REDD+
Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation-plus

平成２５年度 基礎講習

第８章（2）

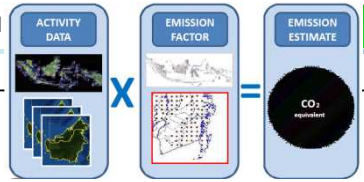
地上炭素モニタリングの基礎

地上プロット調査と解析

一般社団法人日本森林技術協会
金森　匡彦

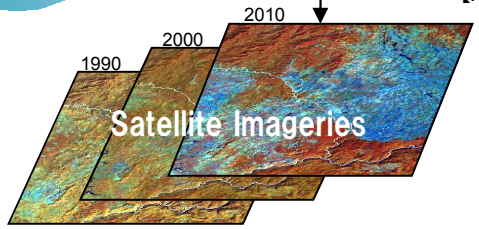
REDD+における地上調査の目的

- 森林における炭素量の計算
  - 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を推計するためには
  - 森林タイプ（地域・樹種）や生育段階等をできるだけ細かく区分し、
  - それぞれの推計に必要なパラメータのため、地上計測値をできるだけ多く集める必要
  - 継続的なモニタリングも必要

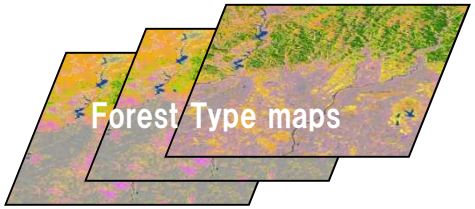


【Activity data】

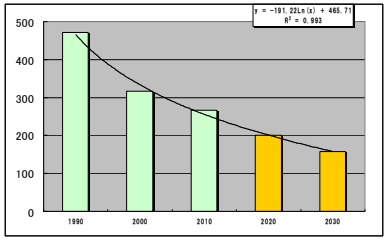
【Emission factor】



Classification



Forest Area Change Detection



【Activity data】

Forest types change in the past

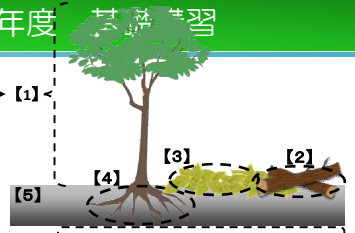
×

【Emission factor】

1. Above Ground Biomass
4. Below Ground Biomass

2. Dead Wood
3. Litter

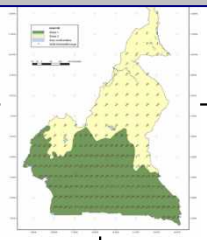
5. Soil Organic Carbon



1. Above ground biomass(AGB)
2. Dead wood
3. Litter
4. Belowground biomass

5. Soil Organic Carbon

Developing National forest Inventory System



Sampling

Partitioned for branch, leaf, steam individually

Digs up root using shovel car

Measurement of weight

Measurement of weight

Laboratory experiment

Development of Biomass conversion and expansion parameter(BCEF)

(AGB=Merchantable volume × BCEF)

Sampling

Measurement of dead woods

Measurement of tree high and DBH

Measurement of litter

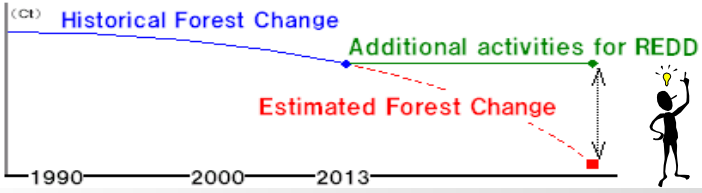
Taking samples of Soil and Organic matter

• Merchantable Volume by forest types

• Average stock by each forest types

Laboratory experiment

Laboratory experiment



森林計測の本質的な困難さ

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
　→計測方法の工夫
　→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（サンプリング調査）

