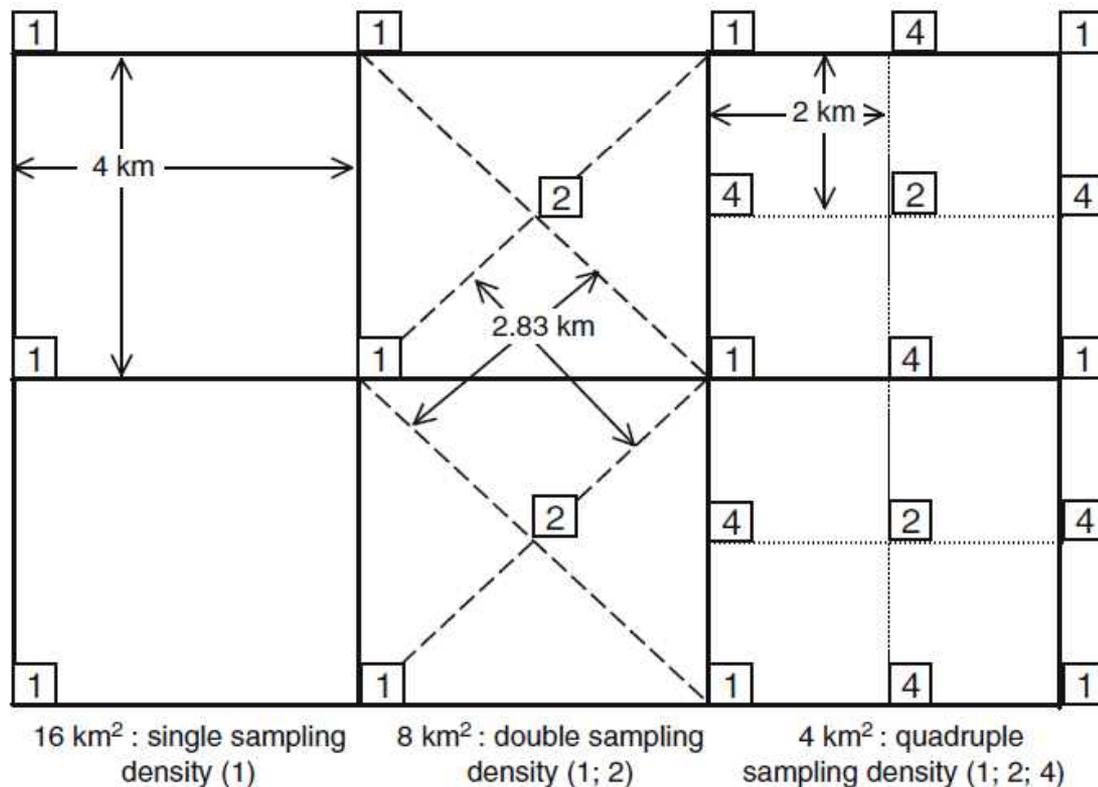
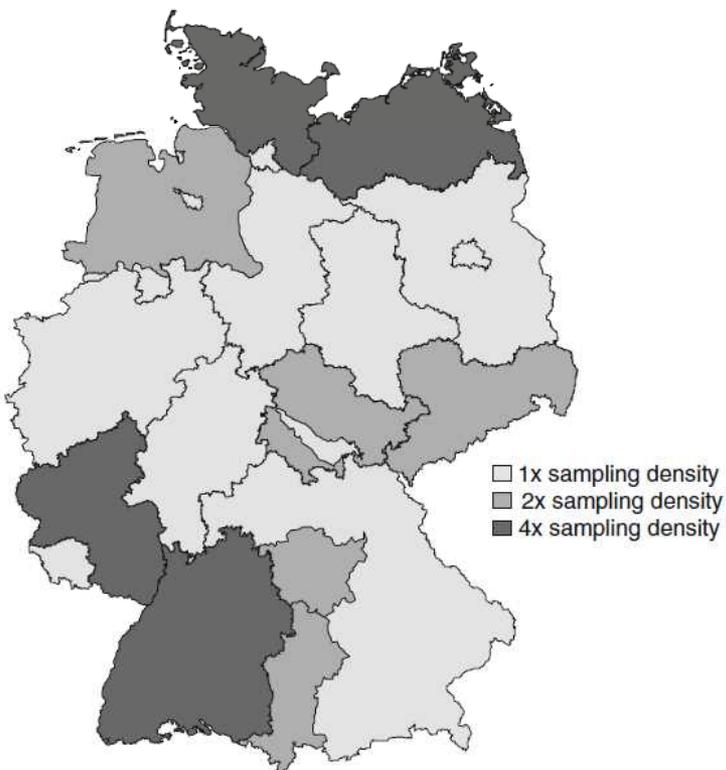
(National Forest Inventoriesより引用)





# ドイツのNFI

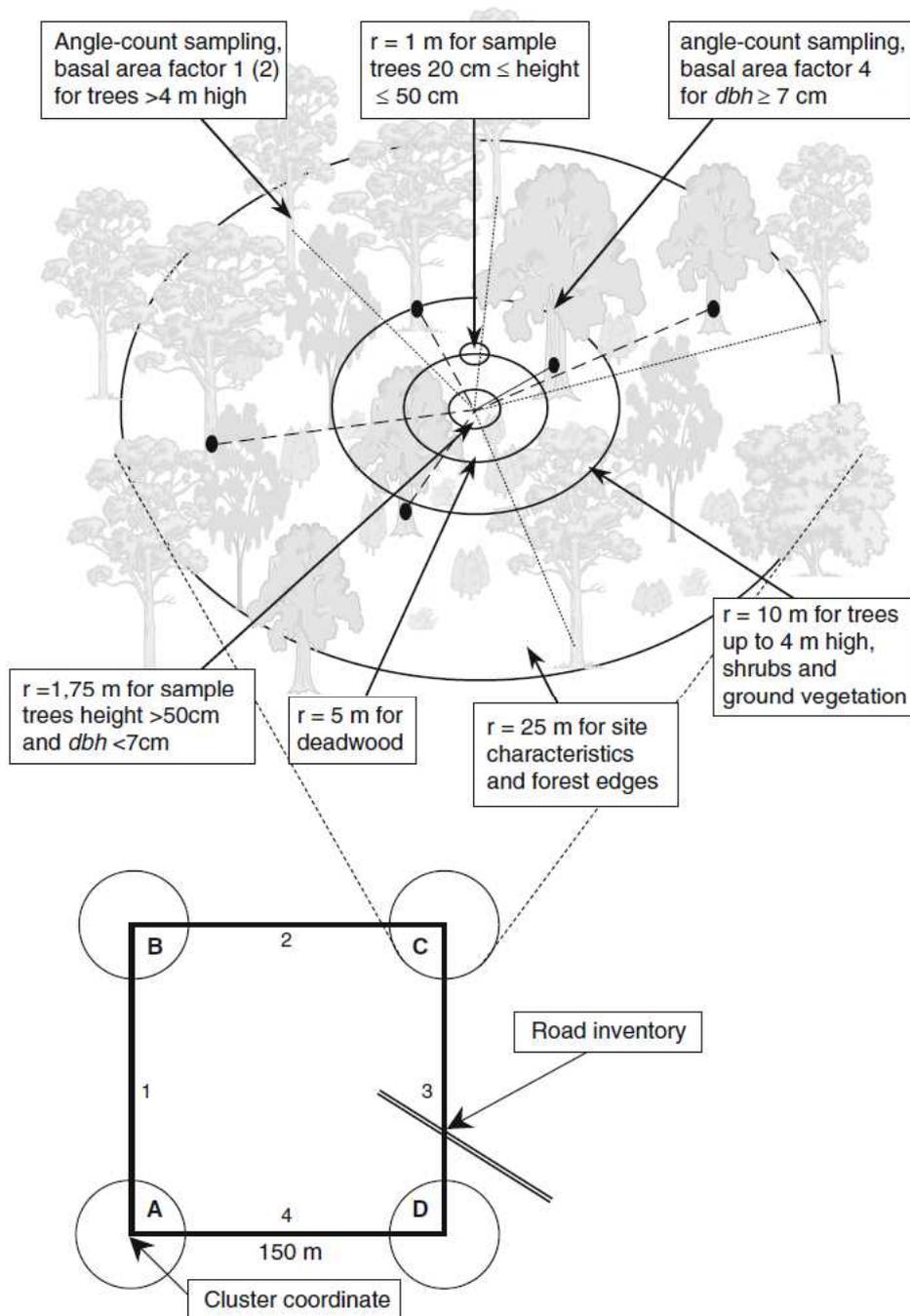
- 第1回:1986~90、第2回:2000~02
- 固定調査地の再測定(間隔10年)
- 地域によってサンプリング密度が異なる
  - 3種類のサンプリング密度(×1、×2、×4)





# ドイツ:プロット調査

- 150m格子のクラスター構造
- 四隅に半径25mの円形プロット
- プロット中心でポイントサンプリング
- 現地調査点数: 54,009 (NFI2)

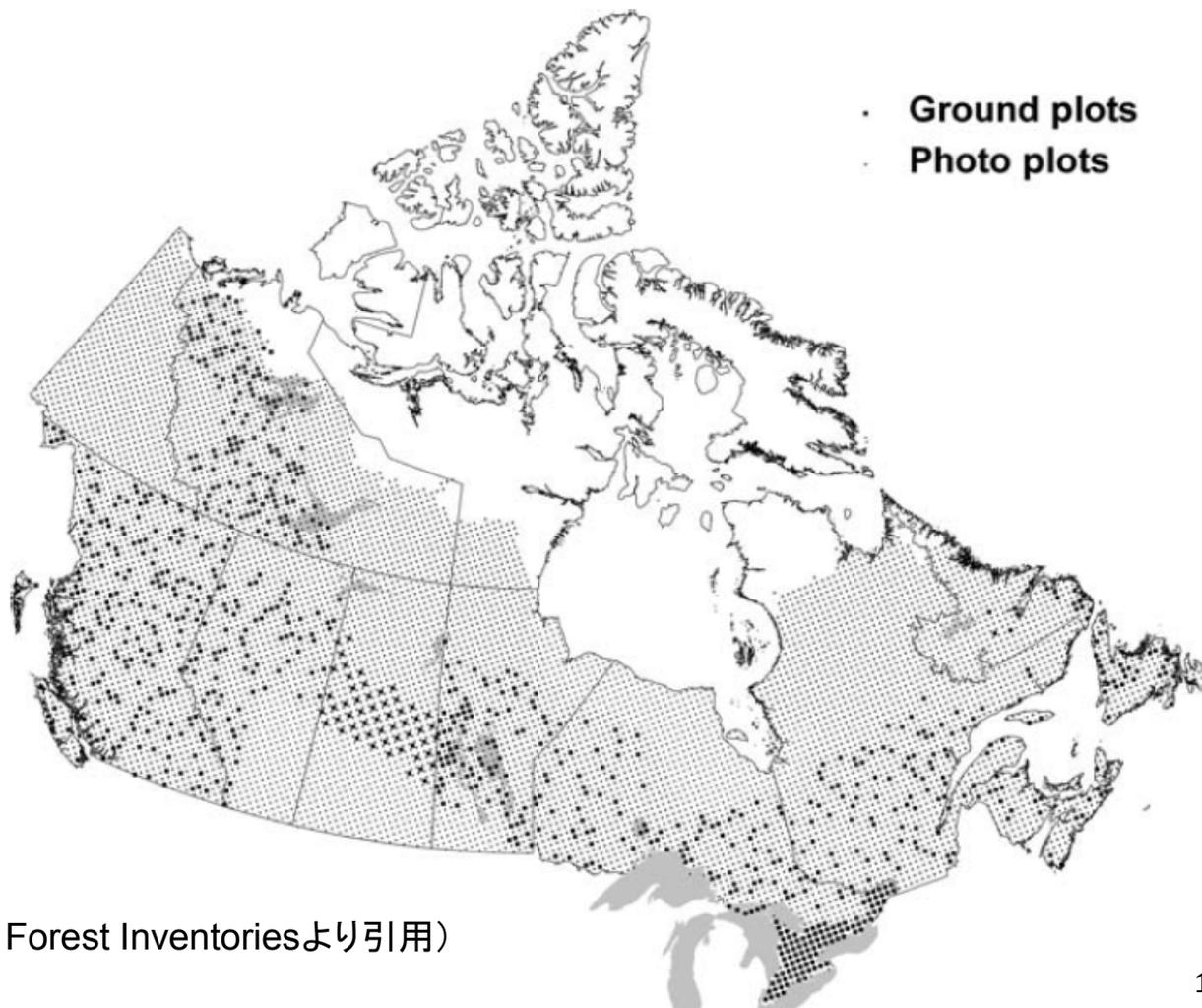


(National Forest Inventoriesより引用)

# カナダのNFI

- 20km格子ごとに2km四方の写真判読プロット(18,850)
- 写真格子点のうちの10%をランダムサンプリングし、中心を現地調査する

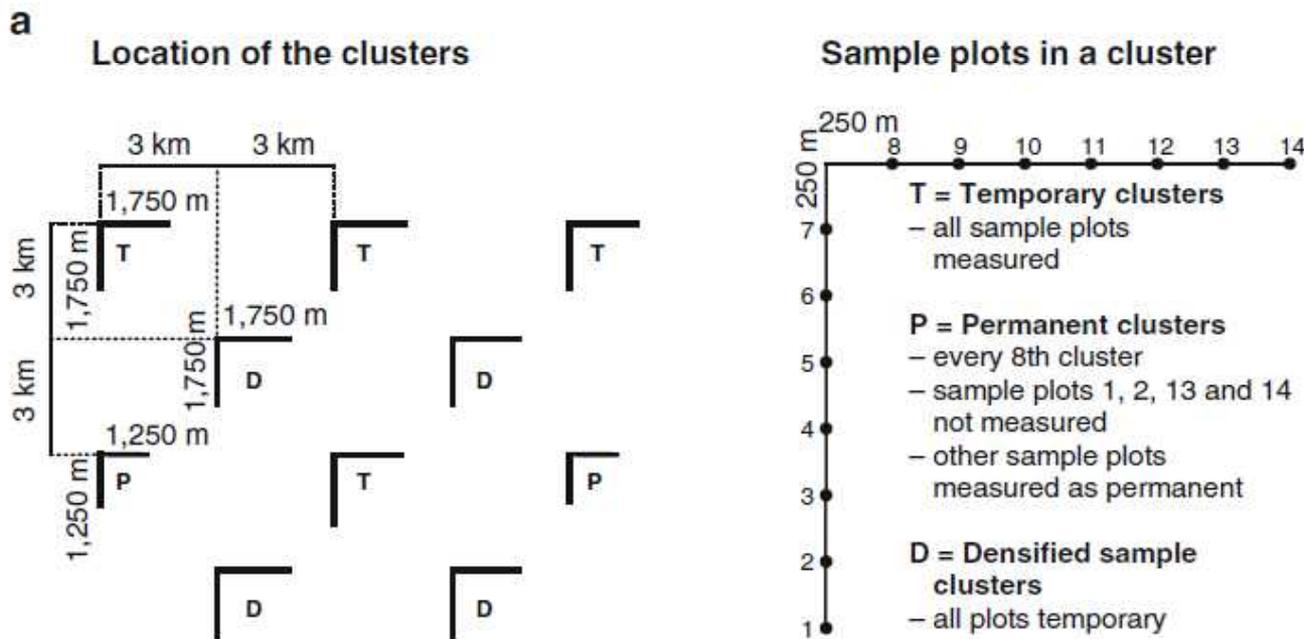
カナダの格子点配置  
・森林の存在しない極  
地方は除かれている



(National Forest Inventoriesより引用)

