

2. 土壌及び森林の基礎調査

2.1. 土壌及び森林の基礎調査の流れ

土壌及び森林の基礎調査の流れを、図 2.1.に示した。これらの基礎調査を進める過程において何らかの変化が見られた場合、酸性沈着との関連性を評価するために、集中調査が必要となる。陸域生態系解析は、これらの調査とは別の体系で全く独立して実施される。2.2.2.1に示すように、土壌モニタリングは森林モニタリング地点内に設定される。このように、予備調査からモニタリング地点の設定を通して、基礎調査のための共通的な手順が実施される。

2.2. 基礎調査地点の選定

土壌及び森林特性は、気候、地質、地形的特徴など、その地域に特異的な要因によって性質が決められている。土壌や森林モニタリングのデータ評価のためには、これらの要因について報告される必要がある。

恒久的モニタリングのための地点を選定するためには、概要調査を実施する。モニタリングする地域の状況を明らかにし、データの再現性の状況について正確に記録する。

2.2.1. 概要調査

継続的なモニタリングが可能な地点を選定するため、概要調査をある程度の広さをもって実施する。長期的なモニタリングによって、森林生態系への酸性沈着の影響を検出することを目的にしている。概要調査は以下の手順によって実施し、全ての必要な項目を記載する。調査地点は、湿性及び乾性の沈着モニタリング地点から半径約50km圏内に選定されることが望ましい。

2.2.1.1. 基礎調査地点の分類

基礎調査地点の分類は、EANETモニタリングガイドライン（1999）に従うものとする。すなわち、土壌・植生及び陸水モニタリングを実施する地点は、生態調査地点（Ecological survey site）と呼び、そのうち、通常の土壌モニタリング及び森林モニタリングは基礎調査として、基礎調査地点で実施される。1章で述べたような陸域生態系解析は、生態系解析地点で実施される。基礎調査において、土壌又は森林の特性に何らかの変化が見られた場合は、酸性沈着との関連性を明確化するために、集中調査が必要となる。

2.2.1.2. 土壌、植生や他の特性に関する情報収集

概要調査では、土壌、植生、地形、地質、気象に関する下記の情報を収集し、必要に応じて実地調査も実施する。調査地点に関する情報を正確に記録し、国内におけるその調査地点の特性を明確化する。標準的な国際分類に従った、相互比較が可能な土壌図や植生図を収集することが望ましい。土壌及び植生の分類はFAO/UNESCO Soil Map of the World（FAO/UNESCO, 1977）に従って統一されるべきである。

a) 土壌情報

土壌図及び植生図は東アジア各国で整備されているが、異なる分類基準を用いている場合もある。相互比較を容易にするためには、FAO/UNESCO Soil Map of the World

(FAO/UNESCO, 1977) 標準的な国際分類を用いることが望ましい。我が国においても、林野分類及び農地分類など、分野によって異なる分類体系を用いているが、本調査においては、FAO/UNESCO の分類体系を用いることとする。

EANET 技術マニュアルにおいては、もし適当な土壌図がない場合は、各国独自の土壌図に代表的な土壌断面の柱状図と土壌の性状を示す分析データを添付することとしている。鉱物組成や土地利用歴なども有用である。

概要調査にあたっては、5万分の1の土壌図(望ましくは2万5千分の1の土壌図)を用意する。もし不可能な場合は、出来るだけ大縮尺の図を準備する。

Note:

- 概要調査の実施にあたり、全く土壌図がない場合は、地質、地形及び土地利用情報の把握のため、実地調査を実施する。
- 表層地質図、地形図及び土地利用図は、調査地点の特性評価のため、有用である。このように概要調査においては、あらゆる関連有用情報が収集されるべきである。

b) 植生情報

植生図についても各国において、植物社会学的な植生図、相観植生図、土地利用図などが独自に整備されているが、土壌図同様に、FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO/UNESCO, 1977) のような国際的分類による植生図を準備する。

Note:

- 概要調査の実施にあたり、全く植生図がない場合は、植生を示す航空写真や衛星画像の活用を検討することが望ましい。

c) 気候及び気象情報

温度、湿度、降水量、蒸発散量、風向、風速、日射量(例えば、光合成有効放射: photosynthetically active radiation, PAR等)等の気象データを収集する。特に年平均温度及び年降水量については、過去10年以上のデータを収集する。これらの気象データは、沈着モニタリング地点から半径50km以内にある気象観測所から収集される。

気候や気象に関する情報は全てが必須ではない。各観測所の観測体系から利用可能な項目についてのみ収集する。

2.2.1.3. 土壌概要調査

土壌に関する上記の既存情報を用いて、調査地域の土壌を、酸性沈着に対する感受性について、高感受性、中感受性、低感受性に分類し、それぞれのタイプの土壌分布状況を記述する。調査地点(プロット)設定にあたっては、より詳細に土壌分布を把握するため、

必要に応じて実地調査を行う。これらの結果は、地図上に記載し、各土壌の分布面積について記述する。

各土壌種の感受性の基準は、別添 1 に示した。土壌の酸性沈着の中和能は、基岩、土壌種、交換性塩基の含有量、土地の起伏等の諸条件によって、変動する。特に、酸性の基岩を持ち、土壌pHが低く、土壌の塩基飽和度が低く貧栄養である、交換性アルミニウム含量が高いような地域では、酸性沈着に対する感受性が高い傾向がある。そのような地域では、継続的な酸性沈着が植物の生長を抑制する傾向がある。

2.2.1.4. 森林概要調査

植生や土地利用に関する上記の情報に従って、森林の分布と各林分タイプ（例えば群集型など）を明確化する。これらの分布図は、土壌種と関連して評価し、土壌種が異なる林分を特定化する。

2.2.2. 調査地点の設定

2.2.2.1. 地点選定基準

調査地点の選定にあたっては、以下に示す基準を考慮する。調査地点設定イメージは、図2.2.に示した。

- (a) 土壌の酸性沈着に対する感受性が異なる林分を 2 ヶ所選定する（すなわち 2 種類の土壌を選定）。
- (b) 各地点は、1 ヘクタール以上の林分に設定する。適当な緩衝帯に囲まれている場合は、0.2ヘクタールでもよい。
- (c) 長年に渡り（数10年）継続調査が可能な地域、土地利用パターンが変化しない地域が選定されるべきである。
- (d) 共通する樹種あるいは優占種が存在するような 2 つの林分を選定することが望ましい。

Note:

- 選定基準（a）に従って 2 つの調査林を選定した場合、各調査地点と発生源の間の距離も考慮されるべきである。どちらか片方が他方より発生源に近い場合、両地域における発生源や土壌種の影響について評価する必要がある。
- 調査地点が植林地に設定された場合は、施業歴の記録が必要である。
- これらの基準に従うのに困難がある場合は、柔軟な対応が求められるが、基準と異なる点について、明確に記録されるべきである。

2.3. 土壌モニタリング手法

2.3.1. プロットの設定

図 2.2. に示したように、酸性沈着に対する感受性が異なる土壌を持つ 2 つの林分を選定する。各土壌種(林分)において、5 m×5 m から 10 m×10 m の広さのプロットを、数ヶ所、少なくとも 2 ヶ所設定する。

2.3.1.1. 土壌断面調査

プロットの設定のため、土壌断面記載が準備されるべきである。土壌を採取する前に、プロット候補地点の中心近くで断面を記載する。実地手順や調査項目、土壌分類などは、FAOガイドライン (FAO, 1990: 日本語版、森林総合研究所, 1997) に従う。他の調査で異なる基準で実施された結果についても、確認のため、併せて示されることが望ましい。大縮尺の地形図 (例えば 1:1000)、プロット周辺のスケッチ、スケールとともに記録された土壌断面の写真などを、断面記載に添付する。土壌断面記載の結果が予測した通りであれば、後で述べるように、プロットの中に 5 つのサブプロットを選定する。

Note:

- もし、土壌断面が当初の予測と著しく異なる場合は、同じ調査地点 (林分) において、追加して数ヶ所のプロットについて土壌断面調査を実施する。

2.3.1.2. サブプロットの設定

各プロットにおいて、1 m×1 m からなる 5 つのサブプロットを図 2.3. のように中心及び対角線上に選定する。設定場所は、樹幹流の影響を直接受けない土壌試料が得られるように、適宜修正する。

Note:

- 多段階サンプリングと呼べる上記の試料採取手順は、図 2.4. を示す。後に述べるように、この試料採取手順は、精度保証・精度管理上も有用である。

2.3.1.3. 土壌モニタリングプロットの保存

土壌モニタリングを実施している期間は、プロットを取りまく環境を人為的な攪乱がないよう維持をする。

5m × 5m ~ 10m × 10mのサンプリングプロットの場所を特定するステンレスやプラスチックで出来た永久標識を設置する。これは、全ての試料を毎回同じ地域から採取するために重要である。土壌採取によって攪乱された区域は、次回の試料採取の際、未攪乱の区域と区別するために目印を残す。