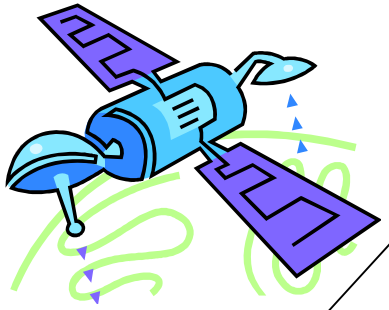
③山に生えており動かすことができない
　→測定に労力が必要（コストが掛かる）

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約

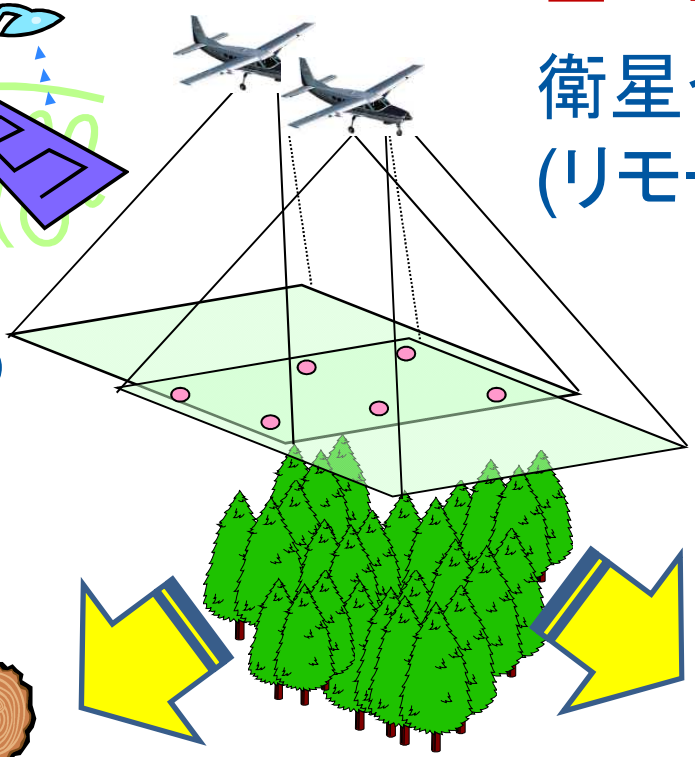
森林計測のアプローチ

森林を計測する様々な方法

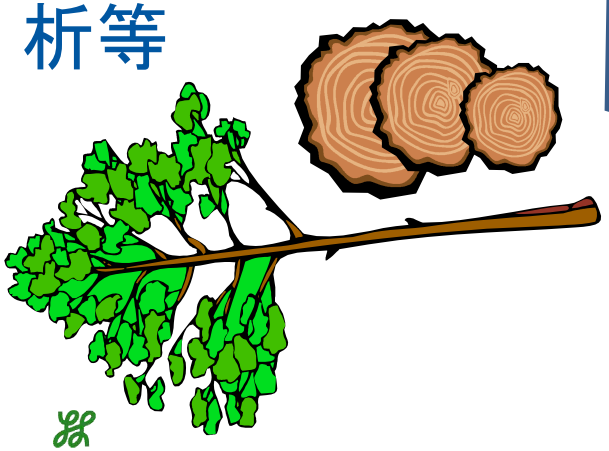


上空からの間接的な計測

衛星や空中写真
(リモートセンシング)



