

6. 炭素蓄積量の変化および温室効果ガス排出量の測定、モニタリング、推定

A/R CDM方法論では、炭素蓄積量の変化および温室効果ガス排出量の測定、モニタリング、推定方法を、透明性、再現性、保守性を確保しつつ明確に記述する必要があります。

基本概念	6-1. 純人為的吸収量の算出方法	73
	6-2. ベースライン純吸収量の推定方法	74
	6-3. 現実純吸収量の推定方法	75
流れ	6-4. ベースライン方法論(純人為的吸収量の事前推定)の流れ	76
	6-5. モニタリング方法論(純人為的吸収量の事後測定)の流れ	77
実施手順	6-6. プロジェクト境界と階層化(Stratification)	78
	6-7. A/R CDMにおける5つの炭素プール	79
	6-8. 各炭素プールにおける炭素蓄積量の変化及びGHG排出量の推定、算出方法	80
	6-9. 生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部)中の炭素蓄積量の変化を算出する方法	81
実測方法	6-10. 生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部)の実測方法	82
	6-11. 枯死木と落葉・落枝の乾燥重量の実測方法	84
	6-12. 土壌有機物中の炭素量の実測方法	85
	6-13. 非森林地における炭素蓄積量の実測方法	86
例	6-14. 5つの炭素プールにおける炭素蓄積量の推定(例)	87
	6-15. 炭素蓄積量をトンCO ₂ 換算量へ換算(例)	88
	6-16. プロジェクトの実施により増加する温室効果ガス(GHG)の排出(例)	89
	6-17. リークエッジ(例)	92

6-1. 純人為的吸収量の算出方法

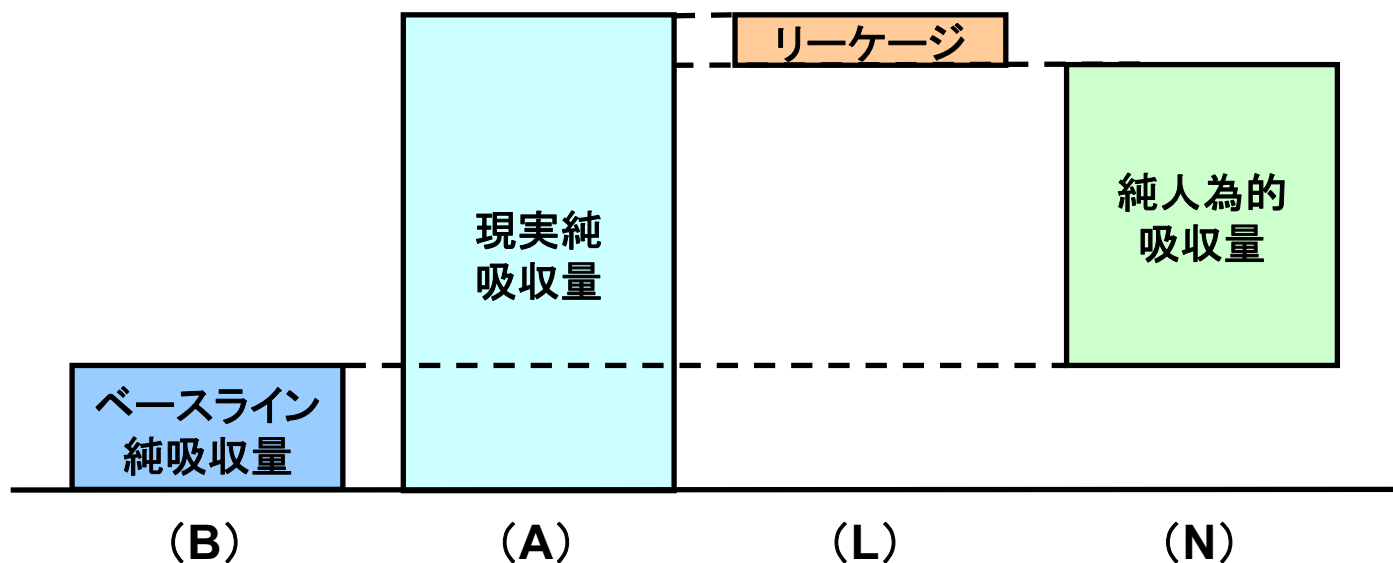
A/R CDMプロジェクト活動による純人為的吸収量の算出方法は下記の通り。

$$\text{純人為的吸収量 (N)} = \text{現実純吸収量 (A)} - \text{ベースライン純吸収量 (B)} - \text{リーケージ (L)}$$

ベースライン純吸収量については、6-2.にて詳しく説明

現実純吸収量については、6-3.にて詳しく説明

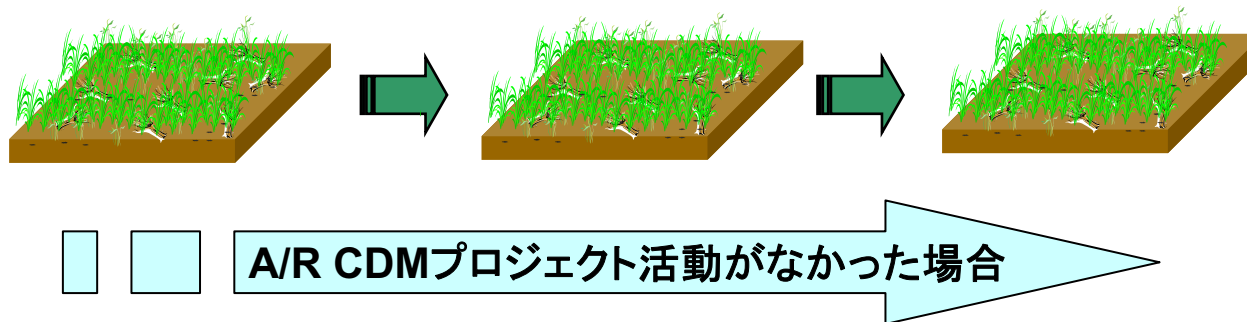
リーケージについては、6-17.にて詳しく説明



6-2. ベースライン純吸収量の推定方法

ベースライン純吸収量 = 提案するA/R CDMプロジェクト活動がなかった場合に起こったであろう、プロジェクト境界内の炭素プールにおける炭素蓄積の変化の合計

炭素蓄積量の変化を推定



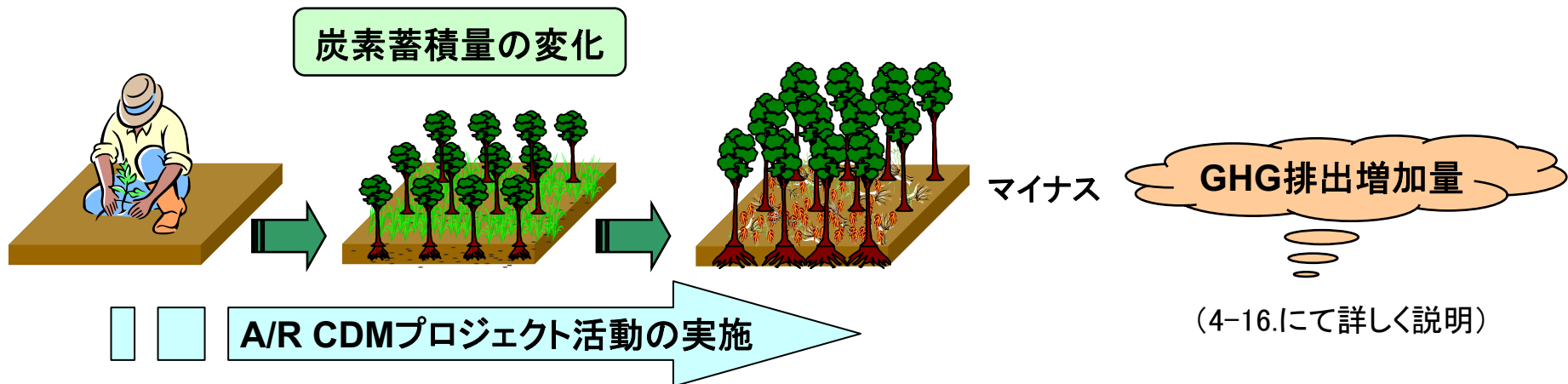
プロジェクト境界内の炭素プールにおける炭素蓄積量の変化の合計
= + 生存バイオマス(①地上部バイオマスと②地下部バイオマス)
+ ③枯死木 + ④落葉・落枝 + ⑤土壤有機物
中の炭素量の変化