2.3.1.4. 土壌モニタリングプロットの記録

以下に示すモニタリング地点の一般的記述を報告様式（土壌・植生B）に記述する。地点が、選定基準と著しく異なる特徴を持っている場合は、それらの特徴について記録を残す。

- 1) 詳細な地域名（土地名）や地番。
- 2) モニタリング地点の緯度経度
- 3) 10m 単位での海拔標高
- 4) 斜度（クリノメーターによる）及び南北からの角度
- 5) プロットの平均的な斜度
- 6) 森林のタイプ（天然林、二次林、人工林）
- 7) 施業歴（更新履歴、間伐や枝打ちの記録、施肥や特別な施業歴等）
- 8) 林齢（更新時からの経年。樹齢がそれより大きい場合には、正確な樹齢をカッコ内に記入のこと。）

土壌断面を報告様式（土壌・植生C）に記載する。

2.3.2. モニタリング項目と分析頻度

モニタリング項目、分析頻度及び推奨分析法を下表に示した。水分含量を除く、全ての項目は、室内再現条件（時間、人、機器等のうち、1つあるいは全てが異なる実験条件）で2回繰り返し分析を実施する。なお、交換性 AI 及び H は、EANET モニタリングでは選択項目になっているが、我が国においては、必須項目として扱うこととする。

表 2.1. 土壌モニタリング項目

項目	単位	優先順位	分析頻度
土壌化学特性			
a) 水分含量	wt%	M	3-5年毎
b) pH (H ₂ O) and pH (KCl)		M	
c) 交換性陽イオン (Ca, Mg, K, Na)	cmol(+) kg ⁻¹	M	
d) 交換性酸度	cmol(+) kg ⁻¹	M	
e) 交換性 Al, H	cmol(+) kg ⁻¹	M	
f) 有効陽イオン交換容量 (ECEC)	cmol(+) kg ⁻¹	M	
g) 炭酸塩含量 (石灰質土壌のみ)	%CaCO ₃	M*	
h) 全炭素	g kg ⁻¹	O	
i) 全窒素	g kg ⁻¹	O	
j) 有効態リン酸塩	P mg kg ⁻¹	V	
k) 硫酸塩	S mg kg ⁻¹	V	
土壌物理特性			
a) 土壌密度	Mg m ⁻³	O	
b) 土壌硬度 (フィールド調査時)	kg cm ⁻²	O	

M: 必須項目; O: 選択項目; V: 自発的項目. 石灰質土壌を分析する場合には、必須項目に炭酸塩含量分析も含む。

表 2.2. 土壌モニタリングにおける分析使用機器と分析方法

項目	機器/methods
土壌化学特性	
a) 水分含量	乾燥機, 天秤
b) pH (H ₂ O) and pH (KCl)	pH ガラス電極
c) 交換性陽イオン (Ca, Mg, K, Na)	原子吸光度法, ICP-AES or ICP-MS (CH ₃ COONH ₄ 抽出)
d) 交換性酸度	滴定法 (KCl 抽出)
e) 交換性 Al, H	同上
f) 有効陽イオン交換容量 (ECEC)	計算 (交換性陽イオンの総和)
g) 炭酸塩含量 (石灰質土壌のみ)	定量石灰測定法
h) 全炭素	滴定法 (Walkley-Black method) or CN-アナライザー
i) 全窒素	滴定法 (Kjeldahl method) or CN-アナライザー
j) 有効態リン酸	分光光度法 (Bray-1 test)
k) 硫酸塩	比濁法, IC, ICP-AES or ICP-MS
土壌物理特性	
a) 土壌密度	採土器, 乾燥機, 天秤
b) 土壌硬度 (フィールド調査時)	簡易硬度計

2.3.3. 土壌採取方法

各サブプロットにおいて、リター層（落葉層：O層またはA0層）を除いた後、1～2kg^{注)}の土壌試料を、決まった深さから採取する。表層（0-10cm）及び次層（10-20cm）の2層をそれぞれ、ショベルまたは金属製の採取筒で採取する。試料は、層全体から均等に採取するよう注意する（サブプロットであっても、深さ30cm程度の土壌断面を作成し、断面から各層を均等にブロック上に採取する。次層の採取にあたって、表層土壌が混入しないよう十分注意する。）。

注) 土壌採取量については、巻末資料も参照のこと。

中心のサブプロットにおいては、土壌断面記載を行った穴の断面より土壌試料を採取する。各対角線上のサブプロットについては、適当な大きさの穴を掘削し、試料を採取する。次の試料採取より、中心のサブプロットにおいても、同様の手順で実施する（次回より断面記載の必要はない）。

Note:

- 土壌層が薄い場合、酸性沈着に対する感受性が高い可能性がある。土壌層が極度に薄い（例えば5cm未満）場合、各土壌層位を化学分析のため採取すべきである。
- 表層でのわずかな化学性の変化を捉えるため、表層（0-10cm）はさらに2層（0-5cm、5-10cm）に分けて分析することが望ましい。

表 2.3. 土壌採取方法

	(標準)	(推奨)	土壌層 < ca.5cm
表層	0-10cm	0-5cm 5-10cm	層位別に採取 例: A層及びB層
次層	10-20cm	10-20cm	

2.3.4. 土壌試料の前処理

採取した土壌試料は、風乾後、2mm目の篩（円孔が望ましい）にかける。篩がけにあたっては、シリコンゴム栓等を用いて、レキ等を無理に破碎しないよう注意する。2mm以上の、レキ、根及び植物遺体は、手作業で除く。化学分析に微細土が必要な場合は、分析直前にメノウ乳鉢等を用いて粉碎する。

2.3.5. 土壌化学特性の分析

各分析法には、シリアル番号が付けられ、土壌化学特性分析では「SA-001」、物理特性分析では「SA-101」から始まっている。

a) 水分含量（必須項目）

Method SA-001
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

土壌分析の計算の際には、土壌の乾燥重量を用いる。土壌化学分析を実施する前に、水分含量を測定する。

II. 器具

1. 蓋付き秤量缶又はフラスコ
2. 乾燥機

III. 操作手順

水分含量については、各試料に対して3検体測定を実施する。

1. 風乾土壌試料約5gを0.001g単位で重量測定した秤量缶に採取、土壌の重量を測定する（この時の土壌重量をA gとする）。
2. 105℃に設定した乾燥機で1晩乾燥する（このとき蓋は外す）。
3. 乾燥機から秤量缶を取り出し、蓋を被せる。デシケーター内で室温まで放冷した後、秤量缶の重量を測定する（この時の重量をB gとする）。

IV. 計算

水分含量 wt% (w / w) は以下のように計算する。

$$\text{含水比 (wt\%)} = [(A-B) / (B-\text{秤量缶の重量})] \times 100$$

分析値を計算する際には、対応する乗数として水分補正係数 (mcf: moisture correction factor) を用いる。算出方法は以下のとおり。

$$\text{水分補正係数} = (100 + \text{含水比 (wt\%)}) / 100$$

V. 結果報告

水分含量 wt% (w / w)は小数点以下1桁まで報告する。全ての分析データは水分補正係数で補正し、オープンでの乾燥した土壌当たりの分析値として報告する。

b) pH (H₂O), pH (KCl) (必須項目)

Method SA-002
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

土壌 pH とは、土壌と溶液の比率が 1 : 2.5 の懸濁液上清の pH で、電位差的に測定される。溶液としては純水 (pH(H₂O)) 又は 1 M KCl 溶液(pH(KCl))を用いる。

II. 装置

1. ガラス複合電極を装備した pH メーター
2. 振とう器.

III. 試薬

1. 1 M (mol/L) 塩化カリウム溶液: 粉末塩化カリウム 74.5 g を純水に溶解し 1 リットルにする。
2. pH 標準液、pH 4.00, 6.86 and 9.18 等: 市販品を利用する。

IV. 操作手順

1. 風乾土壌試料 20 g を 100 ml ポリエチレン製広口ボトルに採取する。
2. 純水又は 1 M 塩化カリウム溶液 50 ml を加え、ボトルのキャップを閉める。
3. 振とう器で 2 時間振とうする。
4. 測定のためキャップを空ける前に、手で軽く 1,2 回ボトルを振る。
5. 土壌懸濁液の上部にガラス電極を入れる。
6. 指示値が安定したら、0.1 単位で値を読み取る。

Note: 指示値が 30 秒間で 0.1 (又は 5 秒間で 0.02) 変化しない場合は、安定しているとみなす。石灰質土壌については、非平衡状態にあるため、安定し難い傾向にある。

V. 注釈

1. 測定前に、当該土壌試料の測定レンジに対応した pH 標準液を用いて pH メーターを校正する。そうしなかった場合、校正線の傾きが異なるため、校正レンジから外れた測定値は間違った結果を生む可能性がある。
2. pH 標準液は長期間保存しない。特に pH 9.18 等の標準液は炭酸ガスを吸収し易いため標準液として信頼性が失われやすい傾向にある。