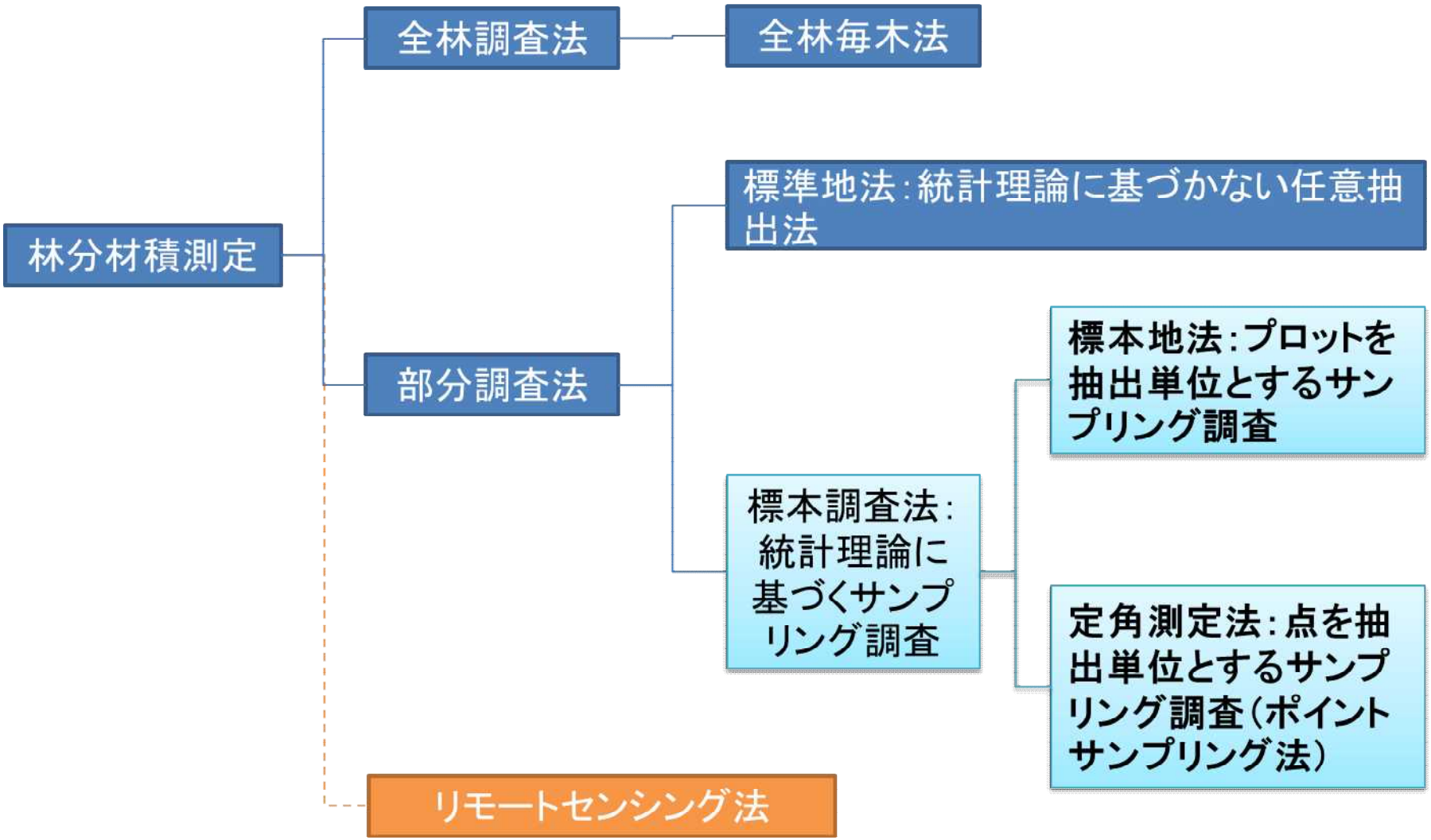
破壊調査(1本の木を正確に計測する)→樹幹解析等



地上における直接計測 (樹木やその他生物)

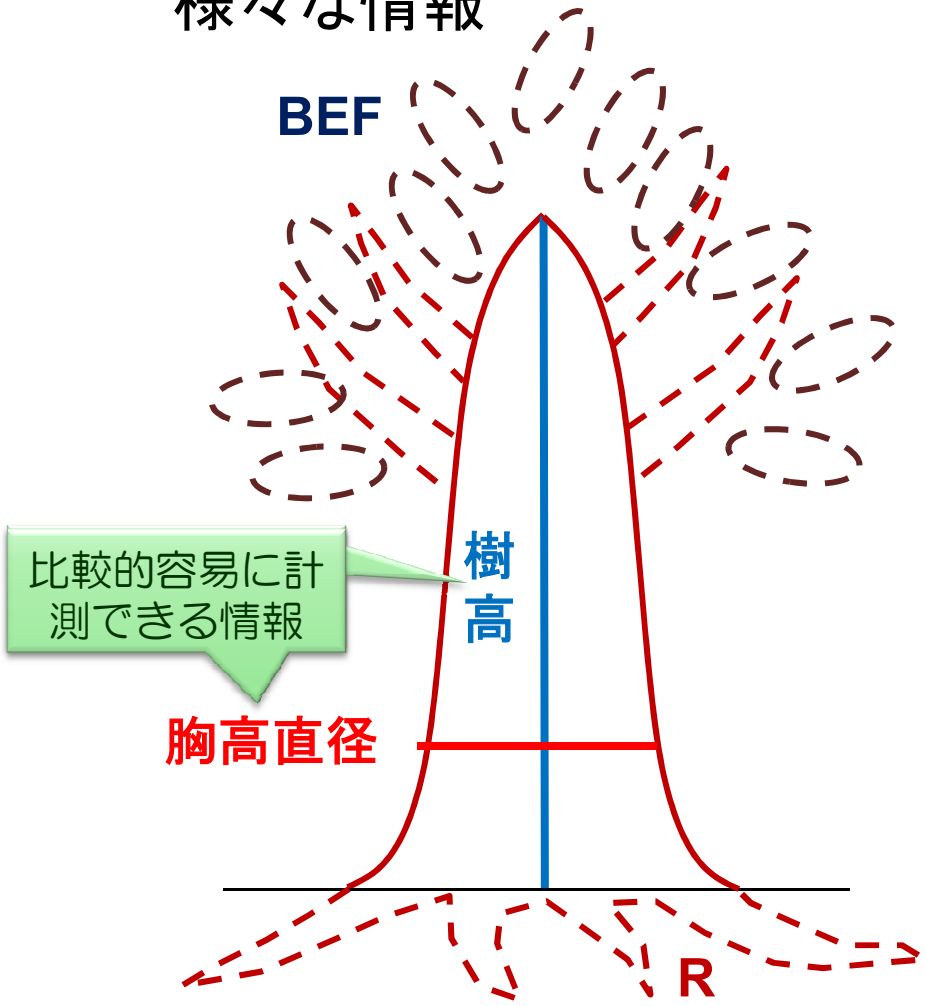
地上調査 (プロット調査等)