プロジェクト参加者は、(ベースライン純吸収量の推定において、)
「①～⑤の5つの炭素プールうち1つ、または2つ以上を考慮しない」という選択ができる。
ただしその場合、「その選択により期待される純人為的吸収量が増加しない」という明白で
検証可能な情報の提供が必要。

6-3. 現実純吸収量の推定方法

A/R CDMプロジェクト活動による現実純吸収量の推定方法は下記の通り。

現実純吸収量 = プロジェクト境界内の炭素プールにおける炭素蓄積量の検証可能な変化の合計
- プロジェクト境界内におけるプロジェクトに起因するGHG排出増加量



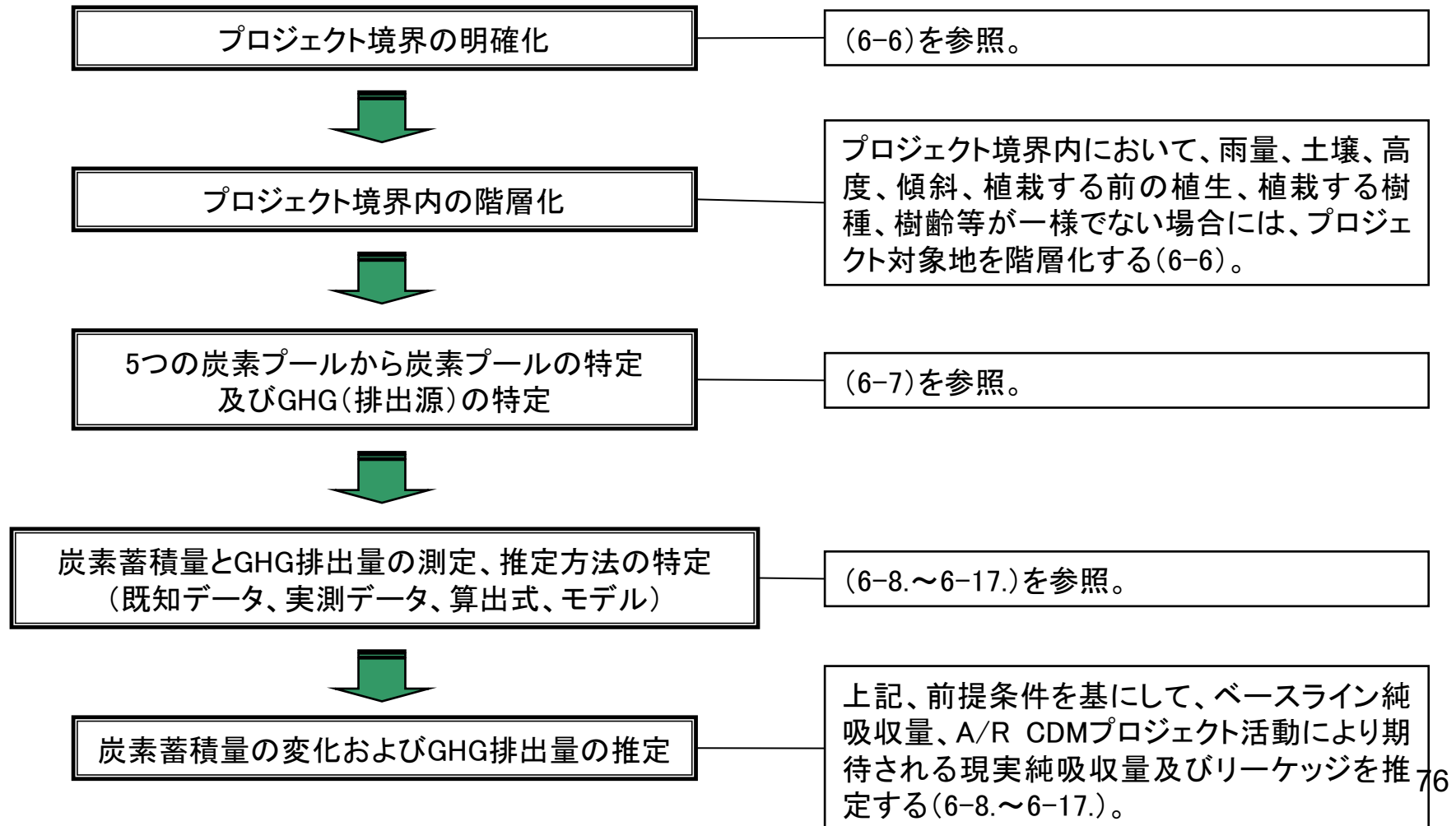
プロジェクト境界内の炭素プールにおける炭素蓄積量の変化の合計
= + 生存バイオマス(①地上部バイオマスと②地下部バイオマス)
+ ③枯死木 + ④落葉・落枝 + ⑤土壤有機物
中の炭素量の変化

プロジェクト参加者は、(現実純吸収量の推定において、)
「①～⑤の5つの炭素プールうち1つ、または2つ以上を考慮しない」という選択ができる。
ただしその場合、「その選択により期待される純人為的吸収量が増加しない」という明白で
検証可能な情報の提供が必要。

6. 炭素蓄積量の変化および温室効果ガス排出量の測定、モニタリング、推定

6-4. ベースライン方法論(純人為的吸収量の事前推定)