VI. 結果報告

pH 値は、精度 0.1 単位で報告する。

c) 交換性陽イオン (Ex-Ca, Mg, K, Na) (必須項目)

Method SA-003
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

酢酸アンモニウム溶液で、土壤中の交換性陽イオン (EX-Ca, Mg, K, Na) を交換・浸出し、浸出溶液中の塩基を測定する。以下に 2 つの浸出方法を示すが原理は同じである。

1. 土壤浸出管法
2. 自動抽出器法

その他の抽出方法

1. **ブフナーロート法:** 風乾土壌を酢酸アンモニウム溶液と一定時間混合することで土壌中の交換性陽イオンを交換・抽出し、55 mm ブフナーロート又はパイレックス製ブフナーロート(Corning size No. 40) を用いて吸引ろ過し、抽出液を得る方法。この方法の詳細については、Method of Soil Analysis, Part 2, p. 160, American Society of Agronomy, 1982 に記載されている。
2. **遠心法:** この方法についても、Method of Soil Analysis, Part 2, p. 161, American Society of Agronomy, 1982 に記載されている。

II. 装置

1. 直径 2-2.5 cm、長さ 30cm 程度の土壤浸出管 (又は 60 ml シリンダー)、ゴム栓、受け器、ストップコック等
又は自動抽出機 (Holmgren et al, 1977)
2. pH メーター
3. 原子吸光度計又は ICP-AES/ICP-MS

III. 試薬

熱処理した洗浄済みの海砂、脱脂綿 (土壤浸出管の場合)

スタンダードグレードの濾過パルプ (自動抽出機の場合)

1. 1 M 酢酸アンモニウム溶液: 粉末酢酸アンモニウム 385 g を純水で溶かし 5 リットルにする。溶液に 1 M アンモニアか酢酸を加えて pH 7.0 調製する。石灰質土壌を分析する場合、1 M 酢酸アンモニウム溶液を pH 8.2 に調製する。

IV. 操作手順

1. 浸出

最初に 1) 土壌浸出管法について、次に 2) 自動抽出機法について記載する。

1) 土壌浸出管法

1)-1 浸出

1. 土壌浸出管をスタンド等に垂直に備え付ける。
2. 土壌浸出管の底部に脱脂綿の小片を詰め、プランジャー等を用いて圧縮する。薬さじ 2 杯 (約 10 g) の海砂を浸出管に入れ、1 cm 程度の層を作製する。
3. 磁器製の器に土壌試料 5 g を採取し、25 g の海砂を加えて十分に混合する。
4. 土壌試料と海砂の混合物をロスのないように土壌浸出管に充填し、その表面を棒等で平にする。
5. 土壌試料の拡散や目詰まりを防止するために、その上に薬さじ 2 杯 (約 10 g) の海砂を入れて、土壌試料をカバーする 1 cm の層を作製する。土壌試料を含まない約 25g の海砂のみのブランク 2 つと参照試料も用意する。

1)-2 交換性陽イオン

土壌中に水溶性イオンが多量に存在する場合は、交換性陽イオンが過剰に見積もられる可能性がある。そこで、本方法では水溶性イオンが存在する場合としない場合で、操作方法を区別する。一般的には土壌 pH (H₂O) の懸濁液の電気伝導率を測定して、水溶性イオンによる影響を確認する。

- a. 土壌懸濁液(H₂O)の 25 ml での電気伝導率 > 0.5 mS/cm: 前処理として洗浄を行う。
- b. 土壌懸濁液(H₂O)の 25 ml での電気伝導率 < 0.5 mS/cm: 水溶性イオンは無視でき、前処理の洗浄は必要ない。

注意: 前処理洗浄により溶出した水溶性イオンは、いわゆる減少比率 (塩吸着比率 Sodium Adsorption Ratio, SAR) を変化させる。その結果、誤差を生む土壌内交換態の構成に変化が生じる (希釈により 1 価の陽イオンの存在比が減少する)。水溶性イオンによる誤差が予想以上に大きい場合、交換性陽イオンの算出は不可能となる。

a. 土壌懸濁液 (H₂O) の 25 ml での電気伝導率 > 0.5 mS/cm の場合 (前処理洗浄あり)

1. 土壌浸出管の下端の栓を開き、その下に 150 ml 程度のビーカーを置く。
2. 80 % エタノールをほぼ標線まで満たした 100 ml メスフラスコから 25 ml 取り、土壌試料の入った土壌浸出管に加える。
3. 最初の 1 滴が土壌浸出管の下端より出たら、栓を閉じる (最初の 1 滴が出るまで、土壌試料中の気泡抜きのため、栓は開いておく)。
4. 土壌試料中に気泡がないか確認し、必要ならば土壌浸出管を軽く叩いて取除く。それでも除去できない場合は、幅のある標本針を土壌試料中に入れて注意深く攪拌する。20 分

間放置する。

5. 残りのエタノールが入ったメスフラスコを上下逆さにし、土壌浸出管の上に置く。
Note: シリンジのような短めの浸出管を使用する場合、メスフラスコはスタンド等で固定する。フラスコの口から試料上端までの距離を 5cm 程度にする。
6. 土壌浸出管の下端の栓を開き 100 ml を 2 時間程度で浸出する（流速 20 滴/1 分）
7. 洗浄液を廃棄し、新たなメスフラスコを土壌浸出管の下に置く。
8. 1 M 酢酸アンモニウムをほぼ標線まで満たした 100 ml メスフラスコから 25 ml 取り、土壌浸出管に加え、メスフラスコを上下逆さにし土壌浸出管の上に置く。
9. 100 ml を 4 時間程度で浸出する（流速 10 滴/1 分）
10. 抽出液を 1 M 酢酸アンモニウムを加えて定量とし、均一にする。
11. 抽出された交換性陽イオンを原子吸光度計、ICP-AES 等で測定する。

b. 土壌懸濁液 (H₂O) の 25 での電気伝導率 < 0.5 mS/cm の場合 (前処理洗浄なし)

1. 土壌浸出管の下端の栓を開き、その下に 100 ml のメスフラスコを置く。
2. 1 M 酢酸アンモニウムをほぼ標線まで満たした 100 ml メスフラスコから 25 ml 取り、土壌浸出管に加える。
3. 最初の 1 滴が土壌浸出管の下端より出たら、栓を閉じる（最初の 1 滴が出るまで、土壌試料中の気泡抜きのため、栓は開いておく）。
4. 土壌試料中に気泡がないか確認し、必要ならば土壌浸出管を軽く叩いて取除く。それでも除去できない場合は、幅のある標本針を土壌試料中に入れて注意深く攪拌する。20 分間放置する。
5. 残りの 1 M 酢酸アンモニウムが入ったメスフラスコを上下逆さにし土壌浸出管の上に置き、20 分間放置する。
Note: シリンジのような短めの浸出管を使用する場合、メスフラスコはスタンド等で固定する。フラスコの口から試料上端までの距離を 5cm 程度にする。
6. 100 ml を 4 時間程度で浸出する（流速 10 滴/1 分）
7. 抽出液を 1 M 酢酸アンモニウムを加えて定量とし、均一にする。
8. 抽出された交換性陽イオンは原子吸光度計又は ICP で測定する。

2) 自動抽出器法

2)-1 浸出

1. 試料管に 1 g のろ過用パルプを入れ底部を閉め、プランジャー等でパルプを圧縮する。
2. 試料管に風乾土壌 2.5 g（正確さ 0.01g）を入れ、自動抽出器の上部ディスクに設置する。
必要ならば、試料の厚さが一定となるように薬さじを用いて試料面を平らにする。このとき参照試料と 2 つのブランクも用意する。
3. 抽出器の固定ディスクのスロットに差し込まれているプランジャーの捕集筒を試料管と

連結する。

2)-2 交換性陽イオン

土壤中に水溶性イオンが多量に存在する場合は、交換性陽イオンが過剰に見積もられる可能性がある。そこで、本方法では水溶性イオンが存在する場合としない場合で、操作方法を区別する。一般的には土壌 pH (H₂O) の懸濁液の電気伝導率を測定して、水溶性イオンによる影響を確認する。

- a. 土壌懸濁液 (H₂O) の 25 ml での電気伝導率 > 0.5 mS/cm: 前処理として洗浄を行う。
- b. 土壌懸濁液 (H₂O) の 25 ml での電気伝導率 < 0.5 mS/cm: 水溶性イオンは無視でき、前処理の洗浄は必要ない。

注意: 前処理洗浄により溶出した水溶性イオンは、減少比率 (塩吸着比率 Sodium Adsorption Ratio, SAR) と呼ばれ、その結果、誤差を生む土壌内交換態の構成に変化が生じる (希釈により 1 価の陽イオンの存在比が減少する)。水溶性イオンによる誤差が推定範囲以上に大きい場合、交換性陽イオンの算出は不可能となる。

a. 土壌懸濁液 (H₂O) の 25 ml での電気伝導率 > 0.5 mS/cm の場合 (前処理洗浄あり)