林分材積測定法の分類


林分材積測定
全林調査法
全林毎木法
部分調査法
標準地法：統計理論に基づかない任意抽出法
標本調査法：統計理論に基づくサンプリング調査
標本地法：プロットを抽出単位とするサンプリング調査
定角測定法：点を抽出単位とするサンプリング調査（ポイントサンプリング法）
リモートセンシング法

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



＜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）

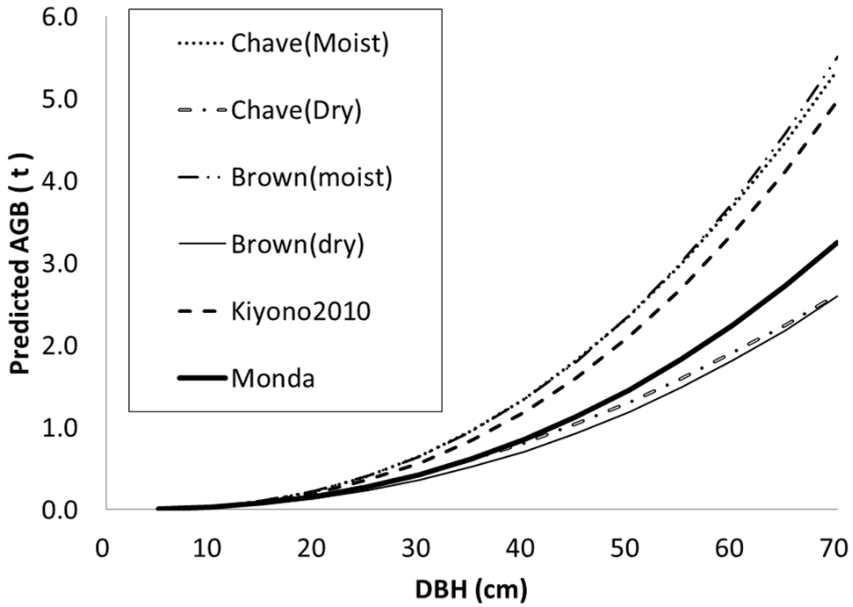
胸高直径等から直接バイオマス量や炭素量に変換する

調査結果のバイオマス・炭素量への変換１

- 幹材積から変換するアプローチ
  - –直径や樹高から樹幹材積への変換（材積表（式））
    - •複雑な形状をした現実の立木の幹を単純な幾何学的モデルで近似し、材積を計算する。
    - •材積=f(直径,樹高,幹形)　→材積表（材積式）
    - •（地域、樹種別に）胸高直径、樹高等と立木材積の関係を示した表（式）。
    - •一変数（胸高直径のみ）、二変数（胸高直径と樹高）
  - –樹幹から他の部分への拡張
    - •バイオマス拡大係数（BEF）
      - –幹重量とそれ以外の地上部分（枝、葉）を含めた全体のバイオマス重量との比（樹種別、成育段階別）
      - –例：スギ1.23、ヒノキ1.24、アカマツ1.23、ブナ1.32（いずれも林齢20年以上）
    - •地下／地上バイオマス比（R）
      - –地下部（根）の総バイオマスと地上の総バイオマスの比
      - –例：スギ0.25、ヒノキ0.26、アカマツ0.27、ブナ0.25
  - –重さへの変換（バイオマス量へ）
    - •材密度（容積密度）
      - –幹の比重（単位材積当たりの重さ）。
      - –例：スギ0.314、ヒノキ0.407、アカマツ0.416、ブナ0.573

調査結果のバイオマス・炭素量への変換２

- アロメトリー式による直接推定
  - –生物の個体の部分の大きさと他の部分の大きさの間には関係がある。相対生長関係（アロメトリ）
  - –個体の計測しやすい一部（胸高直径など）を調べることにより、実測が困難な部分（樹木全体のバイオマス量など）を推定
  - –汎用式と個別の樹種・森林タイプ別に調整された式がある



調査結果のバイオマス・炭素量への変換3

- 単位面積当たり炭素量C（t-C/ha）への変換
  - –樹幹材積とバイオマス拡大係数を用いる場合

$$C = [V * WD * BEF] * (1 + R) * CF$$

V:樹幹材積(m^3/ha)、WD:材密度(t/m^3)、BEF:バイオマス拡大係数、
R:地上部に対する地下部の比率、CF:炭素含有率(t-C/m^3)