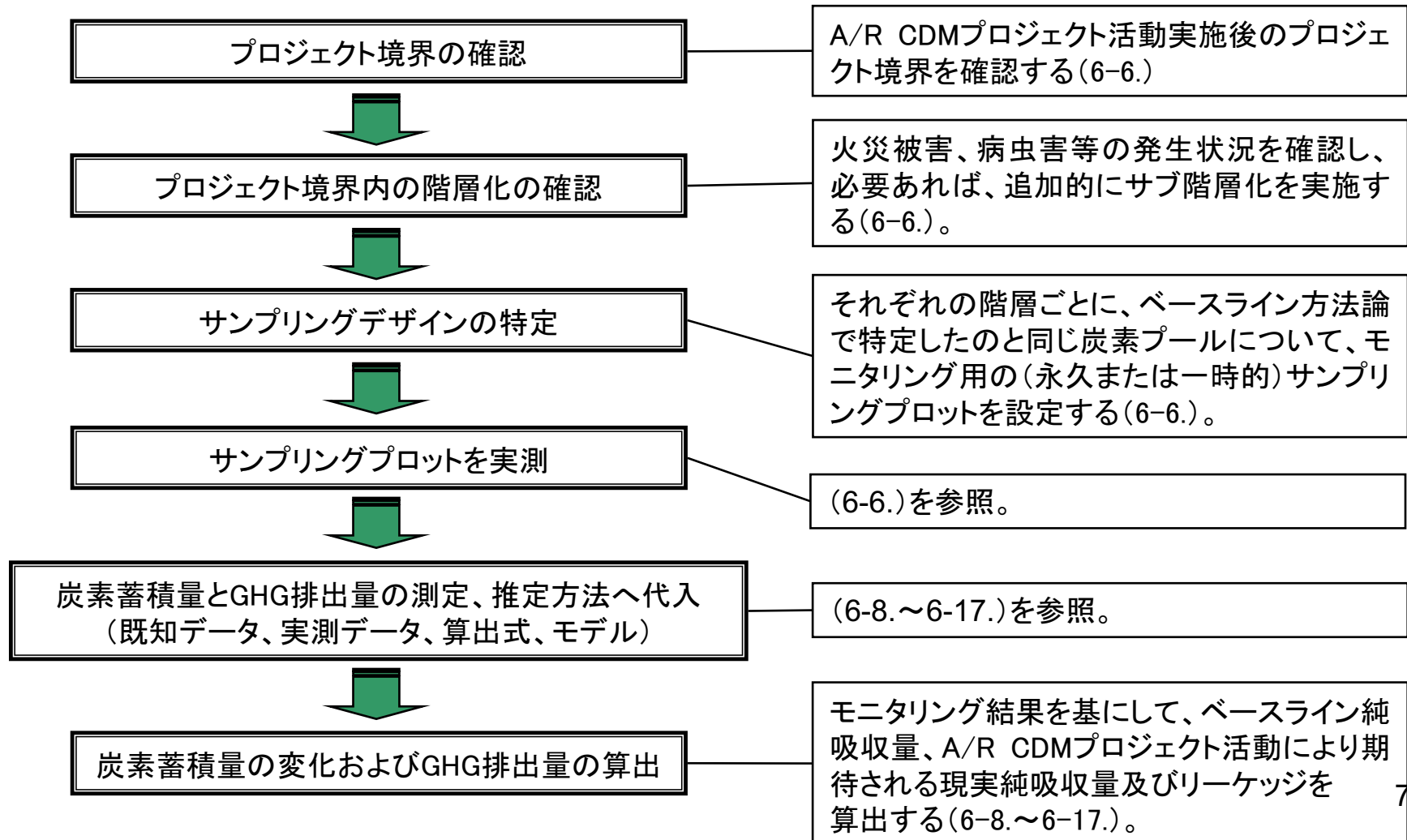
プロジェクト実施前の純人為的吸収量の事前推定に必要な方法論(新方法論または承認済み方法論)を決定し、それをいかにして提案するA/R CDMプロジェクトへ適用するかを、PDDのベースライン方法論に記載する。



6. 炭素蓄積量の変化および温室効果ガス排出量の測定、モニタリング、推定

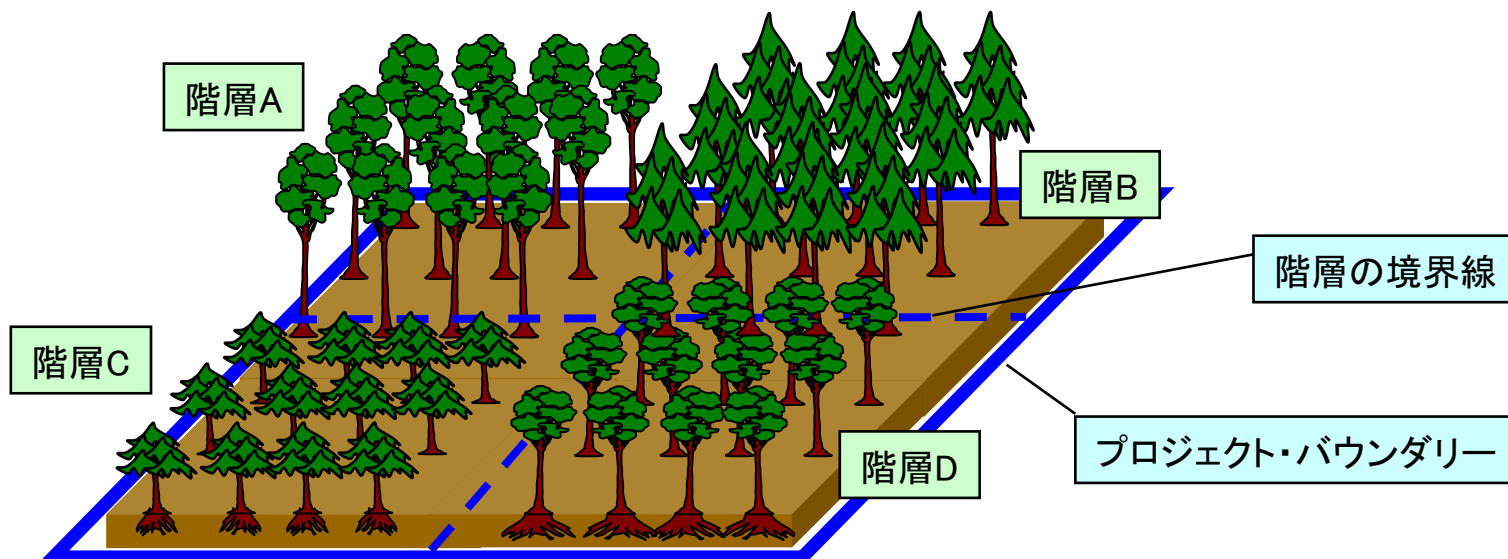
6-5. モニタリング方法論(純人為的吸収量の事後測定)

プロジェクト実施後の純人為的吸収量の事後測定に必要な方法論(新方法論または承認済み方法論)を決定し、それをいかにして提案するA/R CDMプロジェクトへ適用するかを、PDDのモニタリング方法論に記載する。



6-6. プロジェクト境界と階層化 (Stratification)

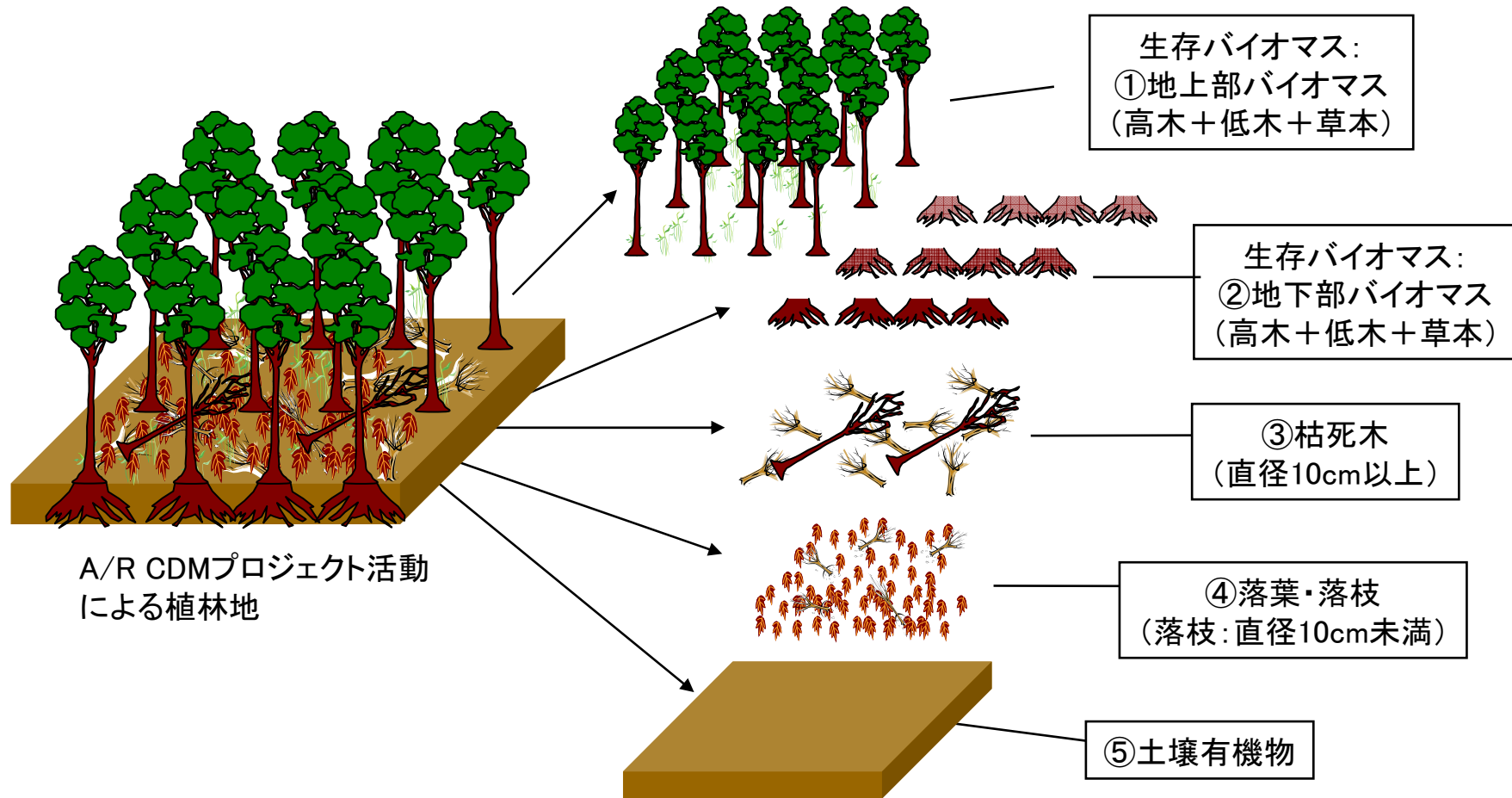
プロジェクト境界内の対象地が一様でない場合、対象地の物理的条件(雨量、土壌、高度、傾斜等)、植林前の植生、植栽する樹種、樹齢等を指標として階層化 (Stratification) する。そして、その階層ごとに期待される炭素蓄積量を推定する。