1. 洗浄ピンを用いて 80 % エタノールで土壌試料の入った試料管の壁面を洗浄する。
2. 80 % エタノールを試料管の 25 ml の目盛りまで慎重に満たし、20 分間おく。必要な場合はさらに 80 % エタノールを 25 ml の目盛りまで入れ、試料管の上部にリザーバー管を付ける。80 % エタノールを約 40 ml 入れ、抽出器をスタートさせ、2 時間でろ過を完了する。
3. リザーバー管と捕集筒を外し、ろ液を廃棄する。洗浄済みの捕集筒を付け、step b の 2 の操作に進む。

b. If EC25 < 0.5 mS/cm (no pre-washing)

1. 洗浄ピンを用いて 1 M 酢酸アンモニウムで土壌試料の入った試料管の壁面を洗浄する。
2. 1 M 酢酸アンモニウムを試料管の 25 ml の目盛りまで慎重に満たし、20 分間おく。
Note: 前処理洗浄した場合は、20 分間おく必要はない。
3. 必要な場合はさらに 1 M 酢酸アンモニウムを 25 ml の目盛りまで入れ、試料管の上部にリザーバー管を付ける。1 M 酢酸アンモニウムを 40 ml 入れ抽出器をスタートさせ、8 時間で完了する。
4. 捕集筒を取り外し、抽出液を漏れなく 100 ml のメスフラスコに移し、1 M 酢酸アンモニウムで定容とする。
5. 抽出された交換性陽イオンは原子吸光度計、ICP-AES 等で測定する。

V. 算出

交換性 Ca (cmol (+) / kg soil) = [(a-b) × c × 100 × mcf] / [10 × 20.04 × s]

交換性 Mg (cmol (+) / kg soil) = [(a-b) × c × 100 × mcf] / [10 × 12.15 × s]

交換性 K (cmol (+) / kg soil) = [(a-b) × c × 100 × mcf] / [10 × 39.10 × s]

交換性 Na (cmol (+) / kg soil) = [(a-b) × c × 100 × mcf] / [10 × 23.00 × s]

塩基飽和度 = [交換性(Ca + Mg + K + Na) / 有効陽イオン交換容量] × 100

a = 土壌試料の抽出液を希釈して測定した時の濃度、単位 (mg/L)

b = ブランクの抽出液を希釈して測定した時の濃度、単位 (mg/L)

c = 測定に用いた抽出液の希釈倍率

s = 風乾土壌当たりの重量、単位 (g)

mcf = 水分補正係数

VI. 結果報告

交換性陽イオンは単位 cmol (+) / kg soil、塩基飽和度は単位%、それぞれ有効数字 2 桁で報告する。

VII. 注釈

石灰質土壌等について上記方法で交換性陽イオンを測定すると、(他の多くの方法を用いた場合と同様に) 誤った結果を導く。とりわけ炭酸塩の溶解が交換性 Ca 濃度の定量に影響する(過剰な見積もり)。このような場合、酢酸アンモニウム抽出液の pH を 7.0 から 8.2 に上げると土壌試料中の炭酸 Ca 塩や炭酸 Mg 塩の溶解度が減少するため、結果を改善できる。また、酢酸緩衝液 (pH 7) / エタノール混合溶液 (例 混合比 1 : 1) でも同様の効果が得られる。しかし、これらの方法を用いても炭酸 Ca 塩や炭酸 Mg 塩の溶解度をゼロになることはなく、結果には不確実さが含まれる。改良変法としては、チオ尿素銀法が挙げられよう (Procedure for Soil Analysis, fourth edition, p10-1, ISRIC, 1993)。

交換性陽イオンは、有効陽イオン交換量 (Effective Cation Exchangeable Capacity (ECEC)) を算出する際に必要となる。

電気伝導率の測定 (ISRIC 1993)

I. 器具

1. ディップ型電極又はピペット型電極を装備した電気伝導率計

II. 試薬

1. 0.01 M 標準塩化カリウム溶液 : 市販の 0.100 M 塩化カリウム標準溶液用アンブルを説明書に従って希釈する。0.100 M 塩化カリウム溶液、10 ml を 100 ml メスフラスコに取り純

水で定容とする。若しくは、105 度の乾燥機で乾燥した塩化カリウム 0.7456 g を 1 L のメスフラスコに取り、純水で定容とする。

III. 電気伝導率計と電極の校正

1. 0.01 M 標準塩化カリウム溶液 30 ml を 50 ml ビーカーに取り水温を測定する。
2. 電極を 0.01 M 標準塩化カリウム溶液で共液洗浄する。洗浄後、ピペット型電極の場合は 0.01 M 標準塩化カリウム溶液を電極内に満たす。ディップ型電極の場合は、0.01 M 標準塩化カリウム溶液のなかに電極を浸す。
3. 電気伝導率計の温度補正ダイヤルを測定温度に設定し、セル定数ダイヤルで指示値を 1.412 mS/cm に合わせる。

IV. 測定

1. 抽出液の水温を測定し、温度補正ダイヤルを測定温度に設定する(指示値は自動的に 25 での値を表示する)。
2. 飽和抽出液を測定する場合、測定毎に電極を洗浄するため、抽出液を電極内に満たし、そして純水及びアセトンで洗浄し圧搾空気で乾燥しても構わない。

d) 交換酸度 (必須項目)

Method SA-004
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理 Principle

土壤試料を 1 M 塩化カリウム溶液で交換浸出し、その抽出液の酸度を滴定測定する。

II. 装置

1. ビュレット

III. 試薬

1. 1 M 塩化カリウム溶液：塩化カリウム 373 g を純水で溶かし 5 L とする。
2. 0.02 M 塩酸 (標準溶液)：市販の標準用濃縮アンブル (例、1 g/1 L) を説明書に従って希釈する。
3. 0.025 M 水酸化ナトリウム：固形水酸化ナトリウム 1 g を 1L のメスフラスコを用いて純水に溶かす。冷却した後、定容とする。0.02 M 塩酸 (標準溶液) で標定する。
Note: 標準用濃縮アンブルを希釈し調製することも可能である。この場合は、使用する直前に標定する必要がある。水酸化ナトリウム標準溶液の使用可能期間は限られているので、保存後は再標定する必要がある。炭酸ガスの吸収の影響は、蓋を頻繁に開けることで抑えられる。
4. 0.1 % フェノールフタレイン指示薬：粉末フェノールフタレイン 100 mg を 96 % エタノール 100 ml に溶かす。

IV. 操作手順

1. 浸出

- A. ろ紙を付けたロートに風乾土壌 10 g (測定精度 0.05 g) を入れる。ロートの下に 100 ml メスフラスコを置く。土壤試料を入れない、ブランク用を 2 つ作製する。
- B. 土壤試料に 1 M 塩化カリウム溶液 10 ml を 15 分おきに、10 回加え、抽出する。所要時間は 2 時間 30 分。
- C. 浸出終了後ロートを取除き、1 M 塩化カリウム溶液で 100ml に定容とし、抽出液を均一にする。

2. 交換酸度の決定

- A. 250 ml の三角フラスコに抽出液 25 ml をピペットで取り、フェノールフタレイン指示薬を 3~5 滴加える。

B. 0.025 M 水酸化ナトリウムで抽出液の色が完全なピンクになるまで滴定する（色の変化がないか1分程度待機）。

Note 1: 水酸化アルミニウムの沈殿により、抽出液の色（ピンク）が薄くなることもある。この場合はフェノールフタレインをもう1滴加えることで改善できる。

Note 2: 自動滴定装置の場合、終点を pH 7.60 に設定する。

V. 計算

$$\text{交換酸度}(\text{cmol (+) / kg soil}) = [(a-b) \times M \times 4 \times 100 \times \text{mcf}] / s$$

a = 抽出液に用いた水酸化ナトリウムの滴定量、単位（mL）

b = ブランクに用いた水酸化ナトリウムの滴定量、単位（mL）

M = 水酸化ナトリウム滴定液のモル濃度（M）

s = 風乾土壌の重量、単位（g）

4 = 分取ファクター（ここでは抽出液 100ml の 25ml を用いたため）

mcf = 水分補正係数

VI. 結果報告

交換酸度は単位 cmol (+)/ kg soil、有効数字 2 桁で報告する。

e) 交換性 Al と交換性 H (これらの和が交換性酸度と等しい)(必須項目)

Method SA-005
Reference Methods: Method of Soil Analysis (1965), p. 994.
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

1 M 塩化カリウム溶液 (緩衝液ではない) を用いて、土壌内の交換性 Al 及び交換性 H を遊離させる。抽出された交換性 Al 及び交換性 H は滴定法より各々測定できる。

II. 装置

1. ビュレット

III. 試薬

1. 0.1 M 塩酸：市販の標準用濃縮アンブル (例、1 g/1 L) を説明書に従って希釈する。
2. 0.1 M 水酸化ナトリウム溶液：固形水酸化ナトリウム 4 g を 1L メスフラスコを用いて純水に溶かし、冷却した後、定容とする。0.1 M 塩酸 (標準溶液) で標定する。
3. フッ化ナトリウム溶液：粉末フッ化ナトリウム 40 g を純水 1L に溶かす。
4. 0.1 % フェノールフタレイン指示薬：粉末フェノールフタレイン 100 mg を 96 % エタノール 100 ml に溶かす。