  - –アロメトリー式から直接バイオマス量を求める場合

$$C = \text{総バイオマス量} * CF$$

  - –炭素含有率CFは0.5が一般的に用いられる

実習：現地調査のとりまとめ（標本地法）

- データをエクセル表に入力
- 材積式の当てはめもしくは材積表
  - 林野庁計画課編　立木幹材積表　東日本編
  - 関東地方　スギ（昭和36年調製）

直径範囲（cm）	材　積　式
4～10	$logv = 1.753904logd + 1.040853logh - 4.172632$
12～30	$logv = 1.849344logd + 1.008086logh - 4.219069$
32～40	$logv = 1.944287logd + 0.894801logh - 4.211821$
42以上	$logv = 1.600066logd + 1.075361logh - 3.921218$

- 集計した値をヘクタール当たり材積に換算する
- BEFとRにより、バイオマス量及び炭素量に換算する

実習：現地調査のとりまとめ（定角測定法）

- 調査データをエクセルファイルに入力
- ある直径d(cm)の木が1本カウントされたとき、同じ直径の木がヘクタール当たり何本存在するか下記の式により求めることができる（kは断面積定数）

$$N = k\sum \frac{1}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

- 直径階別に見ると、kに応じて必然的にその直径階における本数が決定される（基準本数という）
- 直径階別カウント本数に基準本数を掛けて合計すれば、ヘクタール当たりの立木本数となる
- 材積表もしくは材積式より当てはめヘクタール当たり材積を計算する
- BEF及びRを掛けてバイオマス量及び炭素量に換算する

国レベルでの地上調査（NFI）

- 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
- NFIの方法論
  - 悉皆調査と標本調査：主流は標本調査
  - サンプリングした標本を地上調査する
  - 暫定調査地と固定調査地：時系列的なモニタリングのためには、固定調査地が有利
  - インベントリの間隔：5～10年程度
  - 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）

NFIの設計

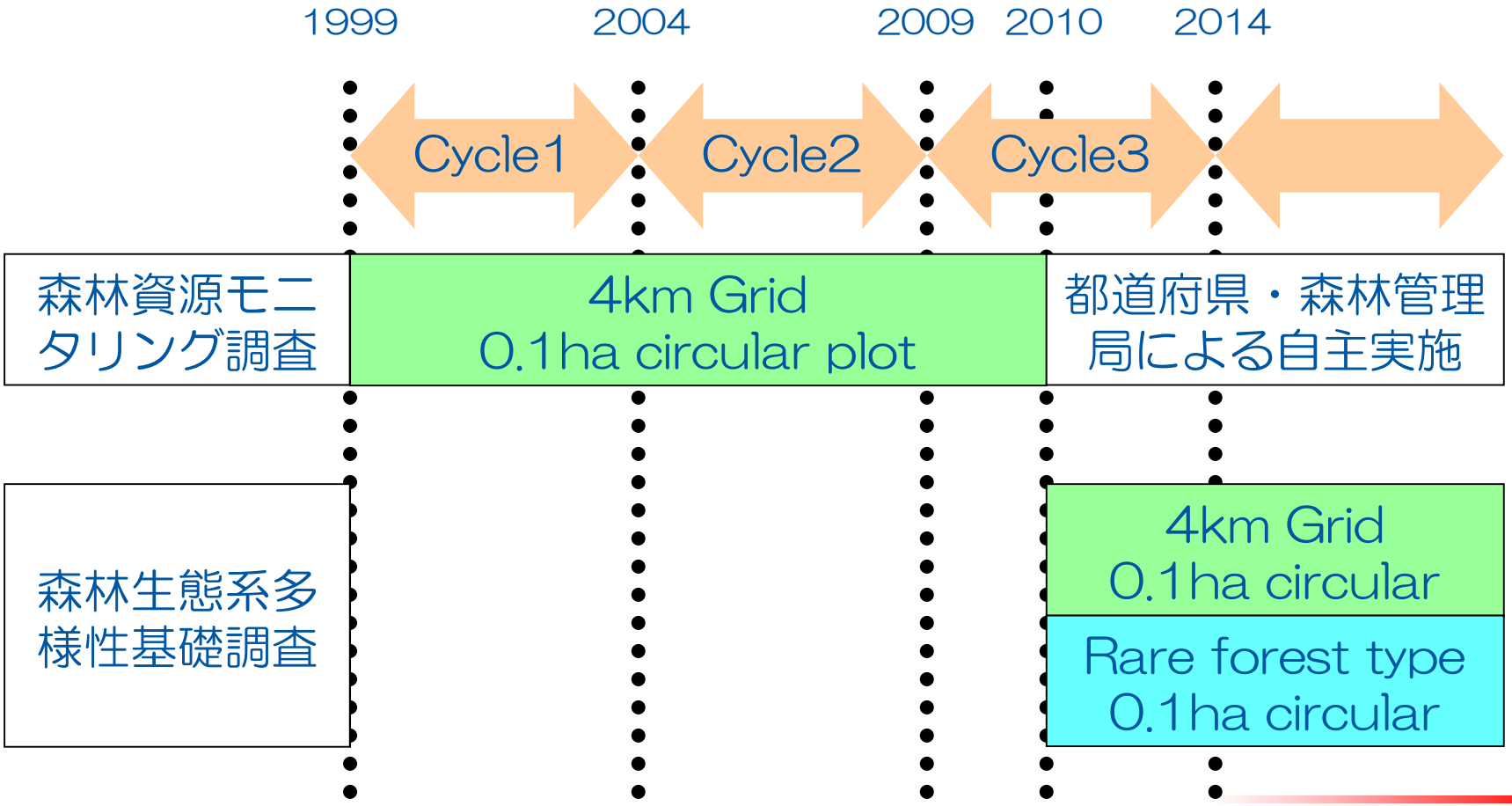
- NFIの3つのフェーズ
  - 企画段階：目標設定、資料収集、概略設計
  - 計画段階：予備調査、実施計画、実行体制整備
  - 実行・管理段階：調査実施、調査の進行管理、調査の精度管理、調査データの利活用
- 事前準備が非常に重要
  - 企画段階及び予備調査により明らかに
  - 精度目標と実施可能性のトレードオフ
  - 不足している情報（材積やバイオマスのパラメータ）がある場合は別途調査企画する必要がある