事前推定では、それぞれの階層ごとに一括して炭素蓄積量を推定する。
事後測定であるモニタリング時には、それぞれの階層ごとにサンプリングプロットを設定し、胸高直径 (DBH)、樹高 (H) 等を実測することによって、バイオマス、炭素蓄積量を推定する。
各階層に設定するサンプリングプロットは、プロットサイズ (面積) が大きいほど、またサンプルサイズ (数) が多いほど、炭素蓄積量の推定誤差は小さくなる。
しかしながら、労力およびコストがかかるため、サンプリングプロットは、最低限必要とされる精度が得られるよう適切に設定しなければならない ([GPG LULUCF] 第4章)。

6-7. A/R CDMにおける5つの炭素プール

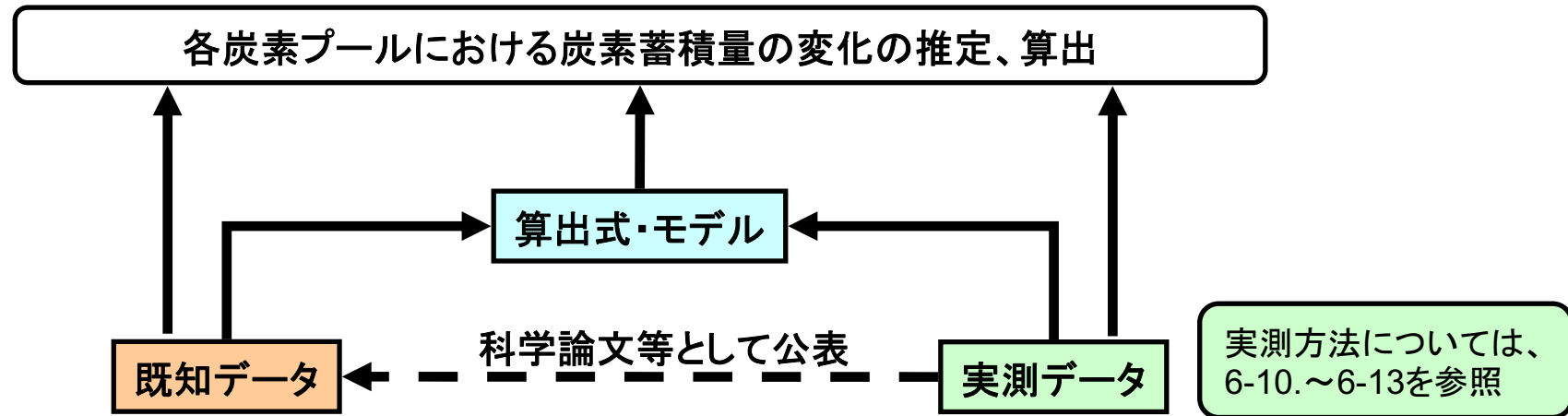
炭素蓄積量の変化を推定するのに、プロジェクト参加者は5つの炭素プール(下図)について評価しなければならない([GPG LULUCF] 第2章)。



①～⑤の5つの炭素プールうち1つ、または2つ以上を考慮しないという選択ができる。ただしその場合、「その選択により期待される純人為的吸収量が増加しない」という明白で検証可能な情報の提供が必要。

6-8. 各炭素プールにおける炭素蓄積量の変化及びGHG排出量の推定、算出方法

全ての推定方法は、既知データ、現場での実測、そしてモデルの組み合わせである([GPG LULUCF] 4.3.3)。



既知データ、算出式、モデルについては、出典を明記した上で、「公的統計(Official statistics)」、「専門家の判断(Expert judgment)」、「著作データ(Proprietary data)」、「GPG for LULUCF」、「商業データ(Commercial data)」、「科学論文(Scientific literature)」等を引用して使用することが可能である。

既知データ、算出式・モデルを使用する際の原則として、

1. その地域における同樹種の測定値を使用
2. その地域における測定値がない場合、国の標準値、大国であれば自然条件の似た隣接国の値
3. 同樹種のデータがない場合、同属、類似樹形、類似生活形
4. 国際的な値(GPG for LULUCF等)

ただし、純人為的吸収量を過大評価しないよう、常に保守性を心がける(過小評価OK)。

6-9. 生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部)中の炭素蓄積量の変化を算出する方法

生存バイオマス(①地上部バイオマス+②地下部バイオマス)樹木中の炭素蓄積量の変化を算出する方法として、下記の2つがある。

1. デフォルト法(Default method or Carbon gain-loss method)

炭素蓄積量の年変化 = 年平均炭素蓄積増大量(A) - 年平均炭素蓄積減少量(B)

A: 年バイオマス増加量、年平均(材積)成長量(Mean Annual Increase, MAI)等があればそれを基にして算出

B: 伐採、薪採集等による年バイオマス減少量、年平均(材積)減少量等がわかればそれを基にして算出

2. スtockチェンジ法(Stock change method)による炭素量の算出方法

炭素蓄積量の年変化 = (A年の炭素蓄積量 - B年の炭素蓄積量) / (A年 - B年)