IV. 操作手順

1. d) に示した方法により得た塩化カリウム抽出液 (交換性 Al と交換性 H を含んでいる) を適量ピペットで 250ml ビーカーに分取し、0.1 % フェノールフタレイン指示薬を 5 滴加える。
2. 0.1 M 水酸化ナトリウム溶液^{注)} で抽出液の色が完全なピンク (終点) になるまで滴定する。滴定は攪拌しながら行う。必要ならば、水酸化アルミニウムの沈殿により抽出液の色 (ピンク) が薄くなることがあるので、フェノールフタレインをもう数滴加える。滴下した塩基の当量 (水酸化ナトリウム) と分取した抽出液中の酸度の当量は等しくなる。
3. 抽出液を無色 (酸性) にするため、0.1 M 塩酸を 1 滴加え、その後フッ化ナトリウム溶液 10 ml を加えると、再発色する。
4. 0.1 M 塩酸で抽出液が無色になるまで滴定する。滴定は攪拌しながら行う。そしてフェノールフタレインを 1,2 滴加える。発色した時は、2 分以内に発色しなくなるまで塩酸で滴定する。

V. 計算

$$\text{交換性 Al (cmol (+) / kg soil)} = [b \times \text{M HCl} \times c \times 100 \times \text{mcf}] / s$$

交換性 H (cmol (+) / kg soil) = [(a × MNaOH - b × MHCl) × 4 × 100 × mcf] / s

a = 水酸化ナトリウムの滴定量、単位 (mL)

b = 塩酸の滴定量、単位 (mL)

MHCl = 塩酸のモル濃度、単位 (M)

MNaOH = 水酸化ナトリウム溶液のモル濃度、単位 (M)

s = 風乾土壌の重量、単位 (g)

4 = 分取ファクター (ここでは抽出液 100ml の 25ml を用いたため)

mcf = 水分補正係数

VI. 注釈

交換性 Al の測定には、比色法、原子吸光度法や ICP も用いられる。これらの方法については、Method of Soil Analysis; Part 3-Chemical Methods p. 538, Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA., 1996 に記載されている。

VII. 結果報告

交換性 Al と交換性 H は単位 cmol (+) / kg soil、有効数字 2 桁で報告する。

注) 滴定に用いる水酸化ナトリウム溶液の濃度は、交換酸度で用いた 0.025M に揃えることが望ましい。

f) 有効陽イオン交換容量 (ECEC)(必須項目)

Method SA-006
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

有効陽イオン交換容量の考え方は、1959年にColemanらにより、1M塩化カリウム溶液で土壌を交換浸出した場合に得られる交換性Ca, Mg, Alの和として定義され、その後交換性Na, Kについても加えられるようになった。非塩類・非石灰質土壌においては、数種類の一般的な土壌抽出液を用いて抽出される交換性陽イオンの総量はほぼ等しいことが証明されている(Grove *et al.*, 1982)。よって、塩類や炭酸塩を含まない土壌においては、この方法を用いて陽イオン交換容量を推定することが可能である。

II. 装置

装置のリストは、c) 交換性陽イオン、d) 交換性酸度又はe) 交換性Alと交換性Hに示したとおり。

III. 試薬

試薬のリストは、c) 交換性陽イオン、d) 交換性酸度又はe) 交換性Alと交換性Hに示したとおり。

IV. 操作手順

交換性Ca, Mg, K, Na, Alは原子吸光度法、蛍光光度法、ICP又は滴定法で測定する。

V. 計算

$$\text{ECEC} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{交換性酸度}$$

$$\text{ECEC} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Al} + \text{H}$$

$$\text{Ca} = \text{交換性 Ca の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

$$\text{Mg} = \text{交換性 Mg の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

$$\text{K} = \text{交換性 K の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

$$\text{Na} = \text{交換性 Na の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

$$\text{Al} = \text{交換性 Al の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

$$\text{H} = \text{交換性 H の濃度 (cmol (+) / kg soil)}$$

有効陽イオン交換容量の算出に際し、13～19ページに記述した方法で求めた交換性陽イオ

ンの結果と 20~21 ページに記述した交換性酸度（又は 22~23 ページの交換性 AI と交換性 H）の結果を用いること。

VI. 結果報告

有効陽イオン交換容量は単位 $\text{cmol (+) / kg soil}$ で、有効数字 2 桁で報告する。

VII. 注釈

多くの土壌において、1 M 酢酸アンモニウム、0.2 M 塩化アンモニウム、0.2 M 塩化バリウム、0.2 M 塩化カルシウム、1 M 塩化バリウム-TEA や 0.01 M 塩化ストロンチウム等で抽出した塩基性陽イオンの和に、1 M 塩化カリウムや 0.2 M 塩化アンモニウムで抽出したアルミニウムを加えた合計の値はほぼ同じであり、このことから有効陽イオン交換容量の算出に際し、多くの抽出溶液が適することを示している。

g) 炭酸塩含量 (pH(H₂O) > 7 の場合、必須項目)

Method SA-007
Reference Methods: SSSA 1996
Method suitable for Mineral Horizon

下記のカルシメーターがない場合、別添 2 に記載された簡便法を用いても良い。

I. 原理

土壌試料を強酸で処理し、炭酸ガスの減少分を容量で測定する。

II. 装置

1. 定容カルシメーター (Volumetric calcimeter、 Dreimanis 1962): 定容カルシメーターの概略は図 2.5. に示すとおり。基本構成は(A) 2 穴のゴム栓付き 250 ml 丸底フラスコ、(B) コック付きの 25 ml ガラス管、(C)三方コック、(D)マノメーター、(E)レベル調節バルブ、の 5 点からなる。連結部分はタイゴンチューブを用いる。
2. マグネティックスターラー

III. 試薬

1. 5 % (w/v) 塩化鉄 (II) - 6 M 塩酸 : 500 ml 濃塩酸を 400 ml 純水に加え、さらに 50 g の塩化鉄 (II) 四水和物を加え 1L とする。
2. n-アミルアルコール
3. 炭酸カルシウム (試薬特級)

IV. 操作手順

1. カルシメーターの校正

- A. 極めの細かな試薬特級の炭酸カルシウム (100 メッシュの篩 (150 μ m のポアサイズ) を通過できる大きさ粒子) を 0.1 mg 単位で各分解フラスコに秤量する。各々 10, 20, 30, 50, 75, 150, 200, 300, 400, 600, 800 mg の炭酸カルシウムを秤量するのが望ましい。
- B. 回転子をフラスコに入れ、アミルアルコールを 2 滴加える。
- C. 炭酸カルシウムの入ったフラスコを装置に設置し、目盛り付きガラス管(B)に塩化鉄 (II) 塩酸溶液を 25mL のところまで満たす。
- D. 3 方コック(C)を開き装置内を大気圧下とする。レベル調整バルブ(E)の高さを調節して計測管(D)の液面を正確に 0 ml に調整する。
- E. 3 方コック(C)を閉め (180 度回転) 装置内を大気圧下とし、レベル調節バルブ(E)の高さを 2cm 低くする。
- F. 塩化鉄 (II) 塩酸溶液を試料 (炭酸カルシウム) に、滴下し始めると同時に、レベル調節バルブ(E)を下げ始める。レベル調整バルブ(E)の液面は常に計測管(D)の液面よりも

1~2cm 下げしておく。

- G. 試料が十分に湿潤した後に回転子をゆっくりと動かす。
- H. 塩化鉄(II) 塩酸溶液 20 ml を滴下後、ガラス管(B)のコックを閉める。
- I. ガス計測管の液面が降下しなくなったら(通常 3 分以内)、レベル調節バルブ(E)の液面と計測管(D)の液面を同じ高さに揃え、発生した炭酸ガスの容積を記録する。また、そのときの温度(T)と気圧(P)を記録する。

2. 土壌中の全炭酸塩の決定

- A. 100 メッシュの篩(150- μm ポアサイズ)に通るように粉碎した土壌 0.5~5.0 g \pm 0.1 mg を分解フラスコ(A)に秤量する。土壌試料には 600 mg 相当以上の炭酸カルシウムを含んでないこと。
- B. 上記の B から I の手順を実施する。土壌試料がドロマイトを含む場合、反応時間を長くする必要がある。

3. 計算

1) カルシメーターの校正

- A. 以下のように、試薬ブランクの平均炭酸ガス容積を差し引き、標準試料の炭酸ガス容積を補正する(これを補正炭酸ガス容積とする)。

$$V\text{CO}_2(\text{corr}) = V\text{CO}_2(\text{std}) - V\text{CO}_2(\text{blank})$$