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

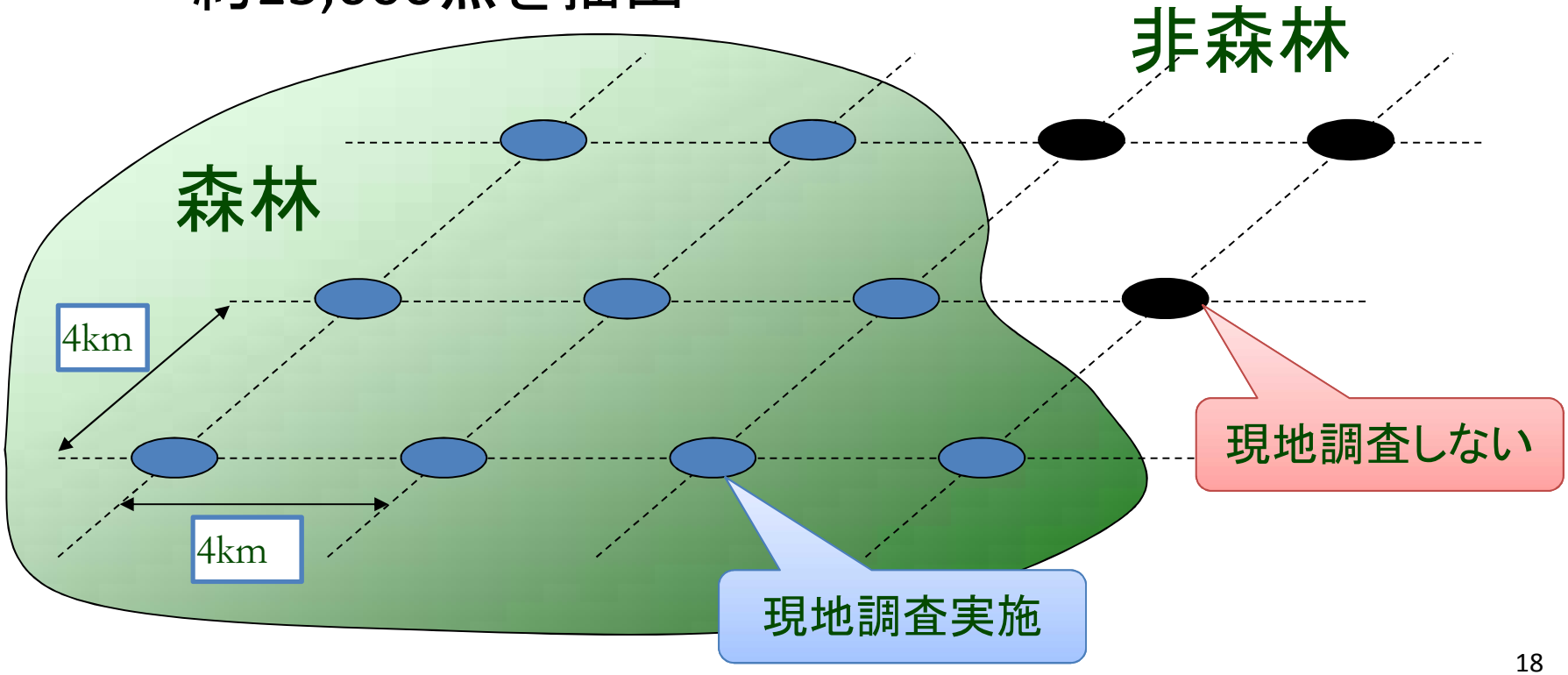


森林生態系多様性基礎調査

- 2010年における大きな変更
  - 調査体制の変更
    - 森林資源モニタリング調査から森林生態系多様性基礎調査へ
    - 実施主体の変更：都道府県及び森林管理局から林野庁が直接実施
    - 「コントロール調査」の導入
    - 調査マニュアルの改訂