# フィンランドのNFI

- 1921年～ 現在NFI11(2009-2013)を実施中
- インベントリの間隔:5年
- 3×3km～10×10kmのサンプリング密度(6つの地域で異なる)
- クラスターサンプリングによる暫定調査地と固定調査地の組合せ調査(プロット中心点でポイントサンプリング)



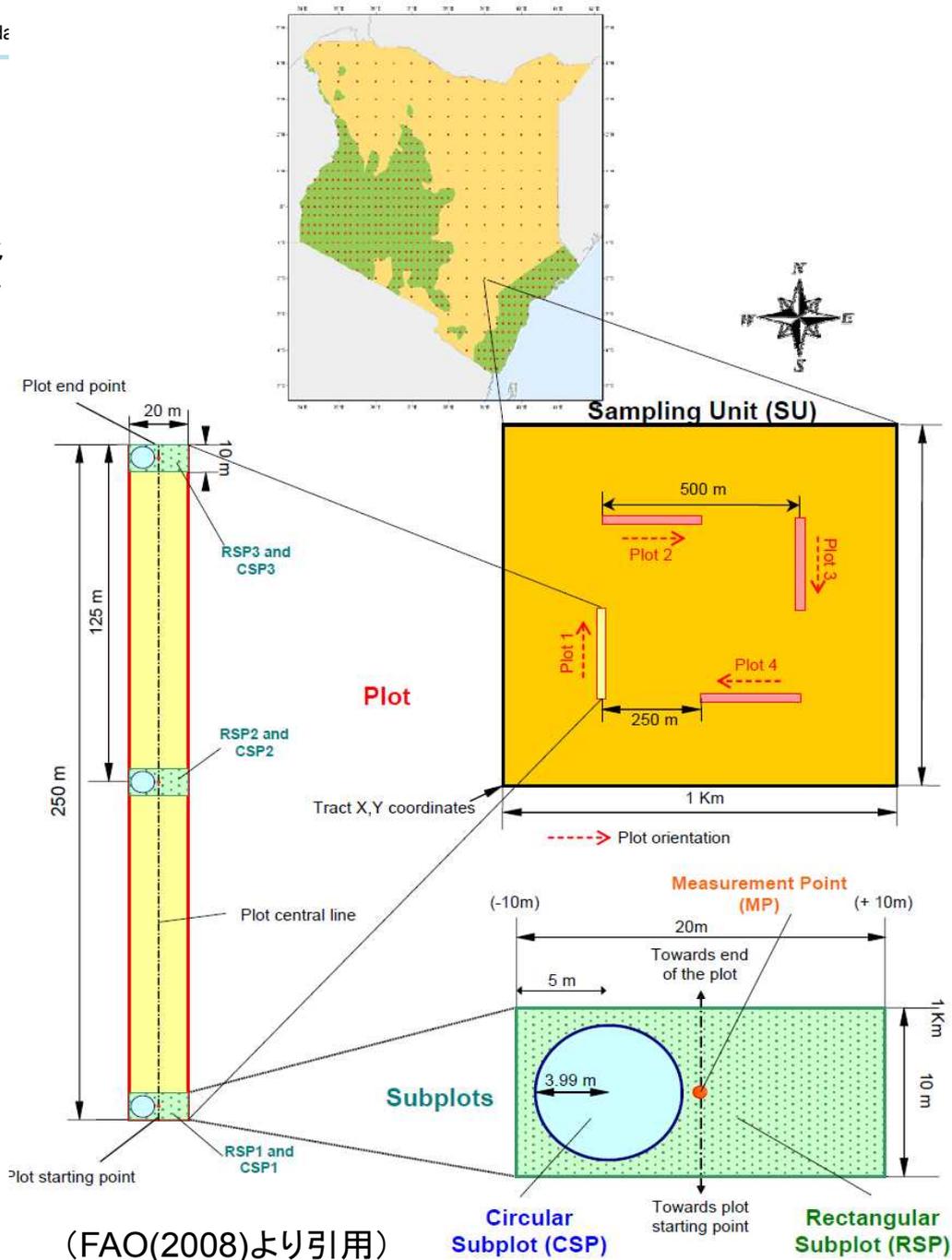
クラスターの構造(一部)

(National Forest Inventoriesより引用)



# FAO (2008) の方式

- 途上国における国家森林資源調査の計画実施を援助するプログラムにおける基本的な方法
- 最低でも経緯度1度単位の格子
- 格子点に1km四方のクラスター、中に4箇所の20×250kmプロット





# 日本の国家森林資源調査

## • 背景

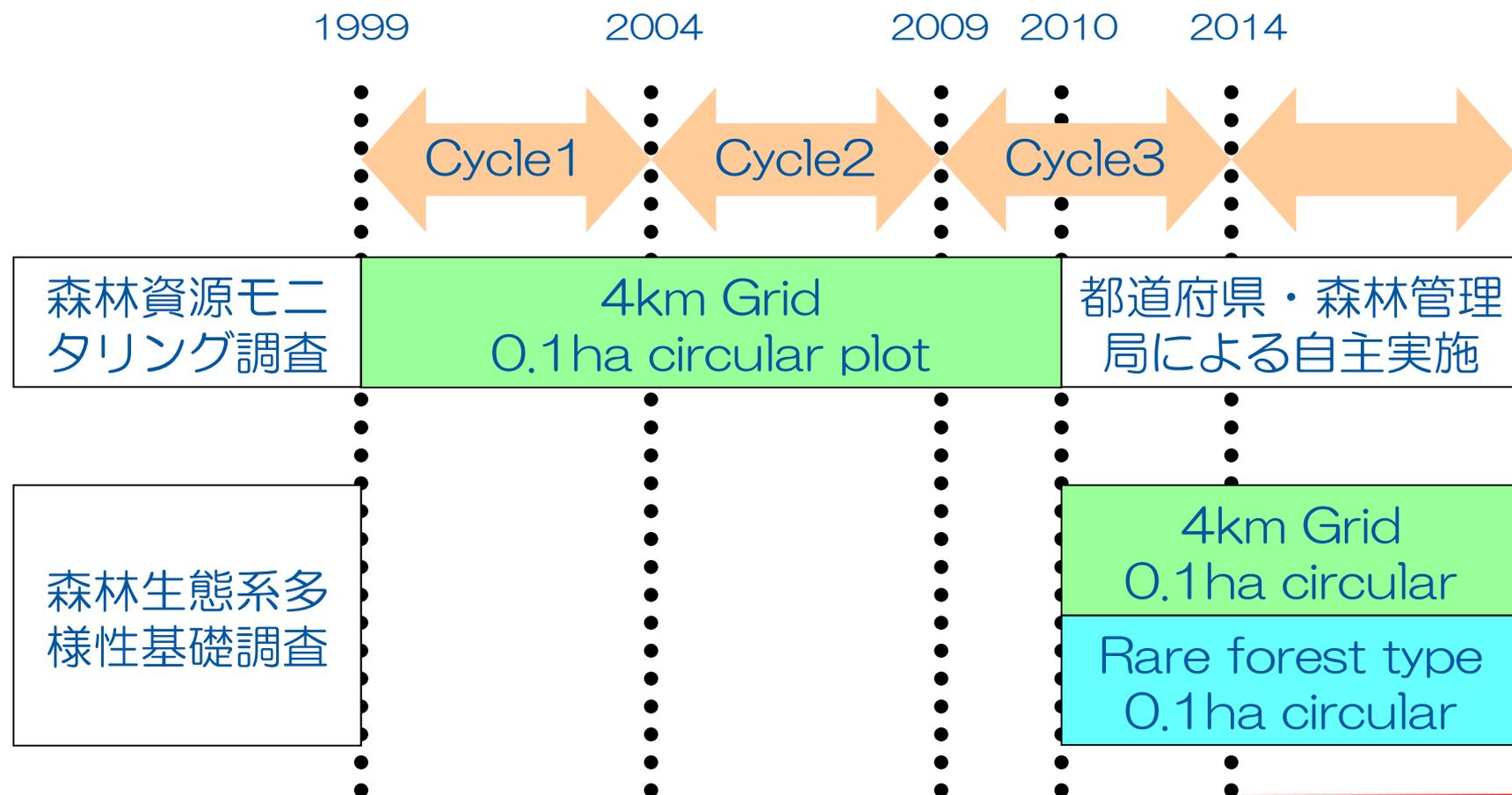
- 1992年の地球サミットにおいて、「持続可能な森林経営」について国際的合意
- 「持続可能な森林経営」に関する基準・指標作成の取組が進展（日本はモントリオール・プロセスに参加）
- 1998年の主要先進8カ国外相会議において、自国の森林の状況と持続可能な森林経営の進展状況をモニタリング・評価することを合意

## • 目的

- 持続可能な森林経営の推進に資する観点から、森林の状態とその変化の動向について、全国を統一した手法に基づき把握・評価

# 森林生態系多様性基礎調査

- 1999年より開始(森林資源モニタリング調査)
- 現在第3期調査を実施中



# NFIのプロセス

## 企画段階

**①目標設定**  
 ・What：何を知りたいか（材積・成長量）  
 ・What：目標とする精度  
 ・Where：どの範囲（全国？地域？）

**②資料収集**  
 ・過去の調査データ  
 ・既存の材積・バイオマスの計算パラメータ  
 ・RSデータ（衛星画像、空中写真）

**③概略設計**  
 ・調査目標  
 ・計測項目案  
 ・暫定の目標精度  
 ・予算の概算  
 ・予備調査の準備  
 ・材積パラメータ開発調査の必要性検討

## 計画段階

**④予備調査**  
 【目的】  
 ・実施上の問題点の検出  
 ・目標精度達成に必要な調査量の把握  
 ・必要な予算規模の把握  
 【調査項目】  
 ・各計測項目の実行可能性の点検  
 ・調査地点あたりの必要工数（プロット形状など調査方法の違い）  
 ・調査員に必要な能力等の確認  
 ・必要な調査機材の洗い出し

**⑤予備調査結果の分析**  
 ・調査方法の決定  
 サンプルング手法  
 工程と精度の両面から  
 層化・クラスターの必要性  
 調査困難地の扱い  
 ・必要サンプル数  
 データのばらつき（変動係数）に基づく検討  
 ・予算計画  
 ・調査体制の検討  
 チームの構成  
 役割分担  
 人材確保

**（別途実施）パラメータ開発調査**  
 ・材積・バイオマスの推定パラメータを新たに取得する  
 ・NFIとは別途計画・実施する

**⑥実施計画**  
 ・基礎情報の準備  
 地図（GIS）  
 衛星画像・空中写真等  
 ・スケジュール作成  
 調査地点管理表  
 現地スケジュール  
 ・調査野帳の作成  
 ・マニュアル作成  
 ・品質管理計画  
 人材育成  
 品質管理と精度向上  
 ・データ活用計画・体制

**⑦実行体制の整備**  
 ・組織の編成  
 ・調査員の育成  
 ・機材の調達  
 ・データ入力・収集システムの整備  
 ・事前研修の実施  
 【2回目以降】  
 ・RS・地図情報の更新  
 ・調査方法・体制の見直し（マニュアル修正等）  
 ・機材の更新

## 実行・管理段階

**⑧調査の実行（調査チーム単位）**  
 ・現地調査準備（入林に係る諸手続き等）  
 ・調査実施  
 ・安全管理  
 ・データ入力

**⑨調査の進行管理（全体総括）**  
 ・調査の円滑かつ安全な実施をコントロール

**⑩データの利活用**  
 ・収集データの集計・解析  
 ・解析結果の報告・公表

**⑪品質管理**  
 【人材育成】  
 ・調査員の研修  
 【精度管理】  
 ・独立チームによる再計測  
 ・目標精度との比較  
 【データ管理】  
 ・調査データの統合  
 ・全体的なエラーチェック  
 【品質向上】  
 ・誤差要因の分析  
 ・マニュアルの修正  
 ・コスト評価

森林管理施策へ反映

フィードバック





# NFIの企画段階

# NFIの企画

- 目標設定の重要性
  - 例: 客観的で信頼性の高い炭素量を把握することにより、炭素市場で有利な取引をしたい
  - 例: 正確な森林資源を把握することにより、持続可能な森林管理を実現したい
- 何を把握したいのか
  - 何を知りたいのか: 森林資源(材積、成長量)、生物多様性
  - 目標とする精度はどれくらいか: 樹種別、地域別、時間間隔
  - 対象とする範囲: 全国、地域
- 既存資料の調査
  - 現在までどのような情報が蓄積されてきたかを事前に把握しておくことが非常に重要(無駄なく、効率的なNFIの実現のために)
    - 過去のNFIデータ
    - 材積、バイオマスのパラメータ
    - 衛星画像、空中写真等のリモートセンシングデータ
  - 収集した資料のチェック: 信頼性、目標への適合

# 概略設計

- NFIの概略を検討する
  - 調査目標：何を知りたいか？どの程度の精度で知りたいか？把握したい範囲はどれくらいか？
  - 調査方法や計測項目の検討：資料収集結果の分析結果に基づき、NFでどのような調査を実施すれば調査目標が達成可能か想定
  - 予算の概算：調査目標の達成に必要な予算はどの程度か、おおまかに検討
  - 予備調査の準備
- 材積パラメータ開発調査の必要性の検討
  - 利用可能な材積やバイオマスのパラメータが存在しない場合、調査目標の水準に達していない場合等は、NFIの実行とは別にパラメータ開発の調査が必要



# NFIの計画段階

# 予備調査の実施

- 予備調査の目的
  - NFIを実際に行う上での様々な問題点を事前に明らかにする
  - 調査目標の達成に必要な調査量の把握
  - 必要な予算規模の把握
- 予備調査項目
  - 各計測項目の実行可能性の点検
  - 調査地点あたりの必要な工数(プロットの形状など調査方法の違い)
  - 調査員に必要な能力等の確認
  - 必要な調査資器材の確認



# 予備調査で検討すべき事項

## • 調査方法の決定

- 様々な標本抽出法：系統抽出法、層化抽出法、多段抽出法
- 考え方の基本
  - より少ないコストで、目標とする精度の成果を得る。調査工程と目標精度のトレードオフを意識して調査方法を検討する

## • 必要な標本数

- 標本調査において、必要な標本の数は、「目標とする精度」と「調べたい対象のデータのばらつき」によって決めることができる。

# 森林を対象としたサンプリング調査

## 森林調査におけるサンプリング調査の適用

標本調査の目的は、最小の費用(コスト)で最良の推定結果を得ること

## 測定対象として見た場合の森林の特徴

- ①形状が複雑で正確に計測するのが難しい  
→モデル化して考える必要
- ②大量に存在する  
→統計的方法の必要
- ③山に生えており動かすことができない  
→測定に労力が必要
- ④時間と共に成長する  
→変化を知るためには繰り返し計測する必要
- ⑤高価なものではない  
→測定に掛けられるコストに制限

# 標本抽出の基礎

## 単純無作為抽出

最も基本的な標本抽出法。実務上はランダムに標本を得ることは困難な場合が多い

## 基本的な定理(有限母集団・非復元抽出)

$$\text{母平均 } \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i = \bar{\theta}$$

$$\text{標本平均 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{母分散 } \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2$$

$$\text{標本分散 } s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$N$  : 母集団の大きさ       $n$  : 標本数