このうち、A年およびB年それぞれの時点での炭素蓄積量を推定する方法としては下記の2つの方法がある。

(a) アロメトリー式(allometric equations、相対成長式)を利用する方法

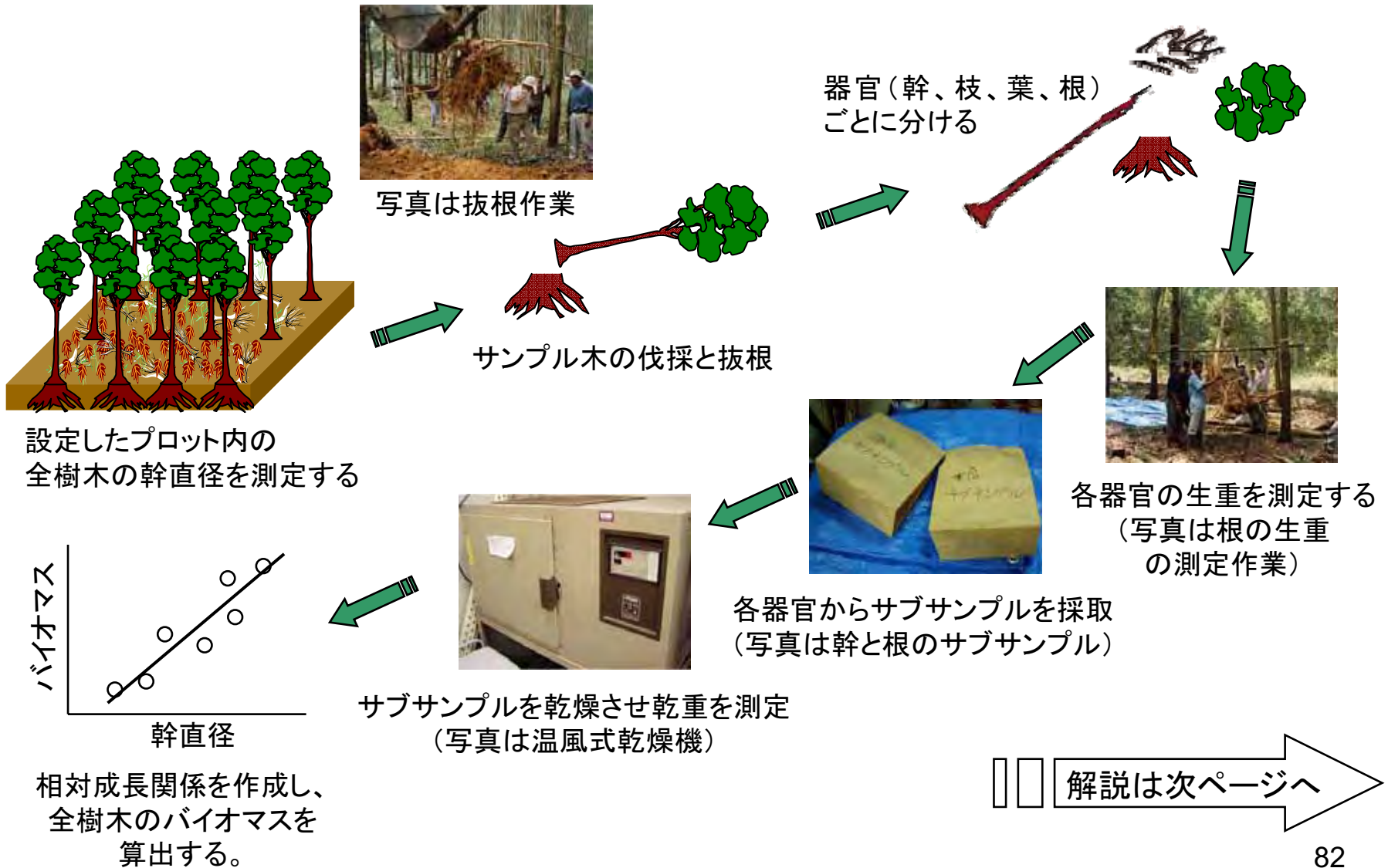
炭素蓄積量 = {胸高直径(DBH)及び樹高(H)を基に地上部バイオマスを算出する計算式}
× {1 + 地下部率(R)} × 炭素係数(CF)

(b) 収穫表等を基にした幹材積、容積密度、拡大係数を利用する方法

炭素蓄積量 = {幹材積(SV) × 容積密度(WD) × 拡大係数(BEF)}
× {1 + 地下部率(R)} × 炭素係数(CF)

DBH: diameter at breast height、H: tree height、R: root to shoot ratio、CF: carbon fraction、
BEF: biomass expansion factor、SV: stem volume、WD: basic wood density

6-10. 生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部バイオマス)の実測方法(図)



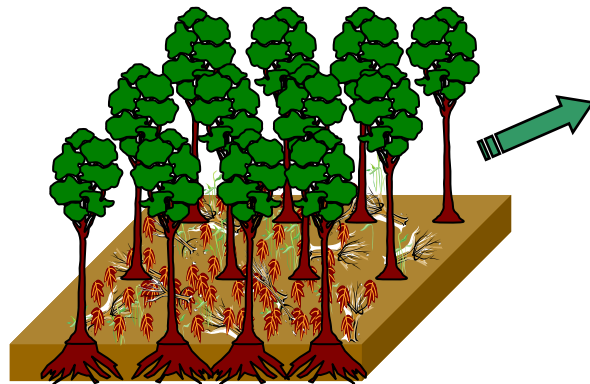
6-10. 生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部バイオマス)の実測方法(解説)

1. 対象となる林分に調査プロットを設定する。プロットは各階層毎にランダムスタートし、系列的に配置する。必要なプロットの数、面積等は対象となる林分により決まる(通常は100-600m²) ([GPG LULUCF] 第4章)。
2. プロットを設定した後、各プロット内の全樹木の幹胸高直径(通常は地上高1.3mの位置、DBH)を測定する(場合によっては樹高(H)も測定する)。その値を基に、各プロットごとに、小径木から大径木まで均等に十数本のサンプル木を選定し伐採する。
3. 伐採したサンプル木は幹、枝、葉(以上、地上部バイオマス)、根(地下部バイオマス)の器官別に分けた後、重さ(生重)を測定する。次にそれぞれの器官からサブサンプルを採取し、生重を測定した後、それらを温風式乾燥機などで乾燥させた後、乾重を測定する。そして、乾重/生重の比率を算出した後、サンプル木の各器官の生重に乾重/生重比率を乗じれば、サンプル木の各器官の乾重(バイオマス)が算出できる。

- ・ サンプル木のアロメトリー式をもとめる。
サンプル木のDBH(またはDBH²*H)と各器官バイオマスとの関係式(アロメトリー式)を作成する。
さらに、DBH(またはDBH²*H)と地上部全体のバイオマス(幹+枝+葉)との関係式も作成する。
- ・ プロット内における生存バイオマス(樹木の地上部及び地下部バイオマス)の総量を求める。
プロット内における全樹木のDBH(またはDBH²*H)を得られたアロメトリー式に代入し、1本1本の地上部バイオマス、地下部バイオマスを算出する。
その上で、 Σ (地上部バイオマス+地下部バイオマス)により、プロット内の生存バイオマス総量を算出する。
- ・ 各プロットの生存バイオマス量(/ha)を平均することにより、林分としての生存バイオマス量(/ha)を推定する。

(補足) 以後、収穫表、材積表等から地上部バイオマスを算出できるように、幹のバイオマスと樹木の地上部全体のバイオマス(幹+枝+葉)との比率から、拡大係数(BEF)を算出する。
さらに、地上部全体のバイオマスに対する地下部バイオマスを推定できるように地下部率(R)を算出する。
幹については、サブサンプルを用いて容積密度(WD)を算出する。簡易的な方法としては、サブサンプルの材積を算出した後、サブサンプル幹乾重との関係から算出する。