  - 意図：調査データの精度改善、調査チームの技術の平準化と向上
    - 1期2期のデータにおける多数のエラー
    - エラーの原因：マニュアルの誤読、多数の調査チーム、チェックシステムの不在

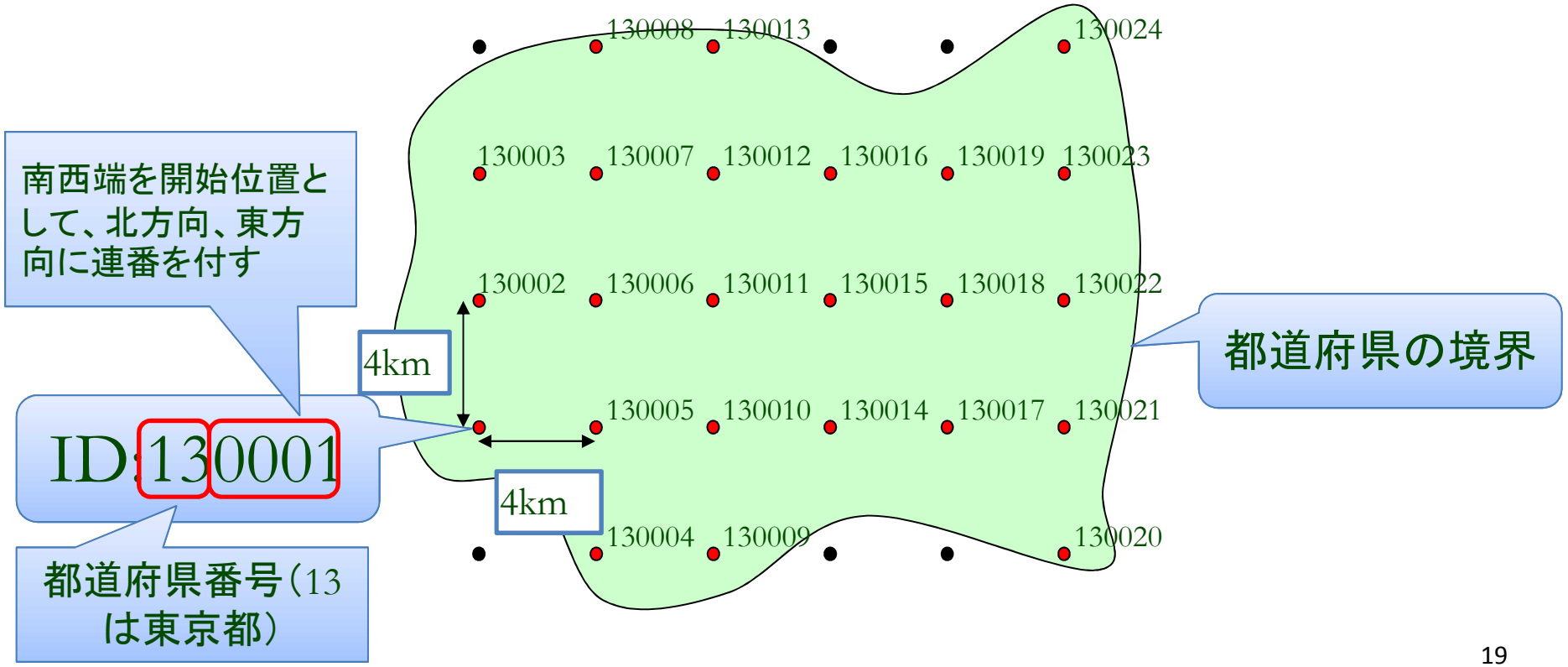
調査の設計

- 標本調査の設計
  - 抽出単位：0.1ha
  - グリッドによるサンプリング：4km x 4kmの格子点を全国に設定。全23,500点から、森林に該当する約15,000点を抽出