$\theta_i$  : 母集団の*i*番目の値       $x_i$  : 標本の*i*番目の値

## 標本平均と標本分散

標本平均の期待値は、母平均に一致する(不偏推定量)。標本平均の分散は、非復元抽出の場合 $(N-n)/(N-1)$ という因子(有限母集団修正)が掛かるが、一般には $n$ に対して $N$ が十分大きいので、これを1とみなして無視しても問題ない。

$$\text{標本平均の期待値 } E(\bar{x}) = \mu$$

$$\text{標本平均の分散 } V(\bar{x}) = E(\bar{x}^2) - E(\bar{x})^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left( \frac{N-n}{N-1} \right) \doteq \frac{\sigma^2}{n}$$

## 区間推定

標本平均、標本数、標準分散の値から、母平均を一定の信頼区間で推定することができる。

$$\bar{x} - t \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$



## 標本数

標本調査を行う場合、どの程度の標本数を抽出すればよいかについては、慎重に検討される必要がある。許容すべき誤差が定まった場合、標本数、標本平均、標本標準偏差の間には以下の関係が成り立つ。

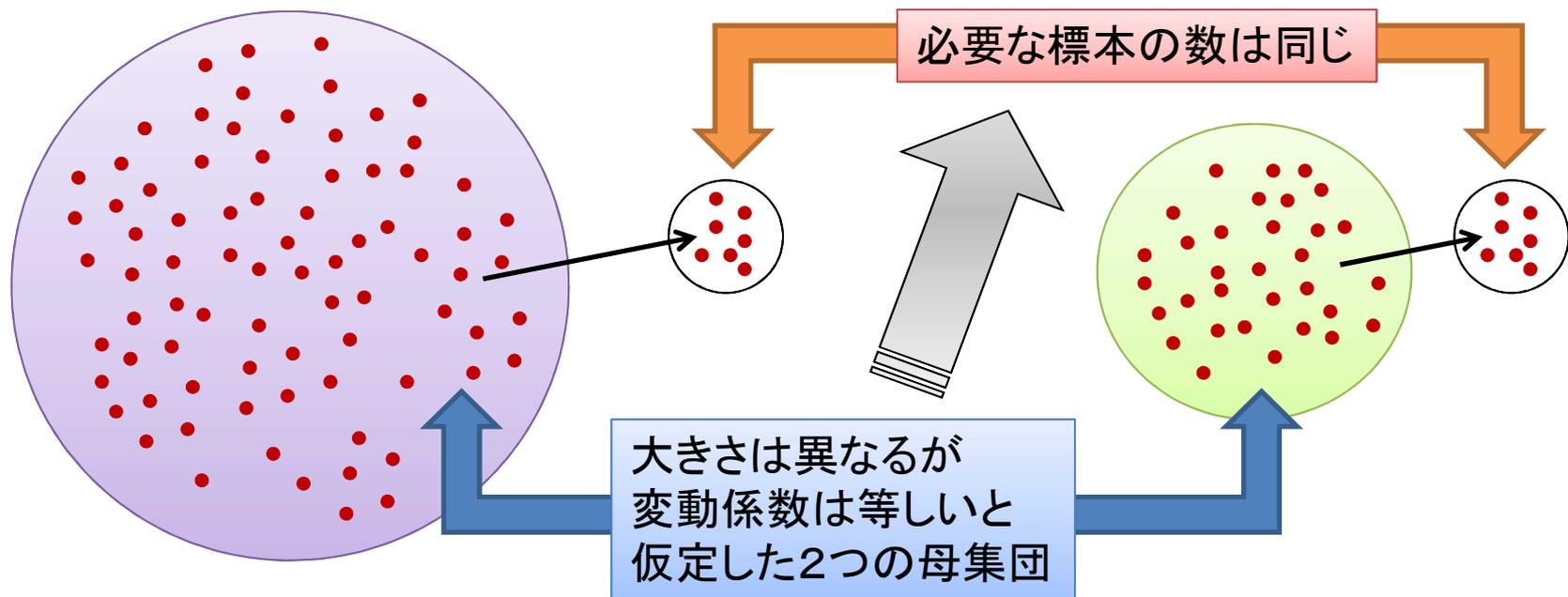
$$N_0 \geq \left( \frac{t_{0.05} C_v}{e} \right)^2, \quad e = \frac{\Delta x}{\bar{x}}, \quad C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

$N_0$  : 必要な標本数       $t_{0.05}$  : 95%信頼度係数 (=2)       $e$  : 目標誤差率

$\bar{x}$  : 標本平均       $\Delta x$  : 許容誤差       $C_v$  : 変動係数       $s$  : 標本標準偏差

## 標本数(つづき)

前記の式において、注目すべき点としては、変動係数(標準偏差／標本平均)と目標誤差率が決まれば、対象面積の大きさに依存せず、標本数が自動的に定まることにある。すなわち、対象面積が広くても狭くても、(変動係数が等しければ)必要な標本数は変わらないということを意味する。





## 標本数(つづき)

1961年に日本で実施された、全国森林資源標本調査においては、許容誤差率Eを3%、95%信頼度係数を2、総材積の変動係数を過去の調査結果より150%として、以下のとおり必要なプロット数を10,000と定めた。

$$N_0 \geq \left( \frac{2 \times 1.5}{0.03} \right)^2 = 10,000$$

材積の変動係数に関しては、事前の予備調査や過去の経験に基づき事前に得ておく必要がある。



## 系統抽出法 (Systematic sampling)

### 無作為抽出法の課題

無作為に標本を取り出すのは、実務上は困難

森林調査など空間的な広がりのある対象からサンプリングする場合、地域的な偏りが生じる可能性もある

標本を一定の間隔で取り出すことにすれば、上記の問題を解決できる  
N個の要素からなる母集団に1~Nの番号を付けておき、n個の標本を取り出すことを考える。

(ここで $d=N/n$ を抽出間隔、 $f=n/N$ を抽出率という)

1~dまでの番号の中からランダムに番号を選び、その番号を開始位置として、d個ごとに標本を取り出していくと、n個の標本が抽出される。

### 系統抽出法の課題

厳密には無作為抽出に比べて精度が下がるとされている。

母集団の値に空間的な規則性がある場合、標本の取り方によって偏りのある推定結果が得られる可能性がある

## 系統抽出法の実施

面積Aの対象地域において、n個の標本を取り出す場合、 $d = \sqrt{A/n}$ となるように格子点を設定する。

(dが端数になる場合は、切りのいい値に切り下げる)

対象地域内にランダムに任意の1点を抽出し、そこを原点としてXY方向に間隔dの方眼を描き、その交点を抽出プロットとする。

より簡易には、切りのいい経緯度等を基準として設定する。

FAOのNFMAマニュアルでは、少なくとも経緯度1度の間隔で格子点を設定することを推奨。

実際には層化多段抽出法との組合せが多い。

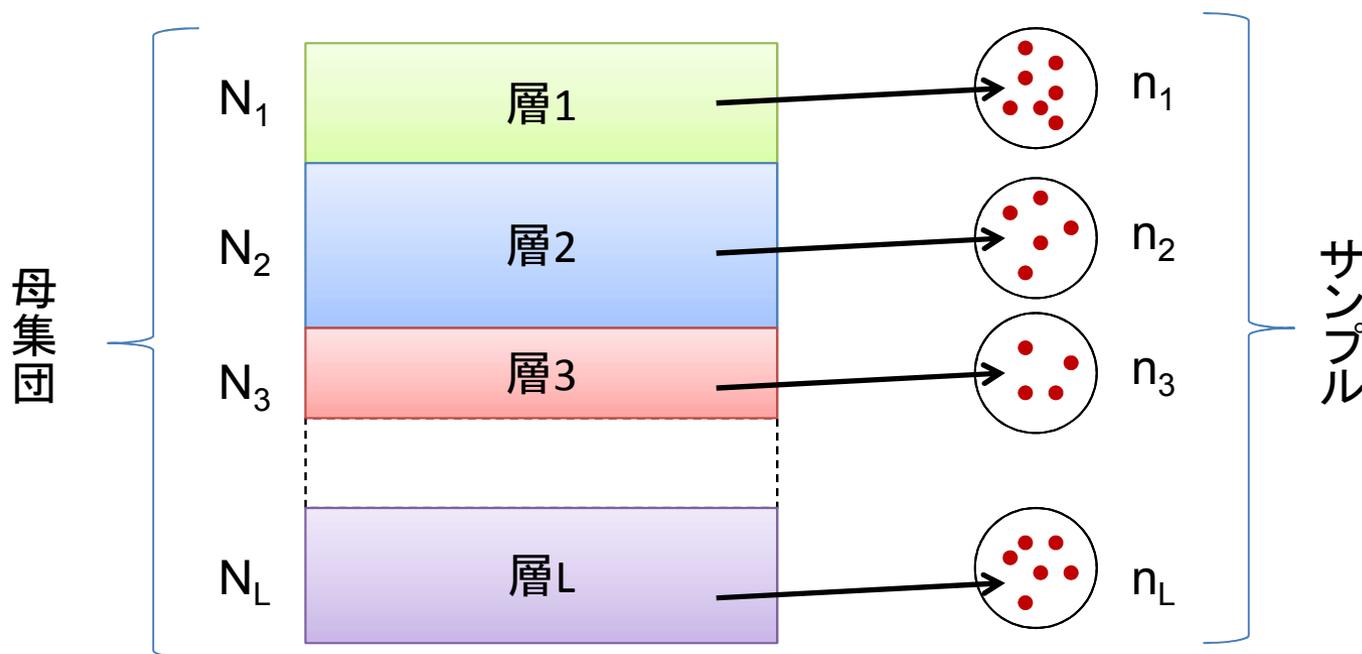
国	層区分	標本抽出区域 (トラクト)の数	抽出間隔	
			分(緯度×経度)	km(緯度×経度)
レバノン	なし	226	4'×4'	約7×6km
フィリピン	なし	389	15'×15'	約25×25km
カメルーン	1	167	30'×15'	約50×25km
	2	69	30'×30'	約50×50km
	計	236		
グアテマラ	1	28	15'×30'	約28×54km
	2	71	15'×15'	約28×28km
	3	9	15'×30'	約28×54km
	計	108		

(FAO,NFMA Working paper No.37/E, 2008)



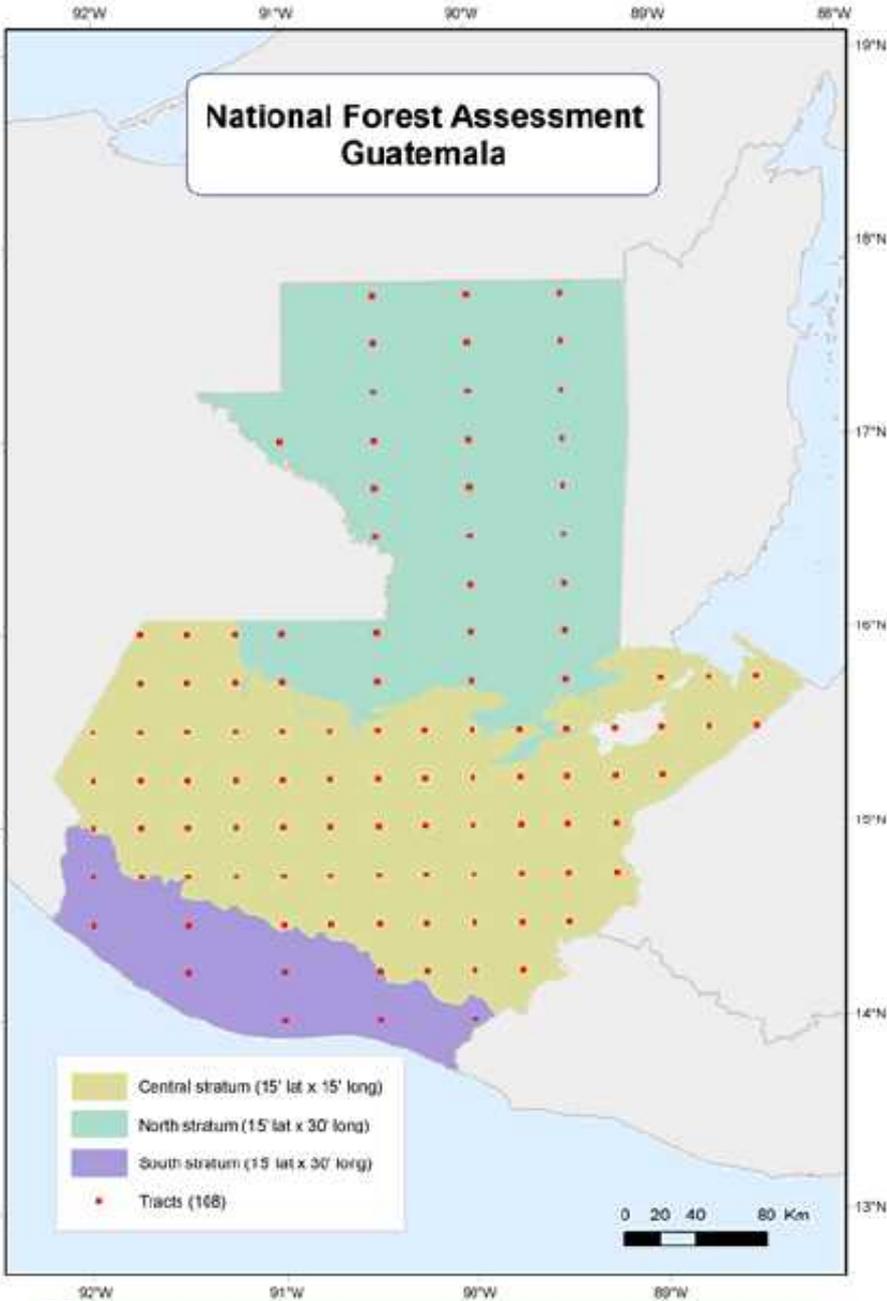
## 層化抽出法 (Stratified sampling)

母集団が、相異なる部分集団(部分集団内は同質)で構成されていることが事前にわかっている場合、それぞれの部分集団を基準として標本抽出を行うことで、より少ないサンプル数で推定精度を上げることができる。これを層化抽出法という。