- B. 以下の式により、全ての補正炭酸ガス容積を標準状態(273K, 760mmHg)に換算する。

$$V\text{CO}_2(\text{STP}) = V\text{CO}_2(\text{corr}) (273 \text{ K} / T \text{ K}) (P \text{ mmHg} / 760 \text{ mmHg})$$

- C. 以下の式により、炭酸ガス容積($V\text{CO}_2(\text{STP})$)の値から計算上の炭酸カルシウム量, $W\text{caco}_3(\text{cal})$ を求める。

$$W\text{caco}_3(\text{cal}) = [V\text{CO}_2(\text{STP})] (100 \text{ g CaCO}_3 \text{ mol}^{-1} / 22.414 \text{ L mol}^{-1}) (1 \text{ L} / 1000 \text{ mL})$$

- D. X軸に $W\text{caco}_3(\text{cal})$ を、Y軸に実際に用いた炭酸カルシウム量, $W\text{caco}_3$ をとりプロットする。このとき、プロットはある直線に近づく。傾き C は実際と計算上の炭酸カルシウム量間の補正係数である。係数 C は、1 以下の値となるべきであり、分析条件下での塩酸分解溶液中の残存炭酸ガス量に関係している。

$$W\text{caco}_3 = (C) [W\text{caco}_3(\text{cal})]$$

2) 土壌中の炭酸塩量の決定

A. 標準状態での土壌試料中の炭酸ガス容積 (The $V_{CO_2}(STP)$) を上記 A と B に従って計算する。

B. 以下の式により、炭酸カルシウム量を計算する。

$$W_{CaCO_3} = (c) [V_{CO_2}(STP)] (100 \text{ g CaCO}_3 \text{ mol}^{-1} / 22.414 \text{ L mol}^{-1}) (1 \text{ L} / 1000 \text{ mL})$$

C. 以下のように、土壌試料重量当たりの炭酸カルシウム量比を計算する。

$$\text{CaCO}_3 \text{ equivalent, \%} = (W_{CaCO_3} \text{ g} / W_{\text{soil}} \text{ g}) (100)$$

V. 結果報告

炭酸塩量は単位%で、小数点第1位までの値を報告する。

h) 全炭素 (有機態炭素含量) (選択項目)

Method SA-008
Reference Methods: ISRIC 1993
Method suitable for Mineral Horizon

土壌中の有機態炭素量を求める方法には乾式酸化法と湿式酸化法に基づくものがある。乾式酸化法は、市販されている CN アナライザーを用いて半自動的に行われる。一方、湿式酸化法では、日常分析での簡便さから Walkley-Black の方法が汎用されている。

I. 原理

Walkley-Black 法は下記に示すとおりである。この方法では、重クロム酸カリウムと硫酸混合溶液を用いて 125 度で土壌中の有機物を湿式酸化する。この反応で使用されなかった重クロム酸カリウムを硫酸鉄溶液で滴定する。

II. 装置

1. ビュレット
2. 安全ピペット
3. 色つきのマグネット回転子
4. 25 ml メスシリンダー

III. 試薬

1. 0.1667 M 重クロム酸カリウム標準液：105 度で乾燥させた重クロム酸カリウム $K_2Cr_2O_7$ 49.04 g を 1 L メスフラスコに入れ純水で溶かし定容とする。
2. 濃硫酸 (96%)
3. 濃リン酸 (85%)
4. 0.16 % 4 - ジフェニルアミンスルホン酸バリウム溶液 (指示薬)：4 - ジフェニルアミンスルホン酸バリウム 1.6 g を 1 L の純水に溶かす。
5. 1 M 硫酸鉄溶液：硫酸鉄 (II) 七水和物 278 g を 750 ml 程度の純水に溶かし、15 ml 硫酸を加える。これを 1 L のメスフラスコに移し定容とする。

IV. 操作手順

1. 風乾土壌 5 g をメノウ乳鉢で粉碎し、0.5 mm 目の篩を通す。
2. 上記試料 1 g を 0.01 g 単位で取り 500 ml 広口三角フラスコに入れる。このとき標準試料についても作成する。
Note: 土壌試料が 2.5 % 以上の炭素を含む場合は、試料量を減らす。
3. 重クロム酸カリウム溶液 10 ml を加える。このとき、硫酸鉄溶液を標定するために重クロム酸カリウム溶液のみのブランクを 2 つ作成する。
4. メスシリンダーに濃硫酸 20 ml を取り、慎重に試料等の入ったフラスコに加え攪拌する。

ドラフト内にて断熱パッドの上に乗せ 30 分放置する。

5. 250 ml の純水とメスシリンダーで 10 ml 濃リン酸を加えて冷却する。
6. 指示薬を 1 ml 加えて、攪拌しながら硫酸鉄溶液で滴定する。終点付近では溶液の色が茶色から紫又は青紫色にかわり、その後慎重に滴定する。終点では急激に緑色に変化する。添加した重クロム酸カリウム溶液の 8 割以上が消費された場合は、土壌試料の量を減らして再度やり直す（ステップ 2 を参照）。

Note: 終点を越し易いので、終点を過ぎた場合は 0.50 ml の重クロム酸カリウムを加えて再度 1 滴ずつ滴定する（その場合は計算式を変える）。

V. 計算

土壌中の全炭素は以下の式で求められる。

$$\text{全炭素 (g kg}^{-1}\text{)} = M \times [(V1 - V2) / S] \times 0.39 \times \text{mcf} \times 10$$

M = 硫酸鉄溶液のモル濃度（ブランクより算出）

V1 = ブランクに消費した硫酸鉄溶液の量、単位（ml）

V2 = 試料に消費した硫酸鉄溶液の量、単位（ml）

S = 風乾土壌試料重量、単位（g）

0.39 = $3 \times 10^{-3} \times 100\% \times 1.3$ （3 = 炭素の重量当量）

mcf = 水分補正係数

Note: ファクターの 1.3 は、この方法での有機物の不完全燃焼(酸化)を補償する値である。この値は土壌に含まれる有機物の種類によっても異なり、代表的な値である。

VI. 結果報告

全炭素は単位 g kg^{-1} で、小数点第 1 位までの値を報告する。

i) 全窒素（選択項目）

Method SA-009
Reference Methods
Method suitable for Mineral Horizon

土壌中の全窒素量を求める方法には乾式燃焼法と蒸留法に基づくものがある。乾式燃焼法（Dumas 法）は、市販されている CN アナライザーを用いて半自動的に行われる。通常、ケルダールの蒸留法が用いられる。

I. 原理

ケルダールの蒸留法は下記に示すとおりである。セレン触媒を用いて土壌試料を硫酸と過酸化水素で分解し、有機態窒素を硫酸アンモニウムへと変換する。反応溶液をアルカリ性にし、アンモニアを蒸留する。気散したアンモニアをホウ酸溶液に吸収し、酸中和滴定を行う。この方法より、土壌中の硝酸塩を除いて土壌中の全窒素（土壌に吸着したアンモニウムイオンを含む）を求めることができる。

II. 装置

1. 分解装置（加熱器に入ったケルダール分解管）
2. 水蒸気分留装置（ケルダール分解管に連結可能なもの）
3. 25 ml ビュレット

III. 試薬

1. 硫酸/セレン分解混合液：粉末セレン 3.5 g を濃硫酸 1 L に混合し 350 度程度に加熱して溶かす。混合溶液の暗黒色が透明な黄色なる。黄色になったらさらに加熱を 2 時間続ける。
2. 30 % 過酸化水素水
3. 38 % 水酸化ナトリウム溶液：厚壁の 5 L メスフラスコに固形水酸化ナトリウム 1.90 kg を入れ純水 2 リットルで溶かす。炭酸ガスの吸収を防止するため栓をして冷却する。煮沸冷却した直後の純水を加えて定容とする。十分に混合する。
4. 混合指示薬：メチルレッド 0.13 g 、プロモクレゾールグリーン 0.2 mg を 200 ml エタノールに溶かす。
5. ホウ酸/指示薬溶液：ホウ酸 10 g を加温した純水 900 ml に溶かす。冷却し 20 ml の混合指示薬を加え純水で 1 L にする。完全に混合する。
6. 0.010 M 塩酸：市販の標準用濃縮アンプルを説明書に従って希釈する。

IV. 操作手順

1. 分解

- A. 風乾土壌 5 g を乳鉢で粉碎し、0.5 mm 目の篩を通す。

- B. 上記試料 1 g を 0.01 g 単位で取り分解管に入れる。土壌の有機物量が 10 % 以上の場合、試料量は 0.5 g とする（注釈 1 参照）。1 連の操作において、2 つのブランクと参照試料を作成する。
- C. 分解混合液を 2.5 ml 加える。
- D. 30 % 過酸化水素水 1 ml を 3 回に分けて入れる（全部で 3 ml）。過酸化水素水を入れると気泡が発生するので、気泡の発生がおさまってから次の過酸化水素水を加える。気泡が過剰に発生する場合は分解管を水冷する。
- Note:** 上記 C と D の操作では、安全ピペッターを付けたメスピペットや分注ピペットを用いること。
- E. 分解管をヒーター上に設置し 200 度で 1 時間加温する。
- F. その後、ヒーター温度を 330 度まで上げて反応させる（沸点以下）。混合溶液が透明になるまで加温を続ける（約 2 時間必要）。
- G. ヒーターから分解管を外して冷却し、攪拌しながら純水約 10 ml を洗浄ピンを用いて加える。