6-11. 枯死木と落葉・落枝の乾重量の実測方法



サブプロットを設定する。
サンプルとして、プロット内全ての
落葉・落枝、枯死木を採取し、
それぞれに分けて生重を測定する。



サブサンプルを採取
生重を測定

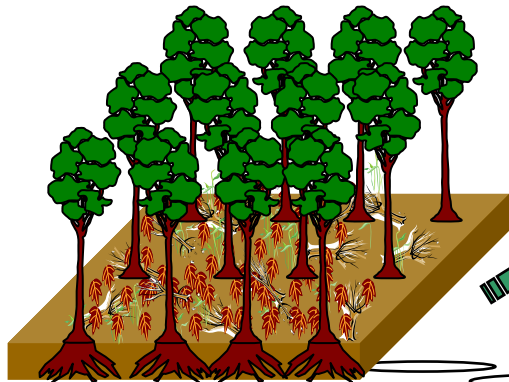


サブサンプルを乾燥させ乾重を測定
(写真は温風式乾燥機)

1. 通常、6.10.の調査プロット内にサブプロットを設定する。サブプロットの大きさ、数、配置は調査する森林により決まる([GPG LULUCF] 第4章)。
2. サブプロット内の落葉・落枝(落枝は直径10cm未満)を全てサンプルとして採取する。
このサンプルの生重を測定する。次にサブサンプルを採取しその生重を測定した後、乾燥機で乾燥させ、乾重を測定する。サブサンプルによって得られた乾重/生重の比率をサンプルの生重に乗じることから、プロット内の落葉・落枝の乾重量を算出する。
3. 枯死木(枯死木の直径は10cm以上)についても同様にして、プロット内の枯死木の乾重量を算出する。

(補足) 以後、枯死木の材積からバイオマスを算出できるように、サブサンプルを用いて容積密度(WD)を求める。

6-12. 土壌有機物中の炭素量の実測方法



写真は土壌サンプルの採取作業



サンプル採取には、
写真のような体積
の分かる容器を使う

対象となる土壌の深さは、ホスト国による(通常30cm)

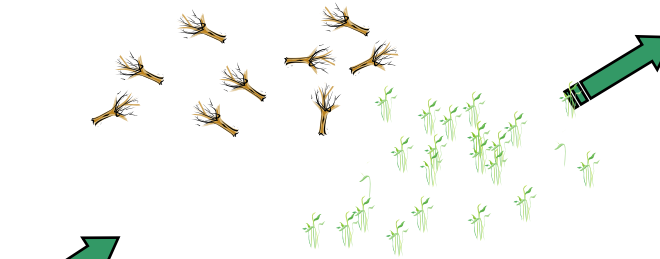
1. 対象となる森林に調査ポイントを設定する。ポイントは各階層毎にランダムスタートし、系列的に配置する。必要なポイントの数は対象地の環境を考慮して決定する。
2. 設定した調査ポイントの土壌の各層(通常は10cm階級ごとに対象となる深さまで)から構造を壊さないよう容器を用いて土壌サンプルを採取する。土壌サンプル用の容器は、通常100あるいは400ccである。
3. 次に土壌中の炭素含有量を分析する(多くの場合N-Cアナライザーを使用する)。これに、分析し得られた土壌の容積密度を乗じることから土壌体積あたりの炭素量を算出する。
4. この作業を式で表すと以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{土壌有機物中の炭素量 (tC/ha)} &= \text{化学分析炭素量 (gC/100g土壌)} \times \text{土壌の容積密度 (g/cm}^3\text{)} \\ &\times \text{土壌深度 (cm)} \times (1 - \text{礫容積割合 (\%)}) \times \text{tC/haへの乗数 (サンプルのサイズによる)} \end{aligned}$$

6-13. 非森林地における炭素蓄積量の実測方法



ベースラインと成り得る非森林地において、プロットを設定する。



サンプルとして、プロット内全ての木本、草本を刈り取り採取する。木本と草本が混交している場合は、それぞれに分けて生重を測定する。



サブサンプルを採取。生重を測定する。



サブサンプルを乾燥させ乾重を測定。
(写真は温風式乾燥機)

1. ここでは、非森林地であり、ベースラインとなり得る代表的な土地である草原(灌木含む)を例にした。ベースラインにおいても5つの炭素プールについて炭素量を評価する必要がある。ただし、「①～⑤の5つの炭素プールうち1つ、または2つ以上を考慮しない」という選択ができる。その場合、その選択により、期待される純人為的吸収量が増加しないという、明白で検証可能な情報の提供が必要。
2. 対象となる草地に調査プロットを設定する。プロットは各階層毎にランダムスタートし、系列的に配置する。必要なプロットの数、面積等は対象となる草地により決まる。地上部バイオマスは上記のように実測する。
3. 地下部バイオマスは実測するか、地下部率(R)で地上部バイオマスから推定する。
4. 枯死木、落葉・落枝および土壌有機物中の炭素蓄積量の実測は植林地(6-11.~12.)と同じ手法を用いる。

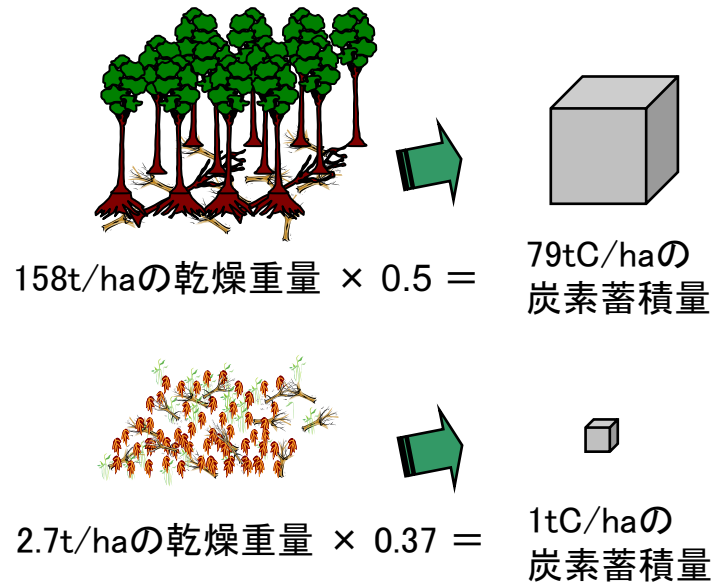
6-14. 5つの炭素プールにおける炭素蓄積量の推定(例)

①地上部バイオマス、②地下部バイオマス、③枯死木、④落葉・落枝の炭素プール

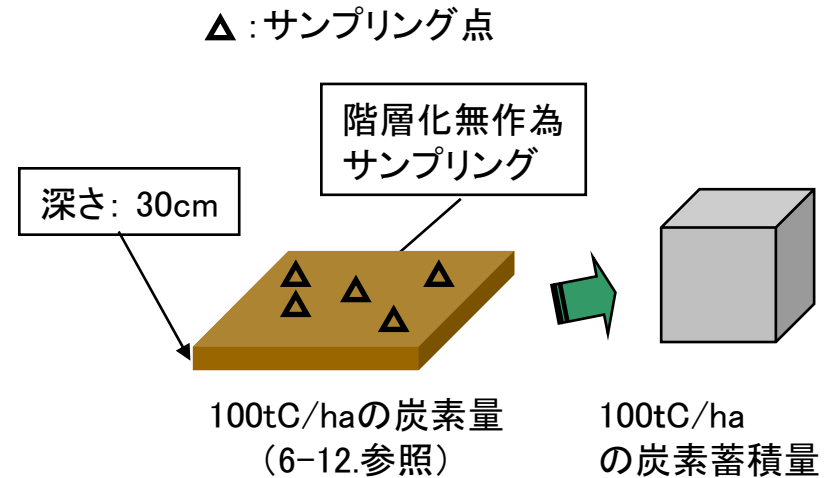
①地上部および②地下部バイオマス(生存バイオマス)と③枯死木および④落葉・落枝は、その乾燥重量を推定した後、炭素への換算係数などの規定値(デフォルト値)を乗じて求める。[GPG LULUCF]のcarbon fractionのデフォルト値として、木本バイオマスと枯死木は0.5、リター(落葉・落枝)は0.37である。