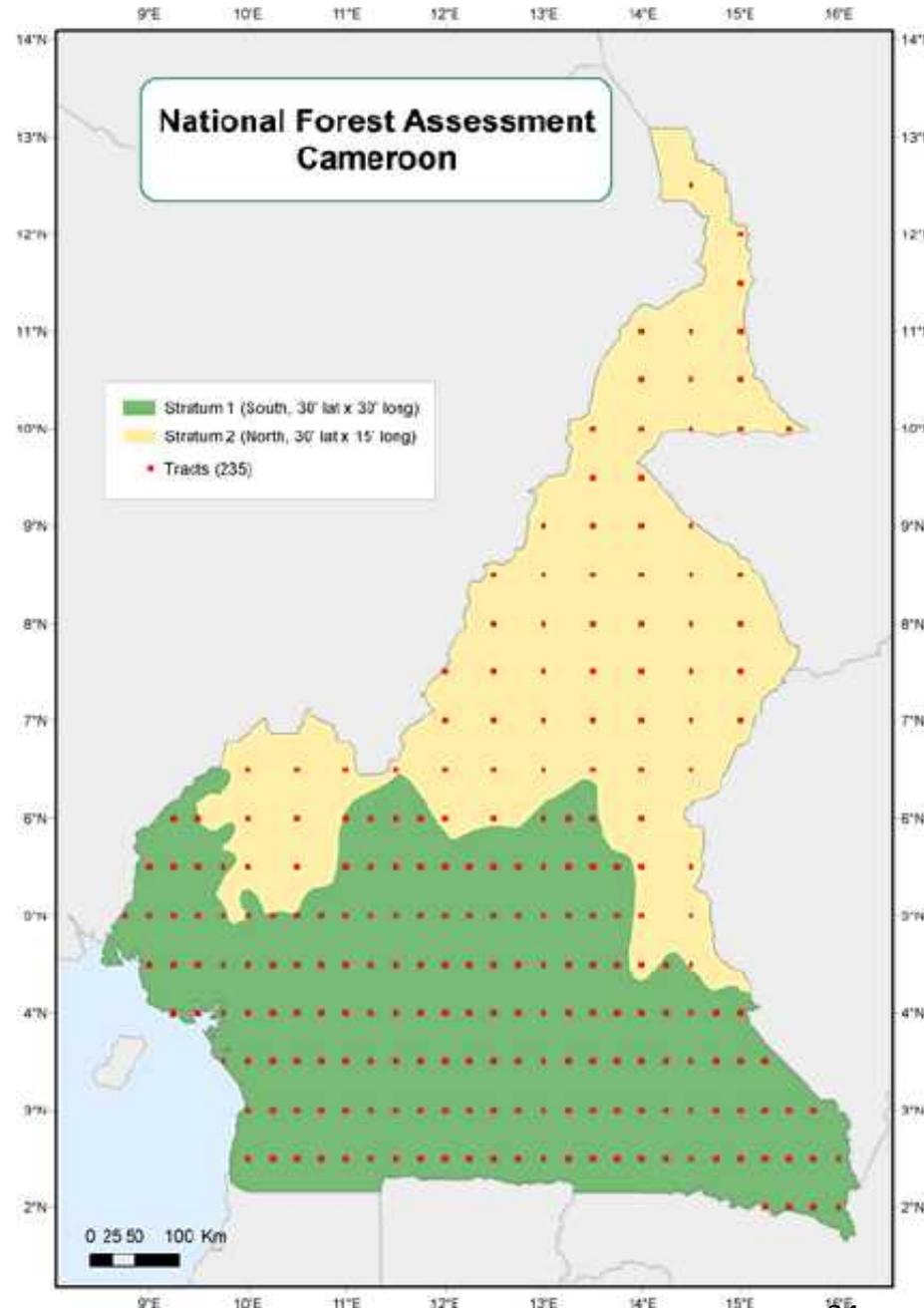




### National Forest Assessment Guatemala



### National Forest Assessment Cameroon



## 層化抽出法におけるサンプルの割当（比例配分）

層化抽出法では、より少ないサンプル数で精度の高い推計結果を得るために、層ごとに適切にサンプル数を割り当てる必要がある。

各層の母集団に対する比率（ウェイト）がわかっている場合、これに標本総数を掛けることにより、各層に標本数を割り当てることができる。これを比例配分という。

$$N = \sum_{i=1}^L N_i = N_1 + N_2 + \cdots + N_L \quad w_i = N_i / N \quad (\text{層}i\text{のウェイト})$$

全体で $n$ の標本を抽出する場合、層 $i$ からサイズ $n_i$ の標本を抽出するものとする、下記のとおり、層ごとのウェイトを掛けて比例配分する。

$$n_i = n \frac{N_i}{N}$$

層 $i$ から観測値 $x$ を得るものとするとその平均は、

$$\bar{x}_i = \sum x_i / n_i$$

母集団の平均 $\mu$ は、各層の標本平均にウェイトを掛けた和  $\hat{\mu}$  により推定される  
 $\hat{\mu}$  の分散は下記で与えられる。

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^L w_i \bar{x}_i \quad V(\hat{\mu}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L w_i \sigma_i^2$$

## 層化抽出法におけるサンプルの割当（ネイマン配分）

あらかじめ予備調査等により、各層のばらつき（分散）がわかっている場合、それも考慮に入れて全体の分散を最小にするようにサンプルの割当数を決定する方法をネイマン配分といい、下記の式により割当を行う。このときの分散を  $V(\hat{\mu}')$  とすると、

$$n_i = n \frac{w_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^L w_i \sigma_i} \quad V(\hat{\mu}') = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^L w_i \sigma_i^2 \right)^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L w_i \sigma_i^2$$



## 比例配分とネイマン配分の比較

ここで、母分散と各層の分散との間には下記の関係が成り立つことがわかっている

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^L w_i \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^L w_i (\bar{\theta}_i - \mu)^2 \quad \begin{array}{l} \sigma^2 : \text{母分散} \quad \mu : \text{母平均} \\ \bar{\theta}_i : \text{各層の平均} \end{array}$$

上式で、第2項は0以上であることが明らかであるので、第2項を無視すれば、

$$\frac{\sigma^2}{n} \geq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L w_i \sigma_i^2 = V(\hat{\mu})$$

となり、単純無作為抽出法より比例配分の方が分散が小さくなる(精度が高い)  
また、比例配分の分散とネイマン配分の分散を比較すると、以下の関係が成り立つ  
(各層が十分に大きく、かつ各層のサンプル数が小さい場合)

$$V(\hat{\mu}) - V(\hat{\mu}') \doteq \frac{N}{n} \sum_{i=1}^L N_i (\sigma_i - \bar{\sigma})^2 \quad \bar{\sigma} : \text{各層の標準偏差の加重平均}$$

よって、一般的に下記のような関係が成り立ち、また層間のばらつきが大きいほど、  
比例配分よりネイマン配分の方が精度が高くなる

**単純無作為抽出法の分散  $\geq$  比例配分の分散  $\geq$  ネイマン配分の分散**



## 比例配分とネイマン配分の比較

層化抽出法による層別抽出個数の計算(ネイマン配分)

階層	面積 (ha)	各層の全面積に対する比率 $W_i$	各層の標準偏差 $S_i$ (予備調査による)	$W_i \times S_i$	抽出個数	比例配分の場合
I	192.88	0.181	1.581	0.286	7.3	16.9
II	212.49	0.200	2.684	0.536	13.7	18.7
III	96.64	0.091	3.587	0.326	8.3	8.5
IV	129.11	0.121	2.655	0.322	8.2	11.3
V	246.84	0.232	4.252	0.986	25.2	21.7
VI	186.84	0.175	6.838	1.200	30.7	16.4
計	1,064.80	1.000		3.655	93.5	93.5
条件1: 95%信頼係数を2、誤差率10%とする						
条件2: 予備調査時のプロット当たり平均材積を7.559とする (山田・村松,1971を参考)						
n	93.52188					
抽出率	25.58717					



- コストを考慮した層化抽出 (CookBook Recipe-T12)

- 全体の必要プロット数  $n$

$$n = \left( \frac{t}{E} \right)^2 \left[ \sum_{h=1}^L W_h S_h \sqrt{C_h} \right] \left[ \sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h} \right]$$

母集団全体の大きさ  $N$  層 $h$ の大きさ  $N_h$  層 $h$ のウェイト  $W_h = N_h / N$

層の数  $L$  95%信頼度係数  $t$  層 $h$ の標準偏差  $S_h$  目標誤差率  $E$

層 $h$ のプロットあたりの調査コスト  $C_h$

- 層ごとのサンプル数

$$n_h = n \frac{W_h S_h / \sqrt{C_h}}{\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h}}$$

## 適切な層化

- 層化サンプリングの目的: ①推定精度を高めること、②サンプル数を少なくして調査コストを低減させること
- 効率的な層化のためには、森林タイプと森林の状態の2軸で構成された「層化マトリックス」を利用することが有効と考えられる

森林の状態  
Forest Condition

→

森林タイプ Forest type	成熟林 Mature	伐採林 Logged	二次林(若齢) Secondary (young)	二次林(壮齢) Secondary (med. aged)
常緑林 Evergreen				
落葉林 Deciduous				
混交林 Mixed				

↓

図 T12-1 森林タイプと森林の状態で区分した層化マトリックス  
(Gibbs ら<sup>8)</sup> を一部改変)



# 実習

- エクセル表「実習標本抽出法(空).xls」を使って
  - ①標本抽出個数の計算
  - ②比例配分による標本抽出
  - ③ネイマン配分による標本抽出
  - ④それぞれの抽出結果に基づく材積推定値の比較
- またはWinrockのエクセルシートを使った実習

# プロットの大きさ・形状

## プロットの大きさ

一般にプロット面積が大きいほど、測定値のばらつきは少なくなる。一方、プロット面積が大きいほど、調査に要する経費は多くなるので、両者を考慮して決定する。

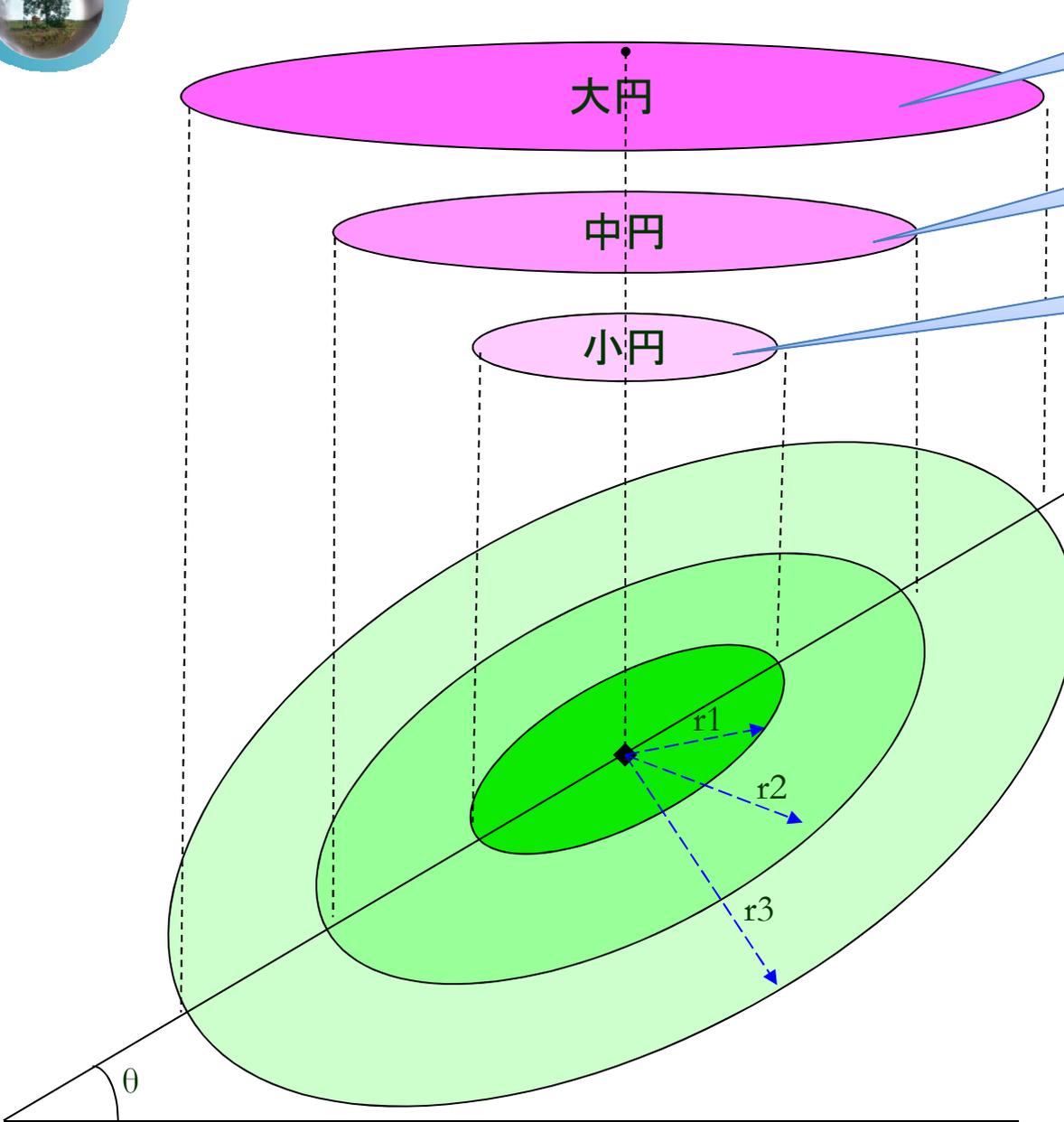
少なくともプロットあたり20～30本の立木が含まれるようにする。

## 森林を対象とした場合の問題

等確率抽出の原則から、抽出するプロットの大きさは同一サイズにするのが原則である。すなわち水平投影面積が同じになることを考慮したプロット設定が必要

森林は、大小様々な立木で構成されていることから、例えば胸高直径の測定に着目すると、同一サイズプロットでは、小径木林では測定対象木が大量に発生し、大径木林では測定本数が少なくなるおそれがある。このような場合、例えば直径階をグループ分けして、直径階グループごとにプロットサイズを変えるといったことが行われる。

これは一種の集落サンプリングを行っているとも考えられる。



0.10ha

0.04ha

0.01ha

測定対象に応じて、プロットの大きさを変える例(日本の森林生態系多様性基礎調査)

調査項目	小円	中円	大円
立木(DBH)	1.0cm以上	5.0cm以上	18.0cm以上
伐根(直径)	5.0cm以上		18.0cm以上
倒木(中央径、長さ)	5.0cm以上	計測しない	



## プロットの形状

プロットの形状には、円形、方形、長方形等がある。長方形の特殊な場合として帯状プロットもある。

## 林縁効果の問題

小さいプロットでは、林縁部分の1本の木が入るか否かが大きな影響を及ぼす（例：0.01haのプロットで $1\text{m}^3$ の立木が入るか否かは1ha当たりでは $100\text{m}^3$ の差となる）。大きなプロットでは、相対的に林縁木の影響は少なくなる。

林縁効果を少なくするためには、

- ・プロットを大きくする
- ・林縁長ができるだけ短くなるようにする

ことが望ましい。すなわち、同じ面積であれば、長方形よりは方形が望ましい。円形のプロットが設定できるのであれば、上記の条件を最も満足する。

## 円形プロット

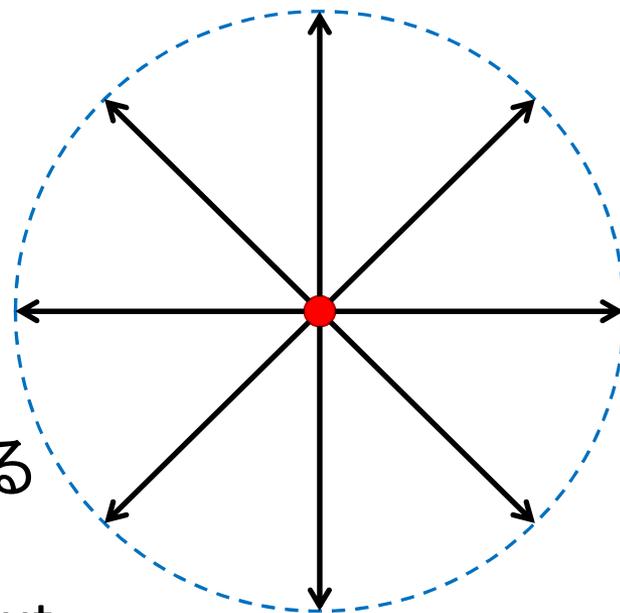
### 長所:

- ・理論上は林縁効果を最も少なくできる。
- ・周囲測量をする必要がない
- ・すなわち、中心位置が定めれば周囲に一定長の竿などを用いてプロット内に入る立木であるか否かを簡単に特定できる。  
(バーテックスを用いれば、効率的にin/outを確認することができる)

- ・傾斜によりプロット半径を変えることにより、水平投影面積を一定の大きさにできる

### 短所:

- ・外周部は曲線(円弧)となるため、上記のように1本ごとにin/outの確認を行わない場合は、林縁木の見落としが生じやすい



:プロット原点



:設定方向

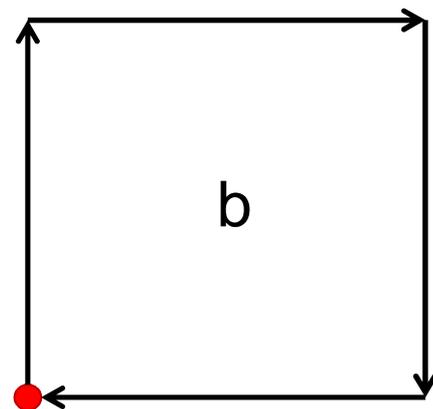
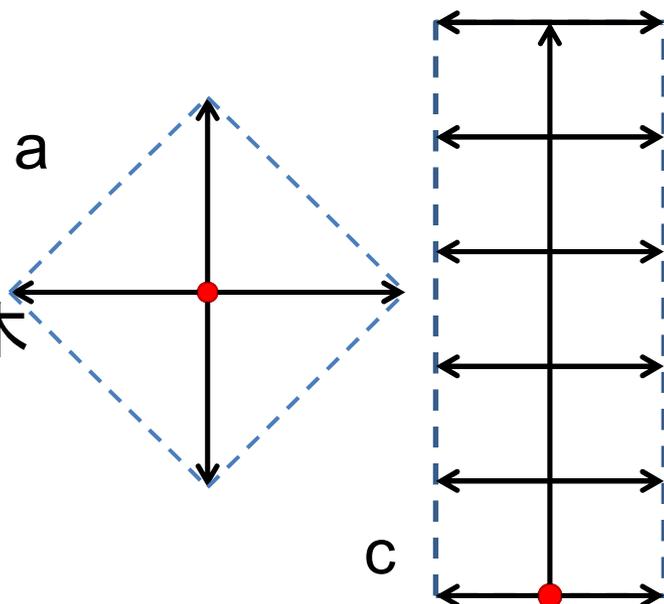
# 方形プロット

## 長所:

- ・外周部は直線となり、目視での林縁木のin/outの判断がしやすい
- ・左図のaタイプについては、プロット設定の効率は円形プロットに勝る(あまり大きなプロットは設定できない)

## 短所:

- ・bタイプのプロットでは、周囲測量をする必要があり、プロット設定の効率は下がる
- ・円形プロットに比べ、理論上は林縁効果大きい



● :プロット原点  
 → :設定方向



# 予備調査の分析

- 調査体制の検討
  - 調査期間、予算規模の概算
  - 調査チームの構成
  - 調査員の役割分担
  - 調査員に必要な能力
  - 必要機材
  - 人材確保に向けた課題
  - 現地立ち入りにおける課題
    - 調査困難が予測される場所への対応方針

# NFIの実施計画

- 基礎情報の準備
  - 地図(GIS)
  - 衛星画像・空中写真等
- スケジュールの作成
  - 調査地点管理表
  - 現地スケジュール
- マニュアル作成
  - 調査漏れの無いように
  - データを効率よく入力するための入力ソフトウェアの準備
- 調査野帳の作成
- 品質管理計画
  - 人材育成
  - 品質管理と精度向上
- データ活用計画・体制



## プロット位置情報の整理

地図上に抽出した格子点の位置と番号を記載し、プロット原図を作成する。

可能であれば、衛星画像や空中写真にプロット位置を記載したものも準備する。

## 調査計画の作成

調査行程(プロットまでの到達時間、プロット設定に掛かる時間、計測に掛かる時間及び必要人員)を検討し、調査計画を立てる。

工程	時間	備考
徒歩移動(駐車場所からプロットまで)	90分	杭の探索時間も見込む
プロット設営	60分	必要に応じ杭の交換
立木調査 立木調査総括表	120分	人工林、調査対象立木本数 120本
下層植生調査 土壌侵食調査	(30分)	立木調査と並行して実施、終了次第、立木調査を実施
伐根調査、倒木調査	30分	調査対象伐根、倒木の有無による
撤収	20分	巻尺、すずらんテープ回収。
プロットから駐車場所まで	50分	必要に応じマーキングしながら
合計	370分	

日本の森林生態系  
多様性基礎調査で  
想定している標準  
的な調査行程



## 調査野帳、調査マニュアルの作成

決定した調査項目に基づいて、調査野帳と調査マニュアルを作成する。適切な野帳とマニュアルの作成は、調査の効率化とともに調査漏れを軽減し、調査精度を高精度かつ一定のレベルに保つことにつながることから、非常に重要である。

## 実行体制の検討、整備

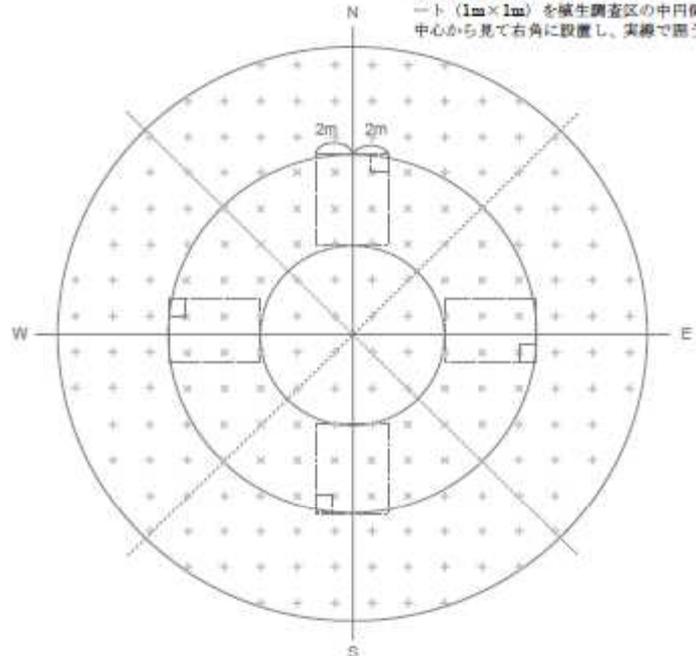
調査精度は、調査員の資質に大きく依存する。調査精度を高いレベルに保つためには、訓練された専従の調査員による調査チームを組織することが望ましい。



様式2-2 調査プロット情報（見取り図）

格子点ID	調査年月日	植生調査区
-------	-------	-------

：対象とした植生調査区を実線で囲う。原則として、対角に位置する2植生調査区（原則N区、S区）を対象。実生調査を実施する場合は、実生コードシート（1m×1m）を植生調査区の中円側、中心から見て右側に設置し、実線で囲う。



立木調査により立木番号を付した立木（胸高直径18.0cm以上、樹高を測定した標準木）の立木位置を記入する。林分分割の必要があれば、林分位置を記入する。

有無	分割の基準
分割あり	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 樹種構成が大きく異なる</li> <li>・ 林齢が大きく異なる（およそ10年以上）</li> </ul>
非森林区域	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調査プロット内に森林以外の土地が含まれる場合は、区分する</li> <li>・ 作業道、法面、畑、建物敷など</li> </ul>
分割なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 林相が異なっているも、変化の幅があり、その幅が概ね10m以上ある</li> <li>・ プロット内に上層木の消失により生じたギャップが含まれている場合（自然要因か人為的要因かは問わない、列状間伐、風倒木など）、分ける必要はない</li> <li>・ 作業道（非森林に区分）などによって分割されているが、分割ありの条件に該当しない場合</li> <li>・ 複数の小區をまたぐが、分割ありの条件に該当しない場合</li> </ul>

点格子：小円（+）20点、中円ドーナツ（×）60点、大円ドーナツ（+）120点分布、1点はプロット全体の0.5%

様式3-1 立木調査表

格子点ID	林分番号	調査年月日	担当者	調査区画
				小中大

調査対象立木の胸高直径 小円部：1.0cm以上 中円部：5.0cm以上 大円部：18.0cm以上  
小径木が密生している場合、小円1/4内を通常通り調査し、5cm未満30本以上あれば残りの3/4内5cm未満立木は省略可能。ただし、小円内5cm以上の立木は省略してはならない。

1/4調査	実施	□ ( )	原則N-E	ナンバーステープ色等		樹種	胸高直径 cm	樹高 m	地上20cm直径 cm	結果	空目	幹折れ	キノコ	黄色葉	腐葉層	調査区	調査日	調査者	備考	
				小	中															
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				



森林生態系多様性基礎調査 現地調査早見表 平成 22年 9月 (社) 日本森林技術協会

様式 3-1 調査プロット到達経路情報

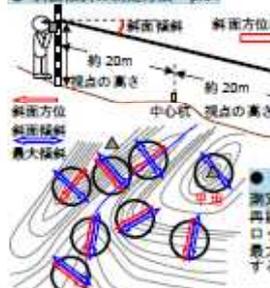
● 現地調査対象となるプロット p.37



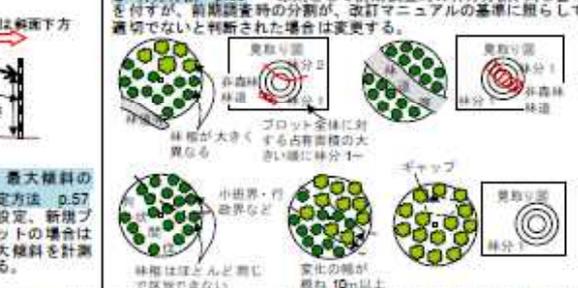
状況	対応
到達不可能である	到達不可能な状況の写真を撮影。
伐採されている。植栽後である	土地利用が森林であるかぎり、立木調査の対象木がなくとも、伐根調査、倒木調査、下層植生調査を実施。
自然環境保全法、種の保存法の「立入制限地区」	立入制限の対象とならない。調査を実施。
土地利用が変更されている(農地化など)	調査対象ではない。変更された状況の写真を撮影。

様式 3-1 調査プロット到達経路情報

● 斜面傾斜の測定方法 p.54



● 林分分割 p.59



● 最大傾斜の測定方法 p.57



● 写真撮影 p.60



様式 3-1 立木調査表

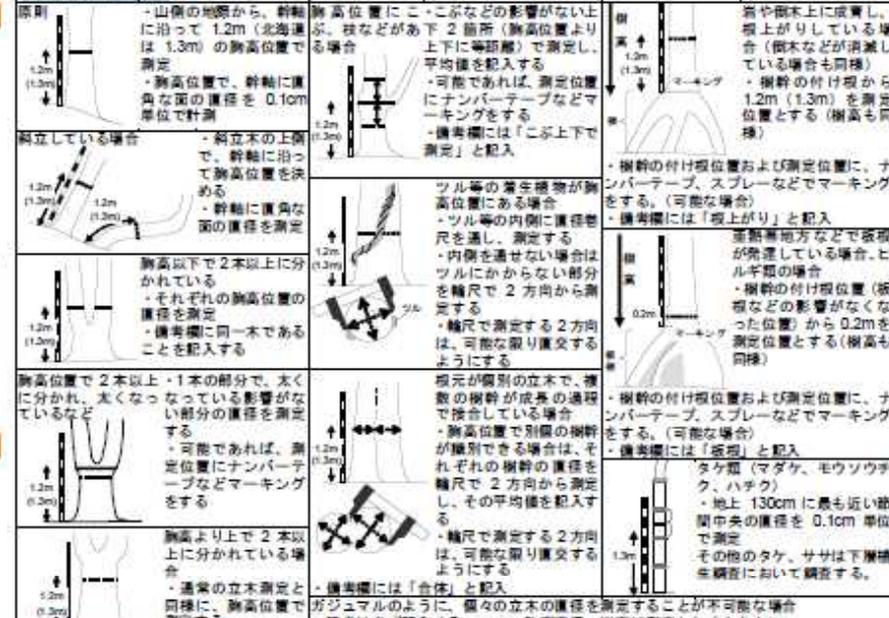
● 測定対象・立木番号 p.62

● 測定対象・立木番号 p.62  
 ● 小円部: 胸高直径 1.0cm 以上毎木、中円部: 胸高直径 5.0cm 以上毎木、大円部: 胸高直径 18.0cm 以上毎木  
 ● 結核木についても測定する。  
 ● 林室植株、有用植株でなくても、測定対象とする。  
 ● マダケ、モウソウチク、ハチクは測定する。その他のササ、タケ類は胸高直径が測定対象に達する場合でも立木調査の対象とはせず、下層植生調査で記載する。  
 ● 外周上の立木は、パーテックスを用いて樹木ごとに中心杭からの距離を測定し、プロット内に含まれるか否かを判定する。  
 ● 胸高直径 18cm 以上の立木、樹高を測定した標準木にはナンバーテープ等で番号を付す。  
 ● 旧番号と新番号が混在する場合、円ごとにナンバーテープの色を変える場合など、プロット内の異なる立木に同じ番号が重複することの無いよう注意する。(アルファベット等ではなく、数字のみで識別できることが必要)

● 1/4 調査 p.64

● 1/4 調査 p.64 ソゴゴ、ギンネムなど、小径木が調査プロット全体に均等に密生している場合は、一部の胸高直径の測定を省略(1/4 調査という)してもよい。  
 ① 小円の 1/4 内(原則 N-E)のみを通常通り測定する。  
 ② 小円部 胸高直径 条件  
 小 1cm 未満 1/4 内(下図)に 30 本以上 5cm 未満 あるいは、残り 3/4 は調査省略可能  
 5cm 以上 省略不可 小円全体で調査  
 中・大 省略不可 通常通りの調査を実施する  
 小径木 密生 小円を 1/4 調査可能 1/4 調査不可  
 ③ 様式 3-1「1/4 調査」欄に実施チェックを入れ、調査した 1/4 区画を記入する。  
 ④ 様式 2-2 見取り図にも調査した区画を記入する。

● 胸高直径 p.65



● 樹高 p.68

● 樹高 p.68  
 ● 前期調査で測定した立木を選ぶ(立木番号を照合)  
 ● 大小様々な直径樹から最低 20 本を選ぶ(林分を分割した場合は、林分ごとに 20 本)。直径が最大の立木は必ず対象とする。  
 ● 樹種は混在していてもよいが、それぞれの直径階ごとに平均的な樹高となっている立木を選ぶ  
 ● 個体識別のため、ナンバーテープ等をつけ、調査表の立木番号欄に番号(数字のみ)を記入しておく  
 ● 直径成長により小径木を代表する標準木が少なくなった場合には、必要に応じて標準木を入れ替える  
 ● 前期調査で測定した立木が、番号が照合できないなどで 20 本に満たない場合は、原則に基づいて新たな立木を選定する。  
 ● 斜立木、発新生立木は調査のだけ選ばない。健全木が 20 本に満たない場合は、斜立、発新れも対象とする。  
 ● 斜立木、根曲がりの樹高計測  
 ● なるべく標準木には選ばない  
 ● 原則として、山側地帯から橋までの樹幹長(幹の曲がりに沿った長さ)を測定する。  
 ● 樹幹長が測定できない場合は、樹長(山側地帯と橋を結んだ直線の長さ)を測定する。  
 ● 山側地帯