2. 蒸留

- A. 250 ml ビーカーにホウ酸/指示薬混合液 20 ml を取り、凝縮管の出口に置く。
- B. 分解管に 38 % 水酸化ナトリウム溶液 20 ml を加え 7 分間程度蒸留する。約 75 ml の蒸留液が得られる。
- Note:** 完全蒸留する場合は、蒸留時間及び蒸留液量を延長/増加する必要がある。
- C. ビーカーを蒸留管から取除き、凝縮管を軽く洗浄して残った蒸留液を回収する。0.01 M 塩酸で蒸留液の色が緑からピンクになるまで滴定する。
- Note:** 自動滴定装置の場合は、終点を pH 4.60 に設定する。

V. 注釈

- 上記方法の適用は、試料中に含まれる窒素量が 10 mg 以下（炭素含量で 10 C% の土壌）の場合に限る。試料中の窒素量が 10 mg 以上の場合、試料量を減らす。但し、試料量は結果にバラツキが生じないように、250 mg 以上とする。
- 上記方法での窒素回収率は、蒸留効率によって左右される。

VI. 計算

$$\text{全窒素 (g kg}^{-1}\text{)} = [(a-b) / s] \times M \times 1.4 \times mcf \times 10$$

a = 試料滴定に用いた塩酸量、単位 (ml)

b = ブランク滴定に用いた塩酸量、単位 (ml)

s = 風乾土壌量、単位 (g)

M = 塩酸のモル濃度、単位 (M)

1.4 = $14 \times 10^{-3} \times 100 \%$

mcf = 水分補正係数

VII. 結果報告

全窒素は単位 g kg^{-1} で、小数点第 1 位までの値を報告する。

j) 有効態リン酸塩（自主的項目）

Method SA-010
Reference Methods: SSSA (Bray-2 test)
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

酸性土壌では、フッ化物イオンがアルミニウムと錯形成して活性アルミニウムを減少させ、リンの溶脱を促進する。また、フッ化物イオンは土壌コロイド由来のリンの再吸収を抑制する働きがある。Bray-1 test (Bray & Kurtz, 1945)では、石灰質を多く含む土壌において炭酸カルシウムによる試薬して使用する酸との中和やフッ化カルシウムの形成、その結果溶解したリンの沈殿形成といった問題があり、満足な結果が得られない。

II. 試薬

- 1 M フッ化アンモニウム溶液：粉末フッ化アンモニウム 37 g を純水に溶かし 1 リットルに希釈する。溶液はポリプロピレンボトルに保存する。
- 0.5 M 塩酸：濃塩酸（12M）20.8 ml を純水で希釈し 500 ml とする。
- 酸可溶及び吸着性リン用抽出液：1 M フッ化アンモニウム溶液 15 ml、0.5 M 塩酸 100 ml を純水 385 ml に加えて混合する。フッ化アンモニウムの最終濃度は 0.03 M、塩酸の最終濃度は 0.1 M となる。ガラス容器で 1 年以上保存可能である。

III. 操作手順

1. 粒径 2 mm 以下の風乾土壌 1.0 g を平底ガラスバイアルに取り、抽出液 7 ml を加える。
2. 蓋をして 40 秒間激しく振とうし、ポアサイズ 0.45 μm メンブランフィルター又はワットマン No.42 フィルターでろ過する。ワットマン No.42 フィルターでろ過したろ液が濁っていた場合は、再度同じフィルターでろ過をする。
3. 上記抽出液を分取し、下記に示すアスコルビン酸法又はその変法でリンの濃度を決定する。

IV. 計算

$$P_{ex} (\text{mg kg}^{-1}) = [\text{リンの濃度 } (\mu\text{g/mL})] \times [25/v1] \times [v2/\text{g 試料量}]$$

$$P_{ex} (\text{mg kg}^{-1}) = [P \text{ concentration } (\mu\text{g/mL})] * [25/v1] * [v2/\text{g soil used}]$$

v1 = リン濃度決定の際に用いた抽出液量

v2 = 抽出液量

V. 結果報告

有効態リン酸は単位 mg/kg で、有効数字 2 桁で報告する。

リンの定量法

装置

1. 分光光度計

アスコルビン酸法

試薬

1. 2.5 M 硫酸：濃硫酸 (18M) 70 ml を純水で 500 ml に希釈する。
2. モリブデン酸アンモニウム溶液：モリブデン酸アンモニウム $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 20 g を純水 500 ml に溶かす。溶液はガラス栓つきのボトルに保存する。
3. 酒石酸アンチモンカリウム溶液：酒石酸アンチモンカリウム $[\text{K}(\text{SbO}) \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]$ 0.2728 g を純水 100 ml に溶かす。
4. 0.1 M アスコルビン酸溶液：アスコルビン酸 $[\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6]$ 1.76 g を純水 100 ml に溶かす。作り起きはせず、当日調製すること。
5. 混合発色液：2.5 M 硫酸 50 ml, モリブデン酸アンモニウム溶液 15 ml, アスコルビン酸溶液 30 ml 及び酒石酸アンチモンカリウム溶液 5 ml を加えて十分に混合する。作り起きはせず、当日調製すること。
6. 50 mg P/L リン酸ストック溶液：40度で乾燥した粉末リン酸水素カリウム $[\text{KH}_2\text{PO}_4]$ 0.2179 g を純水に溶かし、3.5 M 硫酸 25 ml を加えて純水で 1 リットルとする。
7. 5 mg P/L リン酸標準溶液：50 mg P/L リン酸溶液 10 ml を純水で 100 ml に希釈する。

操作手順

50 ml メスフラスコに 2 ~ 40 μg のリンを含む抽出液を分取し、純水を加え希釈し、約 25 ml とする。混合発色液 8 ml を加え、純水で定容とし、よく混合する。10 分後に波長 880 nm の吸光度を測定する。このときリン酸溶液以外の溶液等を混合したブランクも作成する。

アスコルビン酸変法

試薬

1. 試薬 A (0.1 M アスコルビン酸/0.5 M トリクロロ酢酸溶液 $[\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2]$): アスコルビン酸 8.8 g とトリクロロ酢酸 40.9 g を純水 400 ml に加えて溶かし 500 ml に希釈する。
2. 試薬 B (0.01 M モリブデン酸アンモニウム): モリブデン酸アンモニウム 6.2 g を約 400 ml の純水に加えて溶かし 500 ml に希釈する。

3. 試薬 C (0.1 M クエン酸ナトリウム/0.2 M 亜ヒ酸ナトリウム/5 % 酢酸): クエン酸ナトリウム二水和物[Na₃C₆H₅O₇ · 2H₂O] 29.4 g と亜ヒ酸ナトリウム[NaAsO₂] 26.0 g を 800 ml の純水に溶かし、氷酢酸 (99.9%) 50 ml を加えて 1 リットルに希釈する。
4. 50 mg P/L リン酸ストック溶液: 40 度の乾燥機で乾燥した粉末リン酸水素カリウム 0.2179 g を純水に溶かし、3.5 M 硫酸 25 ml を加えて 1 リットルとする。
5. 5 mg P/L リン酸標準溶液: 50 mg P/L リン酸溶液 10 ml を純水で 100 ml に希釈する。

操作手順

25 ml メスフラスコに最初、試薬 A 10 ml を、次に 2 ~ 25 μg のリンを含む抽出液を加える。直ぐに試薬 B 2 ml, 試薬 C 5 ml を加えてフラスコの混合液を十分に混合する。純水で定容にし混合する。10 分後に波長 700 nm での吸光度を測定する。このときリン酸溶液以外の溶液等を混合したブランクも作成する。

k) 硫酸イオン (自主的項目)

Method SA-011
Reference Methods: SSSA
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

重炭酸ナトリウムによる土壤成分のアルカリ抽出は、土壤中の有機化合物や陰イオンの可溶化や置換交換に優れている。この抽出法では、一般に大部分の土壤において酢酸可溶性硫酸イオンとして測定される硫酸イオン以上の値が得られる。ここで得られる値は、有機態及び無機態の硫酸イオンの両方を含有していると考えられる。

II. 装置

1. 往復振とう器

III. 試薬

1. 0.5 M 重炭酸ナトリウム溶液 (pH 8.5): 粉末重炭酸ナトリウム 42 g を純水に溶かし 1 L にする。1 M 水酸化ナトリウム (固形水酸化ナトリウム 4 g /純水 100 ml) で pH 8.5 に調整する。pH 8.5 を超えた場合は、0.5 M 重炭酸ナトリウム溶液を加える。
2. 1 g S/L 硫酸イオンストック溶液: 硫酸カリウム[K₂SO₄] 5.434 g を約 800 ml の純水に溶かし、純水で 1 L とする。