⑤土壌有機物 炭素プール

土壌有機物中に含まれる炭素の含有率は、対象となる植林地によって大きく変動する。このため、それぞれの対象地において、土壌サンプルを採集し、その炭素量を化学分析によって測定する。化学分析によって得られた値(gC/100g土壌)を、土壌の容積密度(g/cm³)、土壌深度(cm)、礫容積割合、土壌サンプルのサイズを考慮してヘクタール当たり換算する(6-12.参照)。



4つの炭素プールにおける炭素蓄積量



⑤土壌有機物炭素プールにおける炭素蓄積量 87

6-15. 炭素蓄積量をトンCO₂換算量へ換算(例)

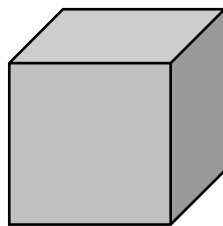
4つの炭素プール(地上部バイオマス、地下部バイオマス、落葉・落枝、枯死木)の炭素蓄積量の合計は、80トン/ヘクタール、土壌有機物炭素プールの炭素蓄積量は100トン/ヘクタールであった。すなわち、5つの炭素プール全体では180トン/ヘクタールの炭素蓄積量であった。

通常CDMでは、炭素蓄積量をCO₂換算で表す。そこで、CO₂の分子量44(C:12、O:16)より、CO₂/C比は、44/12である。この比を用いて、炭素蓄積量180トン/ヘクタールをCO₂に換算すると

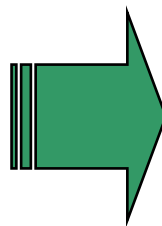
$$180 \times (44 / 12) = 660 \text{ トンCO}_2\text{換算}$$

となり、5つの炭素プール全体では、660トン/ヘクタールのCO₂換算量を蓄積していたこととなる。

炭素蓄積量をCO₂換算量に変換すると・・・



180トン/ヘクタール
の炭素蓄積量



6-16. プロジェクトの実施により増加する温室効果ガス(GHG)の排出(例)

A/R CDMプロジェクトを実施したことにより、プロジェクト境界内においてGHG排出量が増加する場合、排出としてカウントする。

現実吸収量を推定するときには、炭素蓄積増加量から、このGHG排出増加量を差し引かなければならない。

以下に想定される代表的な例を3つ示す。

A/R CDMプロジェクト活動の一環で、刈り払い機やチェーンソーなどを使用した際、化石燃料が燃焼する。このときに発生するGHG排出量をトンCO₂換算量としてカウントする。

CO₂排出係数は、国の標準値を使用する。それがない場合、[Revised 1996 IPCC Guidelines]を参照。



例1) 化石燃料の燃焼によるGHGの排出

6-16. プロジェクトの実施により増加する温室効果ガス(GHG)の排出(例)

A/R CDM植林プロジェクト活動の一環で、火入れ地拵え等を行うと、木本、草本等のバイオマスが燃焼する。このときに発生するCO₂以外のGHG(N₂O、CH₄等)の排出量をトンCO₂換算量としてカウントする。

(CO₂の排出量は、現存バイオマス量の減少による炭素蓄積量の減少としてカウント済み。)

N₂O排出比、CH₄排出比、地球温暖化係数はIPCC規定値を参照。

CO₂以外のGHG発生量
(トンCO₂換算)



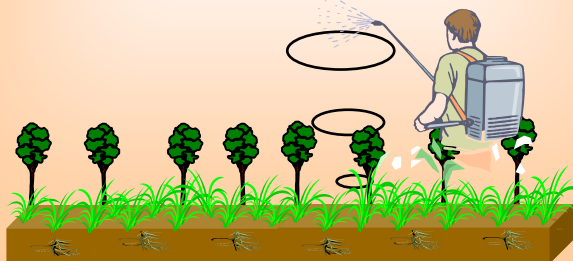
例2) バイオマスの燃焼によるCO₂以外のGHGの排出

6-16. プロジェクトの実施により増加する温室効果ガス(GHG)の排出(例)

窒素系肥料の施肥を行った際に、
 NH_3 、 NO_x 等が揮発し、GHGとして N_2O が発生する。
この排出量をトン CO_2 換算量としてカウントする。

N_2O 排出係数は、国の標準値を使用する。
それがない場合、[GPG 2000]の規定値を使用。
施肥窒素1kgあたり、12.5gの N_2O の発生。

窒素系肥料の施肥により
発生するGHG(N_2O)を
排出としてカウント



例3) 窒素系肥料の施肥による N_2O の排出

6-17. リークージ (例1. 退去による)

リークージとは、A/R CDMプロジェクト活動の実施により生じる、プロジェクト・バウンダリー外における温室効果ガス(GHG)排出量の増加であり、計測可能でA/R CDMプロジェクト活動に起因するものである。

下記に想定される代表的な例を3つ示す。

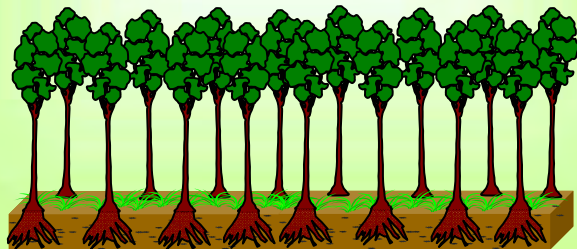
注)リークージについては、第22回CDM理事会レポートAnnex15において、明確化されている。

[A/R methodologies clarification] <http://cdm.unfccc.int/EB/022/eb22_repan15.pdf>

1. プロジェクト実施前、プロジェクト境界内に居住地が存在した。



2. A/R CDMプロジェクト活動の植林により、現実純吸収量は増加したものの、居住地は退去した。



3. 居住地はA/R CDMプロジェクト活動に起因し、プロジェクト・バウンダリー外に移動した。この結果、プロジェクト境界外において、森林が伐採され、プロジェクト実施前と比べて、炭素蓄積量が減少し、かつ温室効果ガス排出量も増加した。これをリークージとしてカウントする。

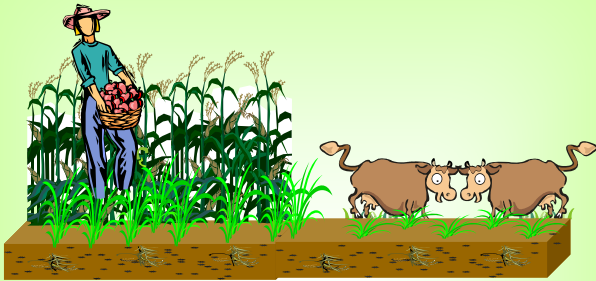


例1. 退去 (Displacement) によりプロジェクト境界外の炭素蓄積量が減少し排出が増加

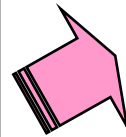
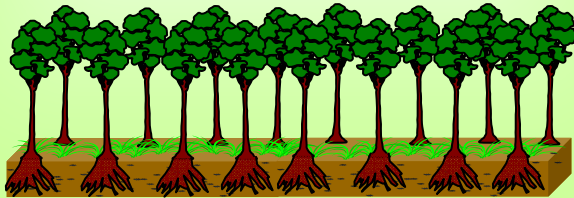
6. 炭素蓄積量の変化および温室効果ガス排出量の測定、モニタリング、推定