● 立木ごとの確認項目 p.74

結核	立木が結核している場合に○、「立木の損傷・異常」で該当するものがあれば両方に○。
損傷	生立木で、該当する損傷・異常が認められるものに○
異常	洞 動物の巣穴、その他空洞ができていない (凍害、落雪など)
ヤニ樹液	樹液が流出している
葉先折れ	樹冠内折れ(葉先折れの 1/3 以上欠損)
幹折れ	幹折れ、樹冠部より下で折れている
色	鮮明でないにもかかわらず、葉が 1/2 以上色している
葉	落葉期でないにもかかわらず、葉が 1/2 以上落ちている。脱落葉等に食害されている
獣害	動物が原因と見られる樹皮の剥皮(掻き、爪で)、根腐り、根室等に食害がある場合に○を付す
	シカ→丸、カモシカ→丸、クマ→丸、ノズメ→丸

様式 4 伐根調査表 p.86 (全てのプロットで実施)

● 調査漏れの無いように注意する。人為的に伐採された伐根を調査対象とする。  
 ● 特定調査プロット (IDS の倍數) では古い伐根も調査する。  
 ● 様式 5 倒木調査表 p.87 (特定調査プロット (IDS の倍數) で実施)  
 ● 項目別調査 1~3 にも特定調査プロット (IDS の倍數) ルールは適用する。  
 ● 項目別調査 4 (伐採跡地、自然災害) では全てのプロットを特定調査プロット扱いとし、古い伐根、倒木調査を実施する。







## 調査資器材の準備

調査目的に応じ、必要な資器材を準備する  
資材の例:

- ・地図、空中写真
- ・野帳(耐水紙が望ましい)
- ・GPS
- ・杭(中心杭の他、必要に応じ準備)
- ・ポケットコンパス
- ・斜距離換算表
- ・巻尺
- ・輪尺もしくは直径巻尺
- ・測高器(ブルーメライス、バーテックス)
- ・チョーク
- ・ナンバーテープ
- ・測量用ポール
- ・安全用具(ヘルメット等)





# NFIの実行・管理段階



# 調査の実行

- 基本方針
  - 確実かつ安全に実行することが重要
- 望ましい調査体制
  - 現地調査を実行する調査チームと全体総括（進行管理、後方支援）とで役割分担
  - 調査チーム
    - 実際に現地調査を実施
    - 現場における安全管理
    - 調査データの入力
    - 全体総括への定期的な報告
  - 全体総括
    - スケジュールに基づき進行状況を管理
    - 調査チーム間の情報共有
    - 後方支援：調査員の調整、機器等の調達、その他業務の調整

## 現地到達情報(プロットへの到達経路図)

- 次回調査のためにもっとも重要な情報
- 計画上の位置と実際の位置(GPS情報。事情により計画位置に設定できない場合がある)
- ルート上のGPS情報(車を降りた位置からプロットまで)
- ルート上の写真
- ルート上の情報(歩道の有無、路面の情報、目印となる地物、分岐点)
- スケッチの方がわかりやすい場合もある
- もし調査チームが前回の調査地を発見できなかつたら、元の計画上の位置にプロットを再設定する

# 優れた到達経路図の例

- 詳細図



- 駐車位置からの経路で既存の図面にはない情報(微地形・歩道・池・小屋等)を手書きで分かりやすく追記している。
- 地図だけではなく、状況説明を記入している。
- 重要な部分は写真が撮られており、写真番号を記入している。

# 優れた到達経路図の例

## 概略図



- 一般道の分岐から、駐車位置まで経路が描かれている。
- 途中の路面の状況等が詳細に記入されている。
- 分かりにくいと思われる分岐で写真が撮られ、写真番号が記入されている。

# 優れた到達経路図の例

- 到達経路写真

- 進行方向を手やポールで指し示している。
- 写真番号が、概略図、詳細図と対応している。



## プロットの設定

- 効率的な設定方法を工夫する必要
- 円形プロットの場合は、傾斜により半径の補正を行うので、正確な傾斜測定を行う必要がある(バーテックスを使用すれば、効率的に設定可能、TruPulseであれば傾斜補正必要なし)
- 方形のプロットの場合はコンパス等により測量して設定する(林縁木のin/outは、測量時に決定できる)
- 帯状プロットの場合は、中心線を測量
- 通常は中心杭を設置(固定調査地とする場合は、次回調査までの耐久性を考慮)、必要に応じ周辺杭、調査の効率性を確保するための暫定杭を設置

# 立木調査

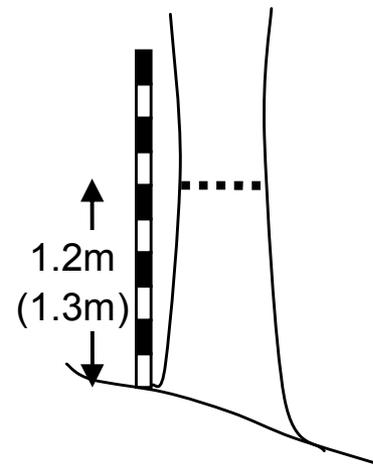
## • 胸高直径

- 必ず赤白ポール等で毎木胸高位置を確認すること

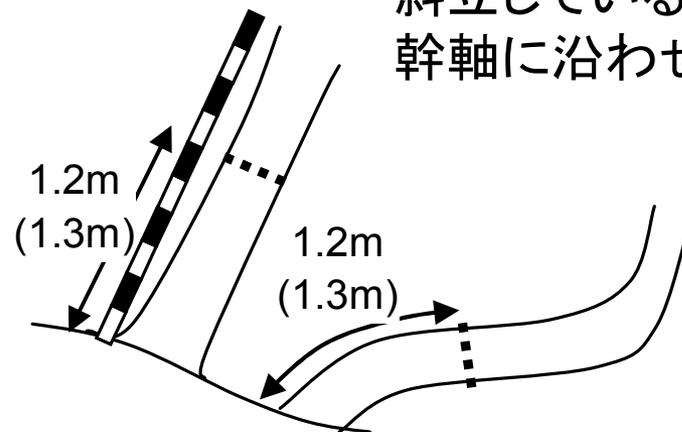


-平坦地では、例えば中心杭に向かった方向に立って測るというように、ルールを決めておく

-基本は直径巻尺で測定



基本は山側地際から、  
1.3m

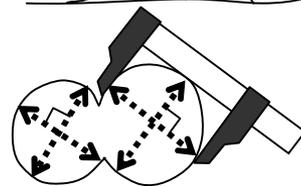
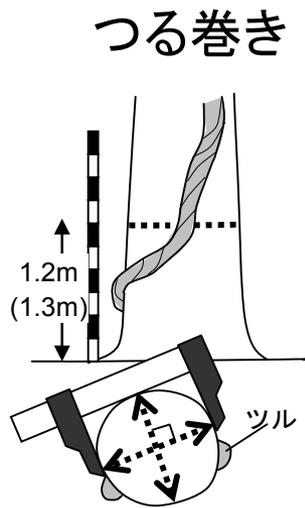
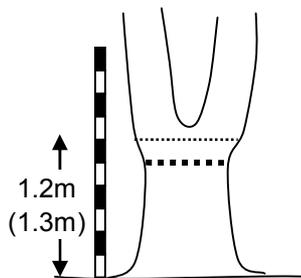
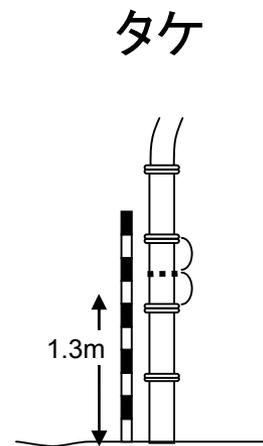
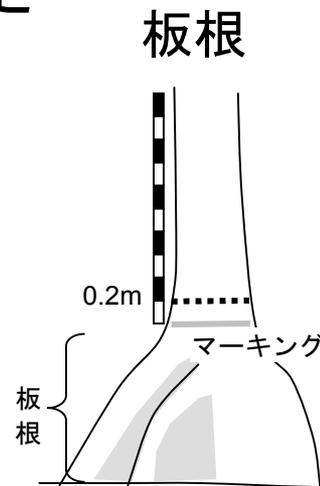
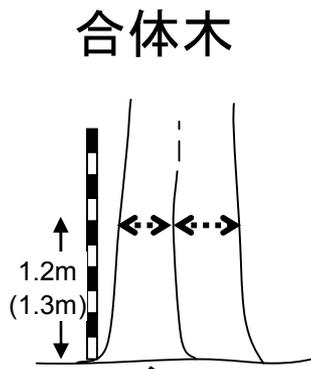
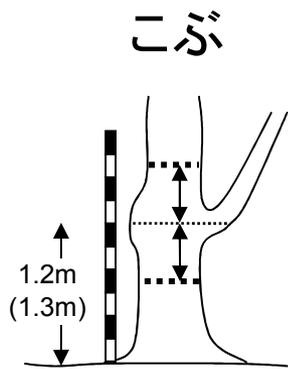
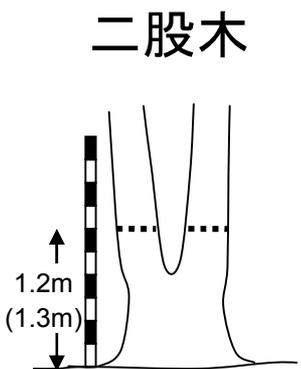


斜立している場合は、  
幹軸に沿わせる

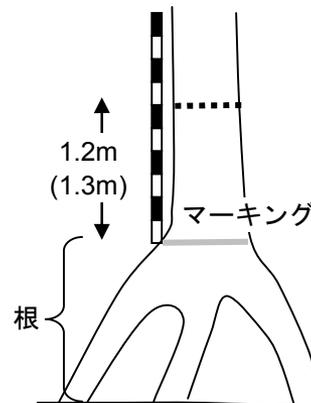


# 立木調査

## 様々なケースでの胸高直径の測定



### 根上がり



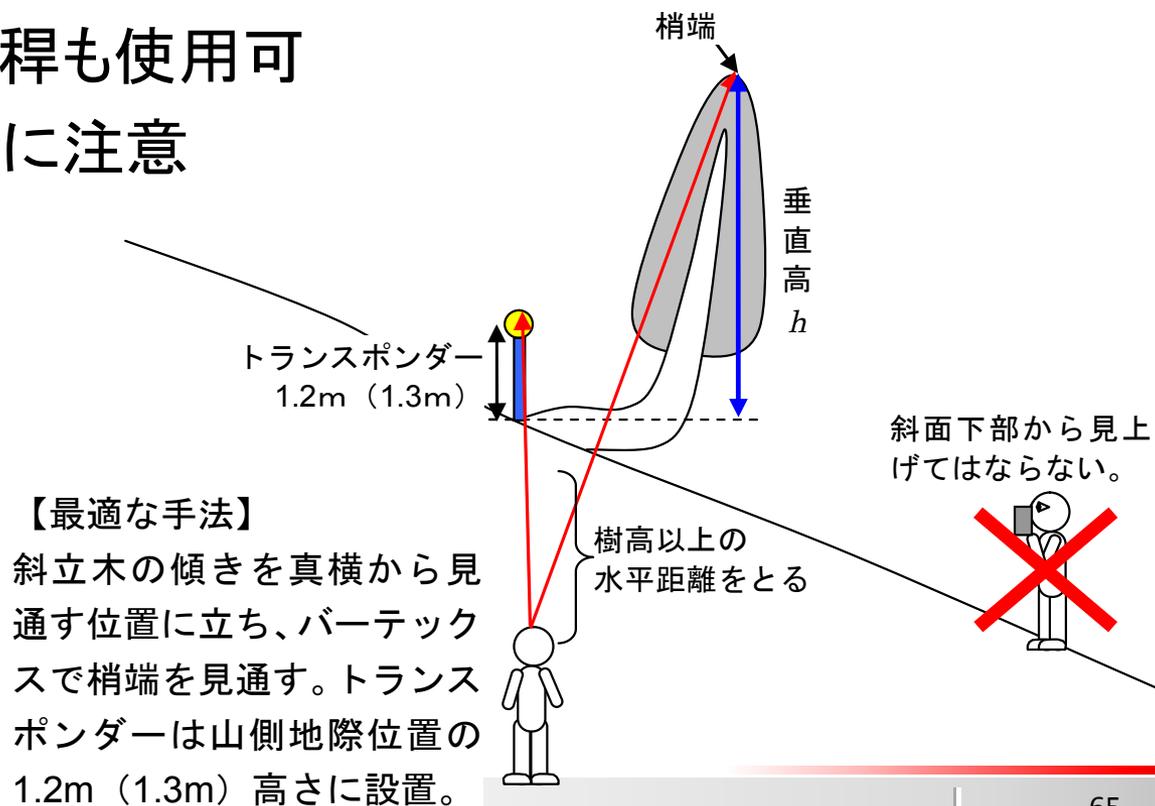
個々の樹幹の測定困難な場合(ガジュマルなど)は、樹種の記録のみで計測の必要なし



# 立木調査

## 樹高

- 毎木もしくは標準木を何本か選択して実測（樹高未測定木は測定木の値より回帰推定）
- 樹幹長を計測（垂直高ではないことに留意）
- 測定機器：バーテックス、ブルームライスを使用
- 低い樹木は測程も使用可
- 機器の誤使用に注意







# 林分情報の記載 必要に応じて作成

## 立木位置図

## 林相写真

- 中心杭からの方位別
- 天空写真

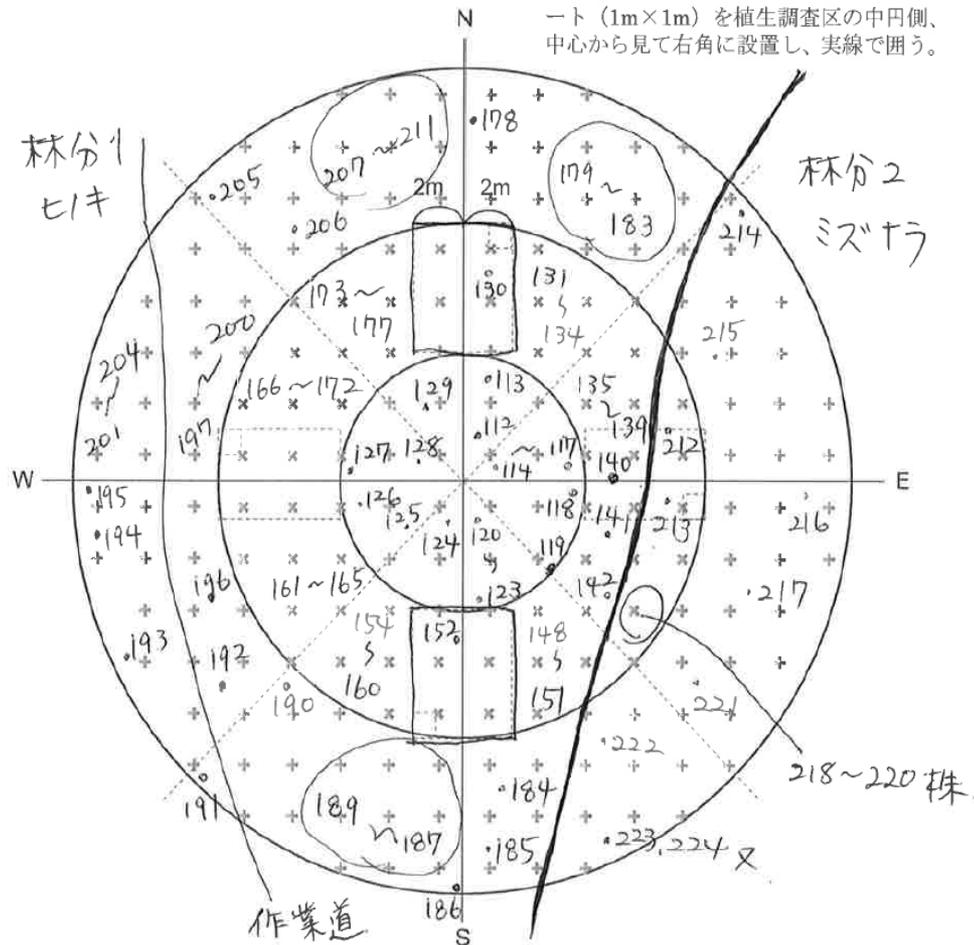
## 地況・林分構造等

- 斜面傾斜
- 局所地形
- 林分構造
- 優占樹種(相観)
- 人為の影響程度
- 病虫害等の有無
- 災害の歴史

様式2-2 調査プロット情報 (見取り図)