調査の設計

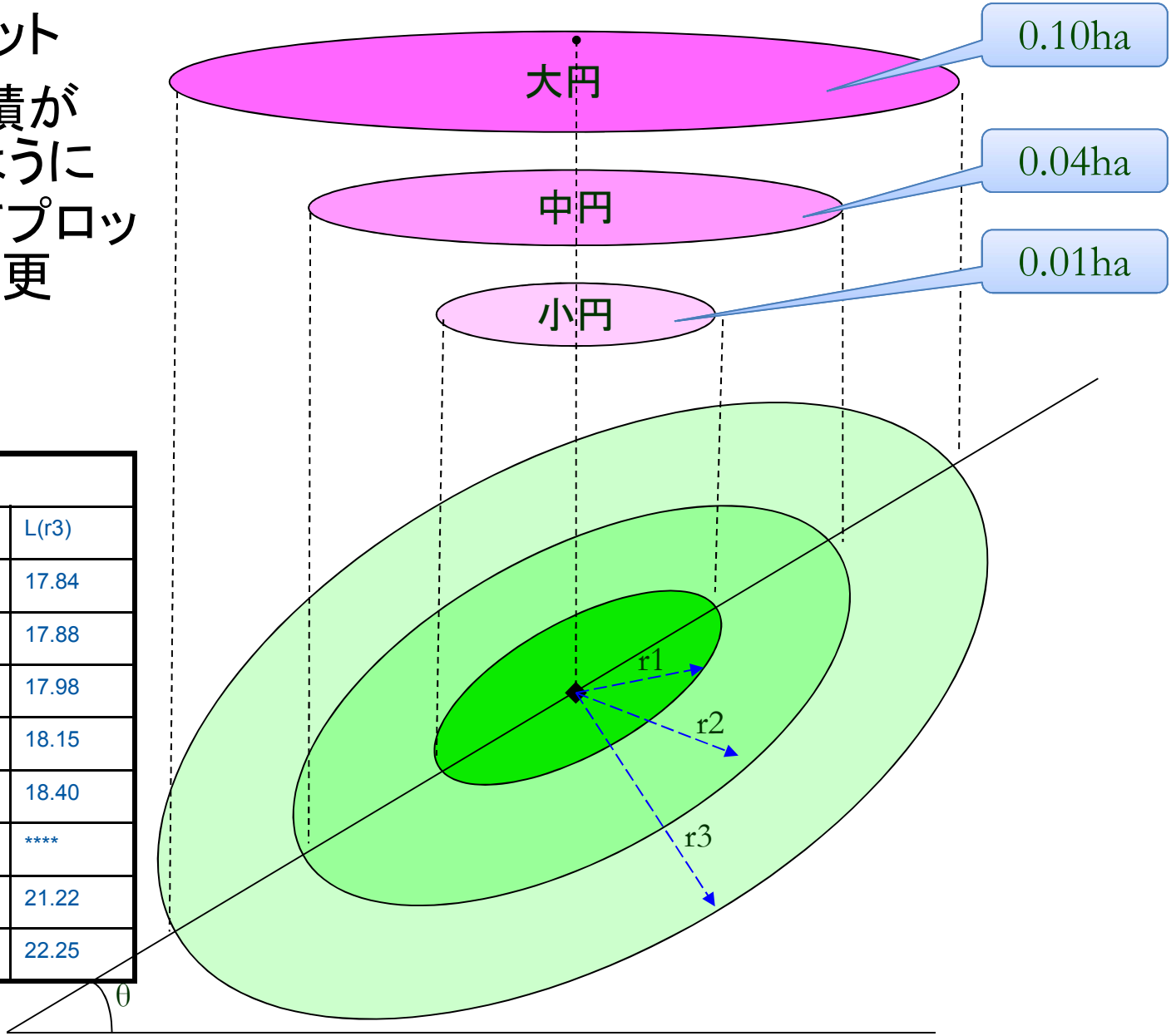
- プロットの配置
  - 固定調査プロット
  - 5年ごとに同じ調査地を再測定
  - すべてのプロットには固有のID番号が付される



プロットデザイン

- 3重円形プロット
- 水平投影面積が0.1haとなるように傾斜に応じてプロットの半径を変更

Incline	Radius		
(θ)	S(r1)	M(r2)	L(r3)
0-2	5.64	11.28	17.84
3-7	5.65	11.31	17.88
8-12	5.69	11.37	17.98
13-17	5.74	11.48	18.15
18-22	5.82	11.64	18.40
****	****	****	****
43-47	6.71	13.42	21.22
48-52	7.04	14.07	22.25



- 3重円形プロットにおける測定レベルの違い

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	

  - 調査労力の軽減
  - 倒木調査はID番号が5の倍数のプロットで実施

森林生態系多様性基礎調査の調査項目

- 調査項目
  - プロットへの到達経路
  - 立木調査
  - 伐根調査
  - 倒木調査
  - 下層植生調査
  - 土壌浸食調査
  - 概況調査