6-17. リークエージ（例2. 活動の移動による）

1. プロジェクト実施前、プロジェクト境界内では、農業・放牧が行われていた。



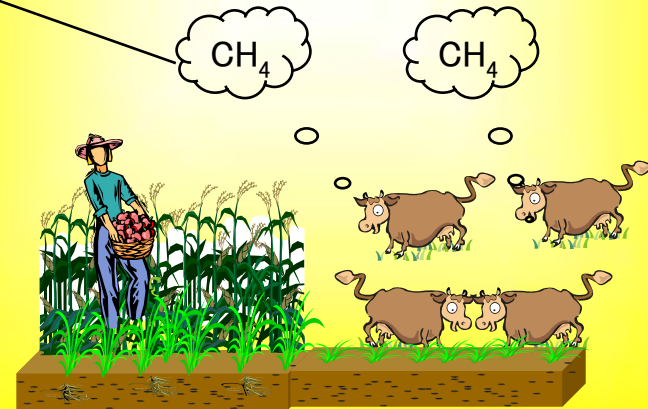
2. A/R CDMプロジェクト活動の植林により、現実純吸収量は増加したものの、農業・放牧の対象地域ではなくなった。



3. 農業・放牧対象地は、A/R CDMプロジェクト活動に起因し、プロジェクト境界外に移動した。それに伴い、プロジェクト実施前と比べて、より多くの牛を飼育するようになり、温室効果ガス(CH₄など)の排出が増大した。

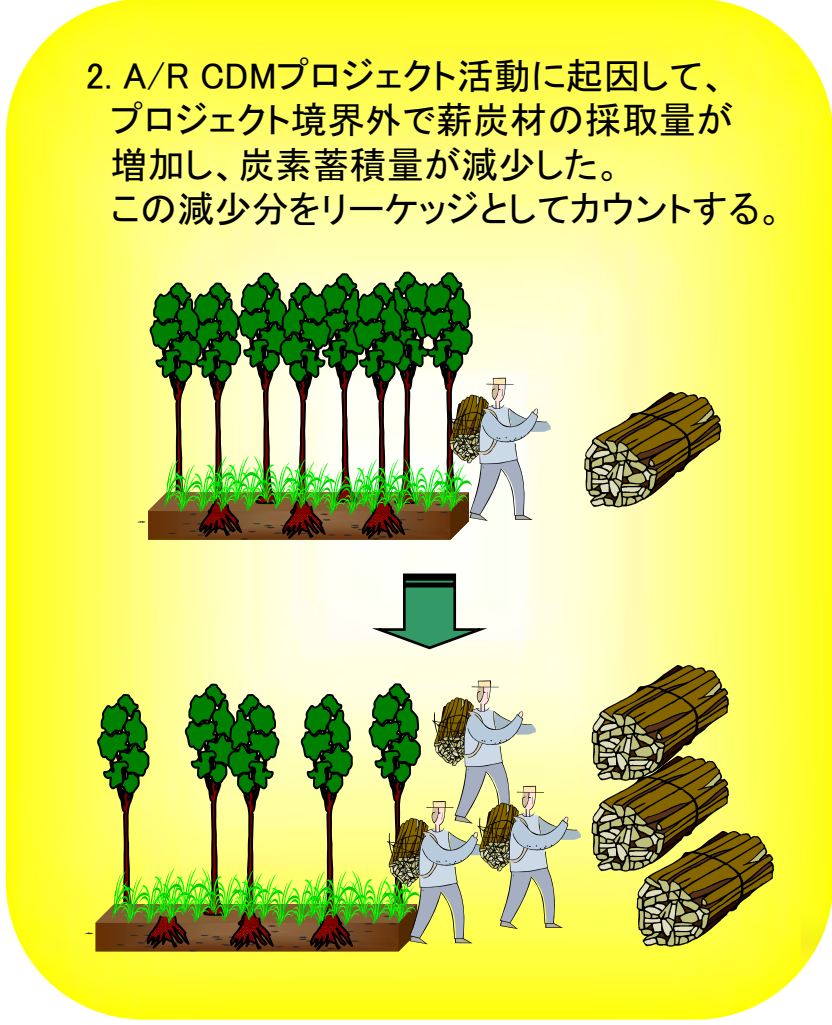
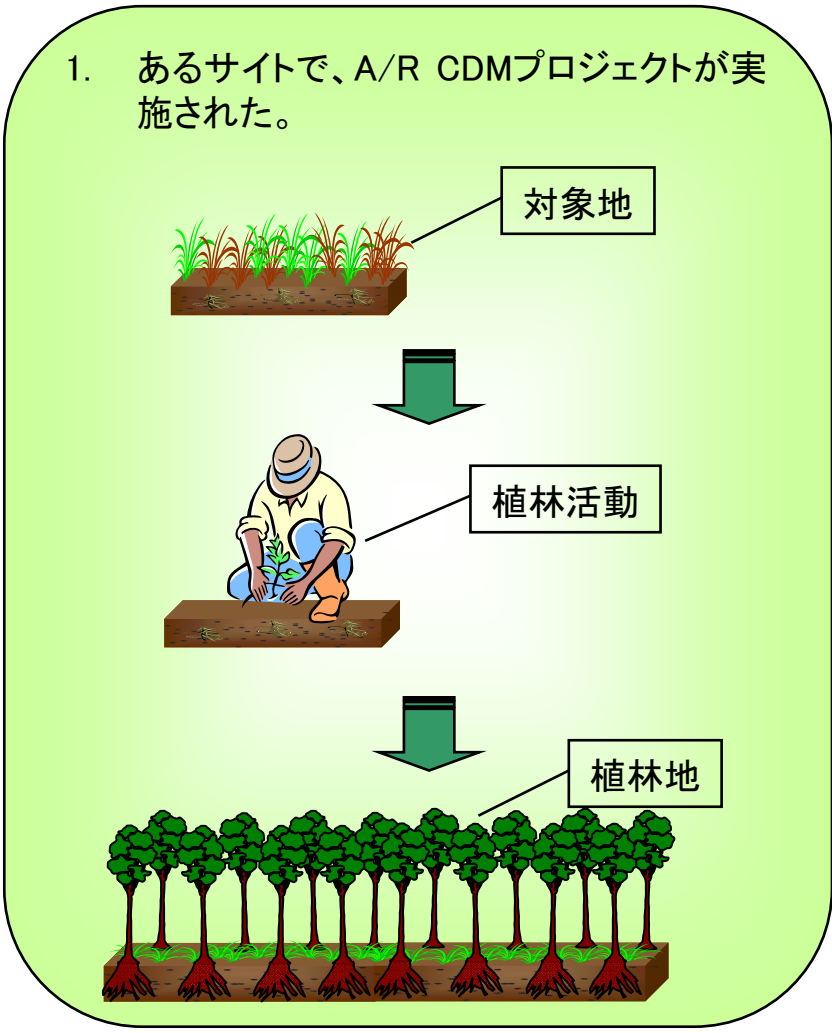
この増加した分だけをリークエージとして、カウントする。

ウシ1頭あたりのCH₄排出量は80-120kg/年 [GPG LULUCF]



例2. それまで行われていた活動がプロジェクト境界外へ移動(Activity shifting)し、排出量が増加

6-17. リークエージ（例3. 薪炭材の採取）



例3) プロジェクト境界外における薪炭材の採取による炭素蓄積の減少

6-17. リークエージ（例4. 化石燃料の燃焼）

1. 荒廃地において、A/R CDMプロジェクトが実施された。



2. A/R CDMプロジェクト活動に起因して、プロジェクト境界外からトラックやトラクターを使って移動したり、荷物を運搬した場合、化石燃料が燃焼する。このときに発生して増加したGHG排出量をトンCO₂換算量としてカウントする。

CO₂排出係数は、国の標準値を使用する。それがない場合、[GPG 2000]を参照。



例4) 燃料の燃焼(プロジェクト境界外からの車両、重機の使用による)