格子点ID	調査年月日
123450	20XX/7/22

植生調査区 : 対象とした植生調査区を実線で囲う。原則として、対角に位置する2植生調査区(原則N区、S区)を対象。実生調査を実施する場合は、実生コードラート(1m×1m)を植生調査区の中円側、中心から見て右角に設置し、実線で囲う。



167

E526

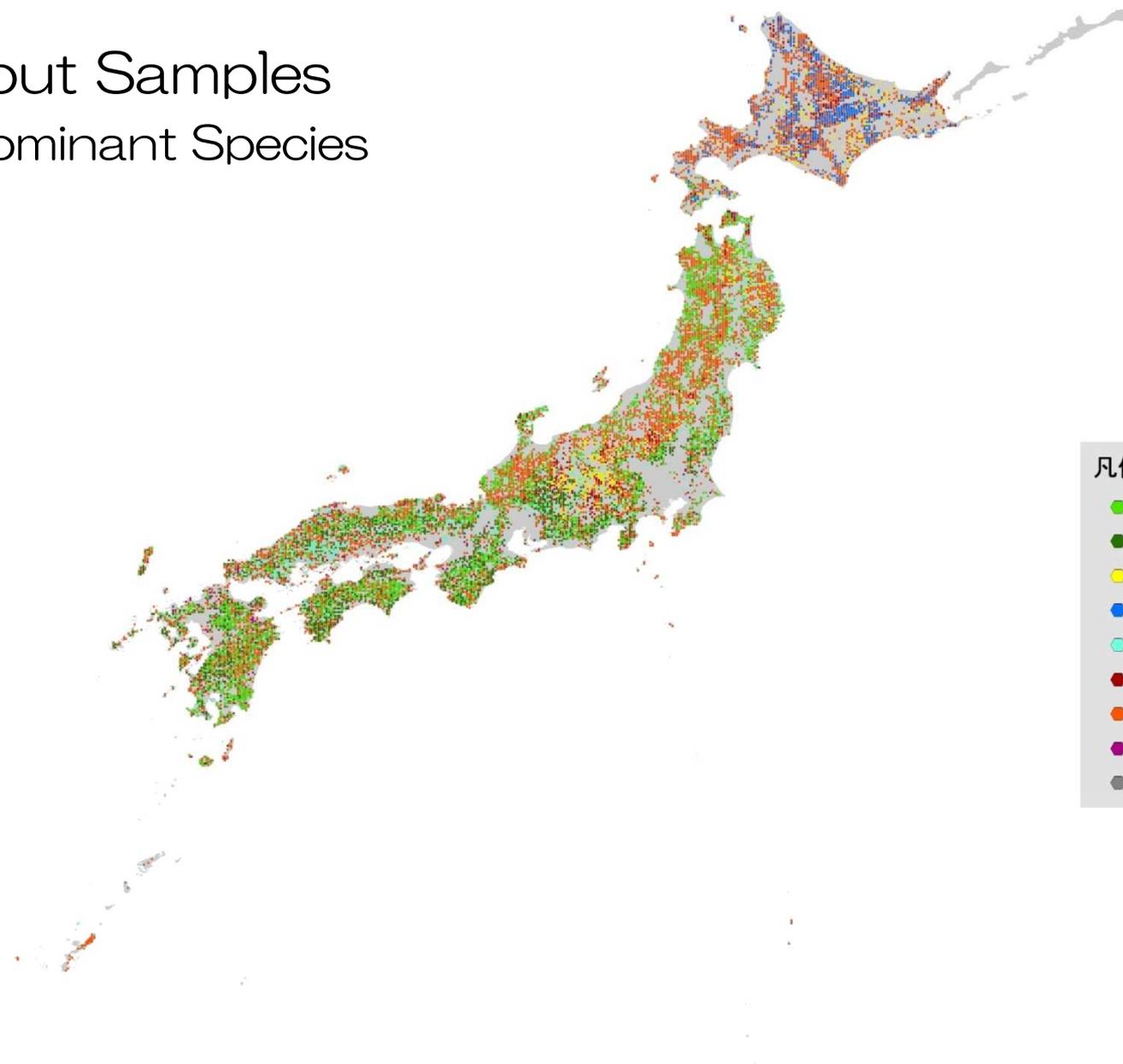
# データの活用

- 調査データの入力
  - 専用のソフトウェアで入力
  - 入力ミス、漏れが生じないような工夫が必要
    - 異常な入力値に対して警告を表示する
    - 必要な入力項目は入力をスキップできないように制御
- データの活用
  - 基礎的な集計：森林面積、森林蓄積、優占樹種別、管理形態別等
  - マップの作成
  - 成果の公表：出版物、Webページ等



# Output Samples

## » Dominant Species



### 凡例

- Sugi
- Hinoki
- Larix spp.
- Todomatsu
- Pine spp
- Other conifer
- Broad leaf
- Banboo
- Others

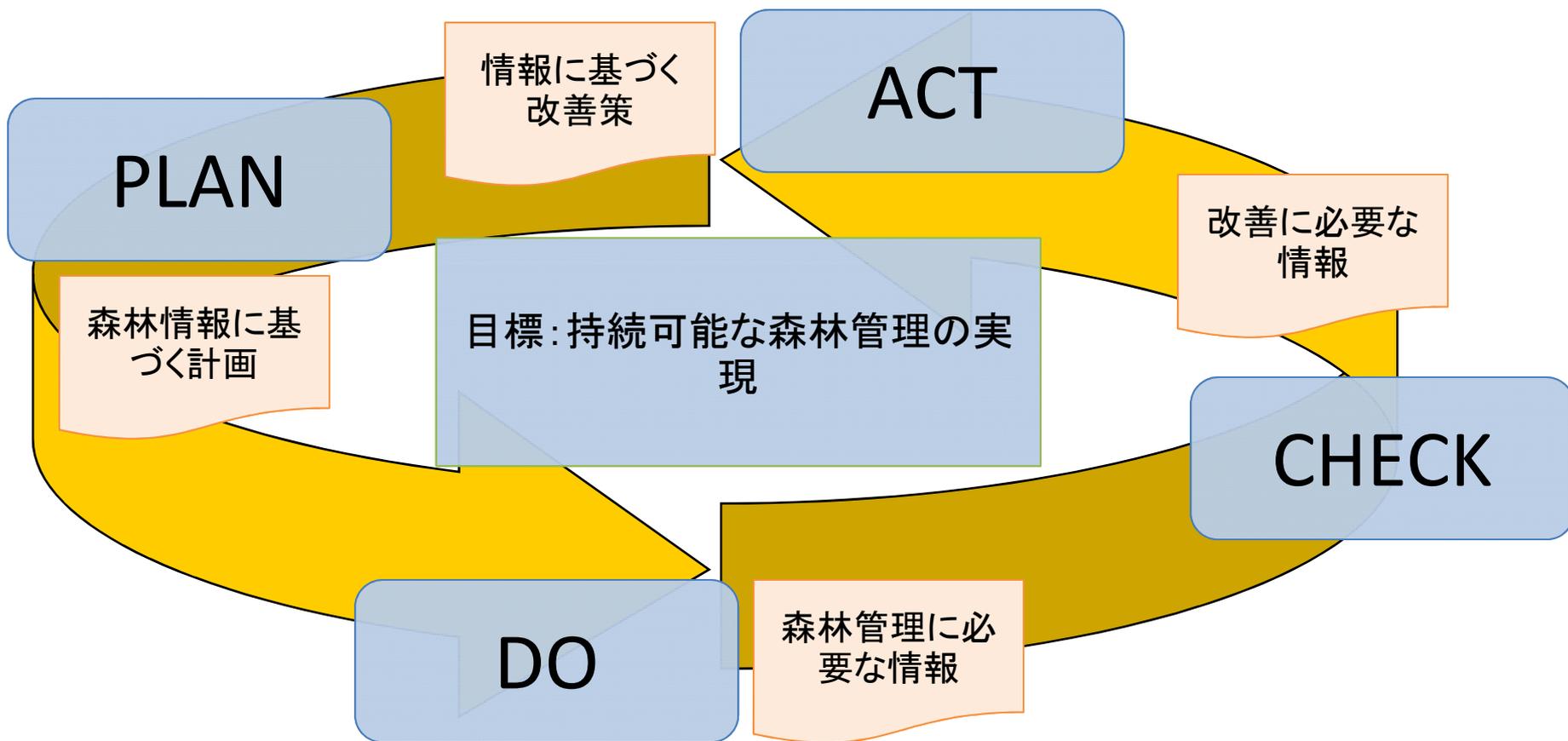
# 品質管理

- 品質管理の目的
  - 調査データについて客観的な検証を行い、NFIの調査データの品質を継続的に維持・向上させる（PDCAの考え方）
- 品質管理
  - 人材育成
    - 調査員に対する研修
  - 精度管理
    - 独立した調査チームによる再計測
    - 目標精度との比較
  - データ管理
    - 統合データベースの作成
    - 全体的なエラーチェック
  - 品質向上
    - 誤差発生要因の分析
    - マニュアルの修正
    - コスト評価



# 品質管理を考慮に入れたインベントリー調査の設計

## PDCAサイクルの中で品質管理を考える





# 森林生態系多様性基礎調査における精度管理

## 目的

PDCAサイクルによる精度の向上 (QA/QC)

計測誤差や傾向を確認する

客観的にデータの精度を確認する

データの透明性、信頼性の確保

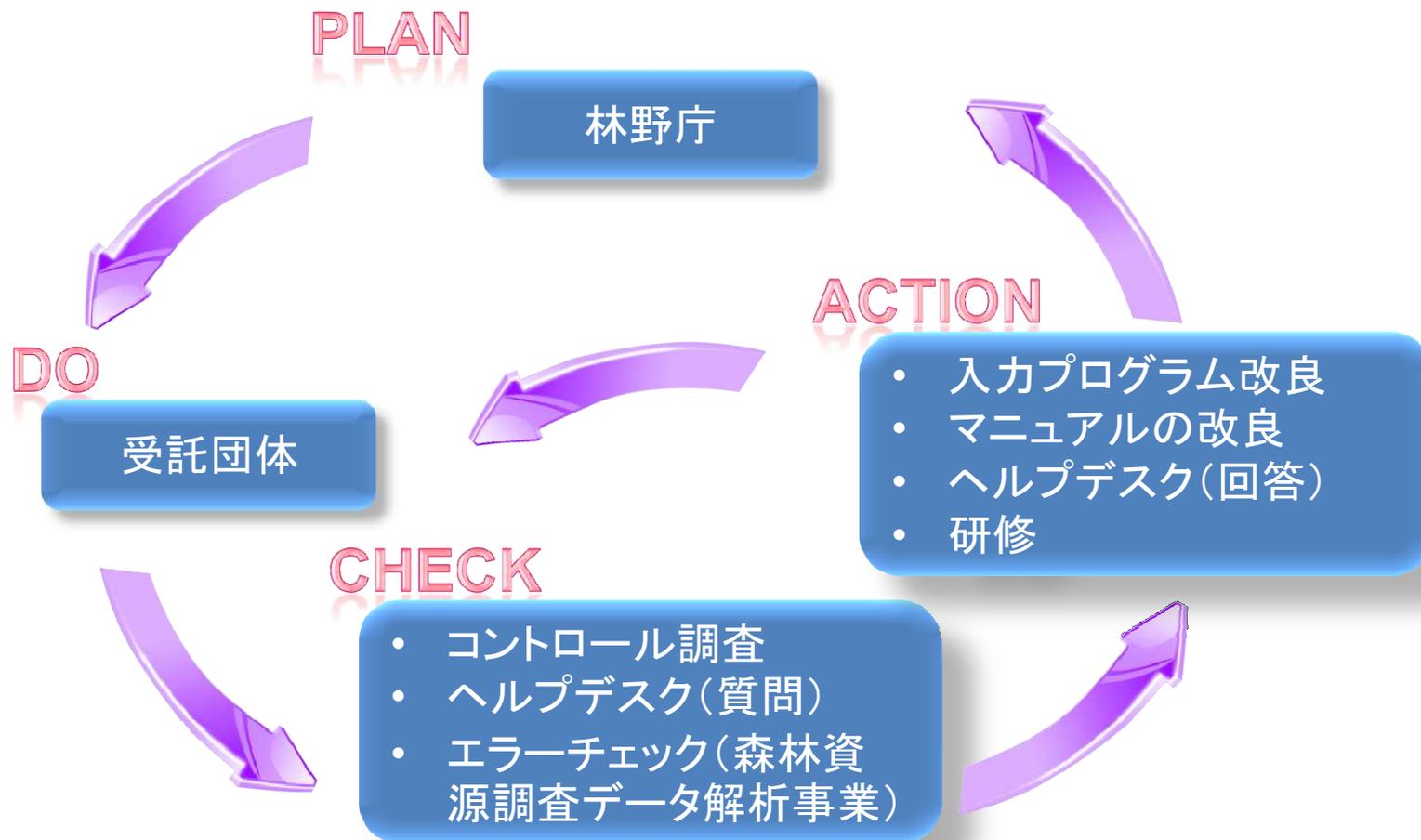
## 設計

再測定：3%の点を抽出(110点/年)。本体調査チームが調査終了後速やかに(1月以内)コントロールチームが同一プロットを再測定。エラーの修正は行わない。

立会：本体調査チームとコントロールチームがともに同じ調査プロットに行き、コントロール調査チームは、本体調査チームの実施状況を確認する(正しい機器の使い方等)。問題があれば、その場で指摘、エラーの修正も行う。→研修的意味合い

# コントロール調査の目的

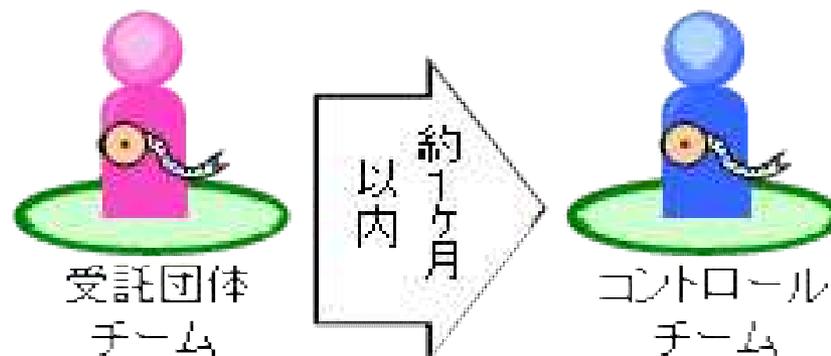
- 計測誤差の有無や傾向の把握
- 調査データの客観的な精度の保証
- 今後のさらなる精度向上に向けた対策の検討



# コントロール調査内容

## 再測

- 受託団体チームによる現地調査実施後にコントロールチームが再計測し、調査結果を比較する。
- 調査間隔は数日後～1ヶ月以内を目安とする。



## 立会

- 受託団体チームの調査にコントロールチームが同行し、調査をしながら計測方法の確認、助言を行う。



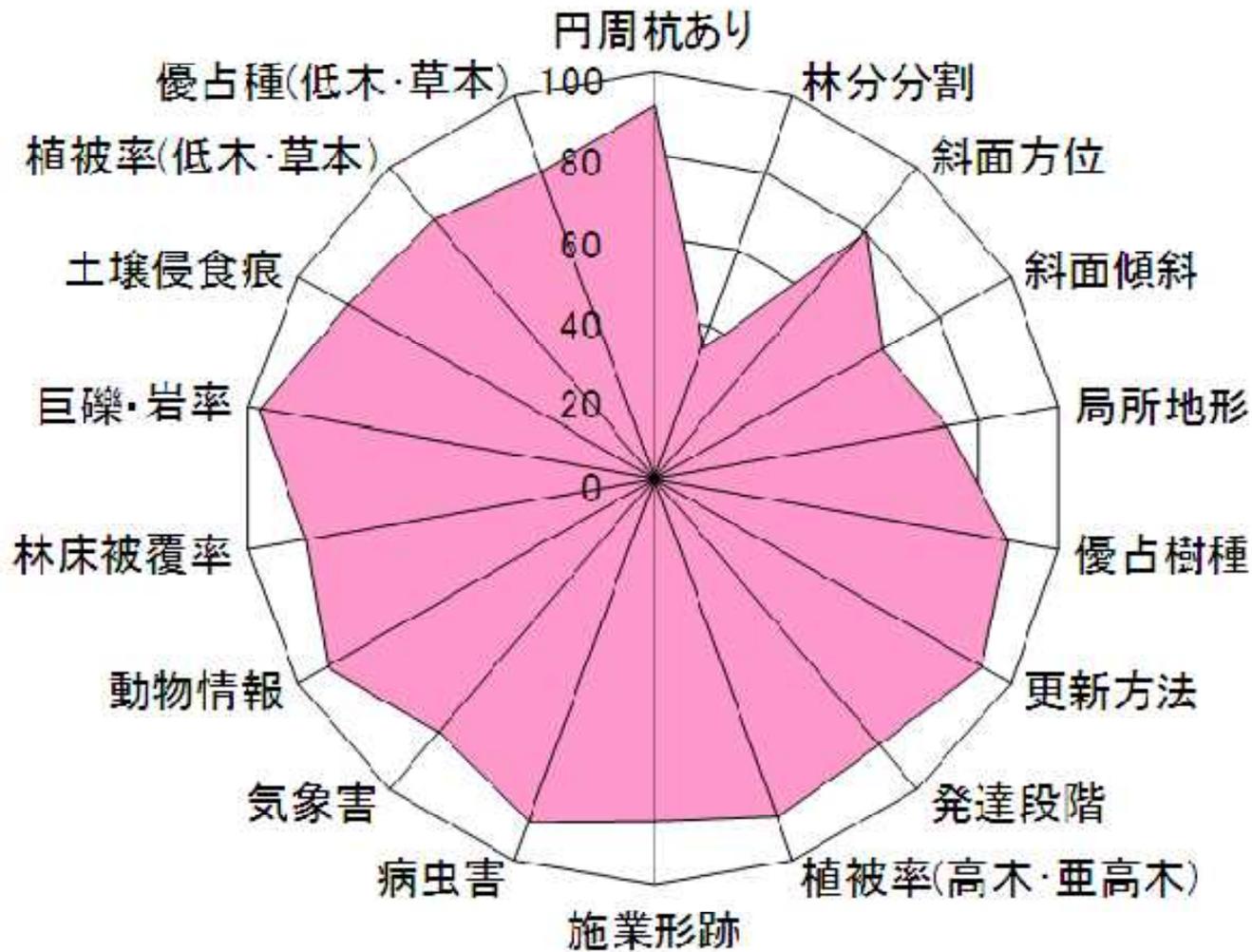


# 再測項目

野帳様式	項目	確認内容	再測(全)	再測(必須)
1-2	詳細図・概略図	・到達経路の記載が正しいか(前回調査時の到達経路図)	○	○
1-1	中心杭位置	・中心杭があるか、指定の杭を使っているか ・中心杭位置座標が正しいか、測地系に間違いはないか	○	○
2-1	斜面方位・斜面傾斜	・斜面方位、斜面傾斜が正しく計測されているか	○	○
2-1	局所地形	・局所地形が正しく把握されているか	○	○
2-1	最大傾斜	(最大傾斜が誤りでもプロットは再設定しないため、再測は行わない)	—	—
—	円周杭位置	・東西南北4方向は赤、他は青のL字杭が使われているか ・中心杭から8方位の円周杭までの斜距離、水平距離、角度計測 →水平投影面積が0.1haになっているか	○	○
2-1	林分占有率	・林分占有率(林分分割)の分割基準及び分割の線形が現地林相と合っているか	○	○
3-1	1/4調査	・1/4調査の実施内容を満たしているか	○	○
3-1	ナンバーテープ	・ナンバーテープが標準木、胸高直径18cm以上の立木に付けられているか ・ナンバーテープが更新されているか	○	○
3-1	樹種	・計測した立木の樹種があっているか	○	標準木
3-1	胸高直径	・正しく計測されているか	○	標準木
3-1	大円外周部見落とし	・大円外周部における計測漏れはないか	○	○
3-1	樹高	・前期調査木を正しく選択しているか ・樹高が正しく計測されているか	○	標準木
3-1	地上20cm直径	・標準木から5本計測されているか ・正しく計測されているか	○	実施有無
3-1	枯損木等	・枯損木、異常、獣害等が正しくチェックされているか	○	標準木
3-2	優占樹種	・優占樹種が材積割合を基準に正しく選択されているか	○	○
3-2	林分の発達段階	・林分発達段階の考え方を理解し、正しく選択されているか	○	○
3-2	植被率	・当該プロットの高木層、亜高木層を適切に把握し、それぞれの植被率を算定しているか	○	○
3-2	施業形跡	・5年以内の施業形跡が把握できているか	○	○
3-2	被害情報	・病虫害、気象害等の被害が把握できているか ・毎木調査の損傷・異常、獣害のチェックと齟齬がないか	○	○
3-2	動物情報	・動物情報が現地で把握できているか ・毎木調査の損傷・異常、獣害のチェックと齟齬がないか	○	○
4	伐根(小中円)	・古い伐根と新しい伐根の違いを把握し、それぞれを正しく計測(5cm以上)しているか ・新しい伐根にペイントによるマーキングをしているか	○	実施有無



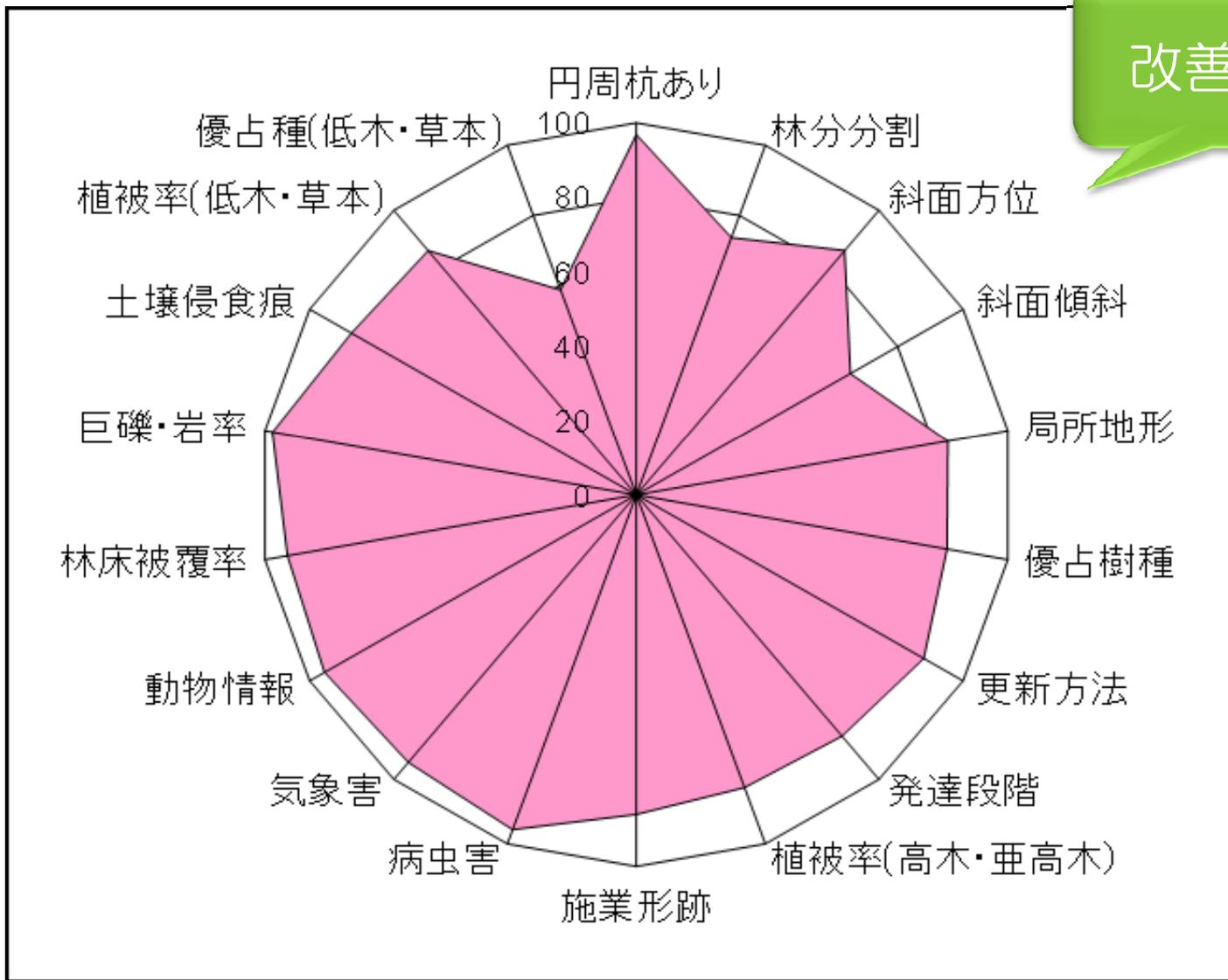
# 平成22年度コントロール調査結果





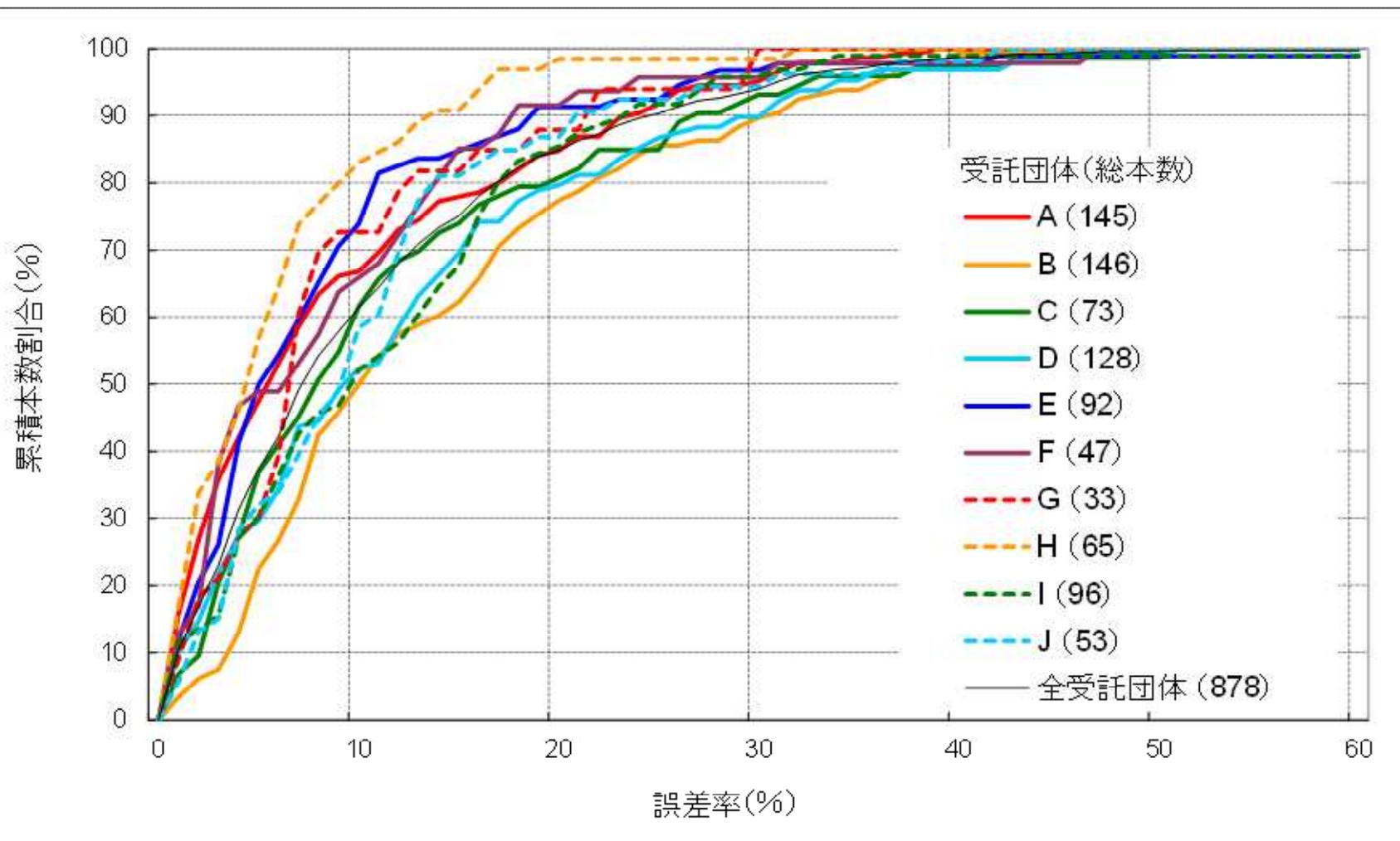
# 平成23年度コントロール調査結果

改善傾向





# 平成23年度コントロール調査結果





# 調査員の育成・研修

## 目的

- 調査精度(データの信頼性)の向上
- チーム間の情報交換
- 調査チームの技術レベルを平準化

## 設計

- 講義：調査の目的を理解させ、データ分析結果を説明することにより、調査員のモチベーションを維持、各調査項目の意味と重要性の説明(測定値の少しの誤差が全体に大きく影響する場合等)、マニュアルの理解、野帳の正しい使い方等
- 現地研修：調査道具の適切な使い方、プロット設定等効率的な実施方法のノウハウ

精度確保の面では、できるだけ少ない数の専門技術者が継続的に計測する体制が構築されることが望ましい