IV. 操作手順

1. 粒径 2 mm 以下の風乾土壤 10 g を 125 ml 三角フラスコ等に分取し、0.5 M 重炭酸ナトリウム溶液 (pH 8.5) 40 ml を加える。
2. 懸濁液を 60 分間振とうする。
3. 懸濁液をワットマン No.42 フィルターか同等のものでろ過する。
4. 比濁法、イオンクロマトグラフィーや ICP 発光法でイオウ又は硫酸イオンを定量する。

Note: ここで記述したアルカリ抽出方法とは別に、酸抽出方法としては酢酸ナトリウム/酢酸緩衝液 (pH 4.5, 酢酸ナトリウム 100 g と酢酸 30 ml を混合し純水で 1 L とする) を用いたものがある。この方法は、イオウ定量に際してアルカリ溶液で抽出される有機物質が妨害となる場合に適している。この場合のイオウ濃度はアルカリ抽出に比べて幾分低くなる。

V. 結果報告

イオウとして単位 mg/kg で、有効数字 2 桁で報告する。

2.3.6. 土壌物理特性の測定

a) 土壌（細土）密度（選択項目）

Method SA-101
Reference Methods: Method of Soil Analysis, Part 1, p.364 (1986)
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

定容の金属採土器を用いて土壌断面から土壌をとり、篩がけして得られた細土を乾燥機で乾燥し重量を測定する。

II. 装置 Apparatus

1. 金属採土器：容積 100 ml（採土器の円筒面積 20 cm²，深さ 5 cm）か同等。
2. 乾燥機

III. 操作手順 Procedure

1. 土壌断面の表面を平滑にし、採土器を断面に対して垂直あるいは水平に十分に差し込んで採土器の中を土壌で満たす。このとき、土壌を採土器中に無理に詰め込まないようにする。各土壌層（0-10cm 及び 10-20cm）から最低 3 試料以上採取する。
2. 可能な限り自然な土壌構造や孔隙構造に近い状態を保つように、土壌の入った採土器を慎重に取り出す。土壌構造の攪乱なしに、試料を取り出すためには、採土器の側面あるいは下面にシヨベルが必要である。
3. 採土器の先に土壌が残っている時は削り取り、直線のエッジを持ったナイフ、あるいはスパーチュラ等で先端を平にする。すなわち、得られた土壌試料の容積を採土器と等しくする。
4. 得られた土壌試料全量を 2 mm 目の篩にかける。耐熱容器に移し重量が一定になるまで 105 度で乾燥し、その後重量を測定する。

IV. 計算 Calculation

$$\text{細土密度}(\text{Mg m}^{-3}) = g / V$$

g = 篩がけして得られた土壌の乾燥重量、単位 (g)

V = 土壌容積 (採土器の容積)、単位 (mL)

V. 結果報告 Report

細土密度は試料毎に単位 (Mg m⁻³) で記録する。土壌層毎に平均値を算出し、有効数字 2 桁で報告する。

b) 土壌硬度（フィールド調査時に現場測定、選択項目）

Method SA-102
Reference Methods
Method suitable for Mineral Horizon

I. 原理

土壌断面記載の実施時に、土壌断面の最表層とその下層について簡易硬度計を用いて土壌硬度を測定する。

II. 装置 Apparatus

1. 簡易硬度計（山中式土壌硬度計）

III. 操作手順 Procedure

1. 試坑において土壌断面を平滑に削り、目的の土壌層に硬度計を指定位置までゆっくりと差し込む。
2. 各土壌層において、5点以上測定する。硬度計の円錐部が石のように硬いものや植物の根にあたった場合は、別な部分について再度測定する。

IV. 結果報告 Report

硬度計の目盛りに示された圧入抵抗値を測定毎に単位 kg cm^{-2} で記録する。各土壌層の平均値を報告する。硬度計の指示値の単位が mm の場合は、単位 kg cm^{-2} に変換して報告する。

2.4.森林モニタリング手法

森林モニタリングの当初目的達成のために、森林総合調査（毎木調査と下層植生調査）と樹木衰退度調査を実施する。

2.4.1.森林総合調査

植物相は様々な環境要因による変化を受けやすく、酸性雨による潜在的な影響を早期に発見するためにはこれらの変化について詳細に記述すべきである。調査森林地域における植物相の変化を記述するために、森林総合調査として毎木調査及び下層植生調査を定期的実施する。

Note:

- 森林モニタリングの地点は徐々に増やし、広範囲な地域のデータを蓄積すべである。また、他の森林調査と連携協力することも本調査を実施する上で有用である。

2.4.1.1. 森林総合調査のプロット選定

2.2.2.1 に記載した地点選定基準に従って、面積 0.2 ヘクタール以上の森林を選定する。詳細調査を実施するため、表 2.4.及び図 2.6.に示すように選定した森林内に 1000、400 及び 200 平方メートルの 3 つの同心円を設定し、計測プロットを 3 に分ける。

表2.4. 詳細調査のための計測プロット区分

計測プロット面積	計測対象木
1 (200m ² : 半径 7.98m)	樹高1.3 m 以上の固体
2 (400m ² : 半径 11.28m)	胸高直径4 cm 以上の固体
3 (1000m ² : 半径 17.85m)	胸高直径18 cm 以上の固体

計測プロットを中心及び境界線は後々特定できるように、杭や樹皮にペンキを塗り目印を残しておく。さらに以後の継続調査に備えて、調査対象木の幹に樹木認識番号と胸高直径の計測位置がわかるように表示しておく。樹木認識番号は、樹皮に直接書き込むか番号を書き込んだアルミニウムの板あるいはプラスチックテープを釘付けするのが有効である。

Note:

- 森林モニタリングの地点では、可能な限り多くのプロットを選定することが望ましい。

2.4.1.2. 森林総合調査のモニタリング項目とモニタリング頻度

以下の項目について調査し記載する。

表2.5. 森林総合調査のモニタリング項目

モニタリング項目	優先順位	モニタリングの頻度
毎木調査		3～5年毎
樹種名	M	
胸高直径	M	
樹高	M	
下層植生調査	M	

M: 必須項目

a) 毎木調査（必須項目）

毎木調査では、プロット内の調査対象木について、樹種名、胸高直径及び樹高を計測し記述する。調査結果を報告様式（F）に記載し報告する。

- **樹種名**: 和名及びラテン名で記載する。少なくとも属名までわかるように記載する。
- **胸高直径DBH**: 直径テープを用いて、斜面側か高い位置にある樹幹側で樹高1.3mの樹木直径を0.1cm単位で計測する。胸高直径が4cmに満たない場合は、ノギスを用いても良い。
- **樹高Height of tree**: 測高器や測桿等の適切な器具を用いて測定し、0.1m単位で記録する。全て木を測定することが困難な場合は、最も高い木と最も低い木を含んだ20本以上の木を選定し測定する。残りの樹木の樹高は胸高直径・樹高曲線より推定する。

b) 下層植生調査（必須項目）

樹木に比べて下層植生は環境変化により敏感であると考えられるため、下層植生の変化は3～5年毎に記録すべきである。下層植生調査では、プロット内の小円の計測プロット(200平方メートル)の中に見られる樹高1.3m以下の全ての樹木、草、シダについて、植物名と優占度を記述する。調査結果を報告様式(G)に記載し報告する。

表2.6. 優占度の区分

優占被度級	その種の被度
5	75%超
4	51 - 75 %
3	26 - 50 %
2	6 - 25 %
1	1 - 5 %,又は多数固体で被度が1%未満
+	1 %未満

Note:

- 熱帯雨林のような多種多様の樹木で成立している森林に対しては、上記のモニタリング方法は必ずしも適当ではないため、今後方法論を整備していく必要がある。

毎木調査と下層植生調査の結果を、さらに報告様式(H)に整理し報告する。

2.4.2. 樹木衰退度調査

樹木衰退の要因としては、大気汚染や酸性雨による影響の他、気象的影響（強風、寒風、雷、豪雨、干ばつ）、生物的影響（動物、昆虫、病害、材の腐朽）や人的影響（造林施業、伐採）等の外的生長阻害因子が考えられる。これらの要因を推定するためには、長期間モニタリングが必要となる。樹木衰退度調査では、定期的に樹木の特徴を観察記録し、周辺の環境要因を踏まえて衰退原因を推定する。

2.4.2.1. モニタリング対象樹木の選定

モニタリング対象樹木は体系的に選定される。図 2.7.に示すように印を付けた永久調査地点の中心から 12 m 離れた、東西南北の 4 地点周辺で優占木、各々5本を無作為に選定する。

合計 20 本の樹木をモニタリング対象樹木として選定する。毎木調査時に番号が付けられていない樹木に対しては、樹木認識番号をつけ記入する。

Note:

- 各地点で 5 本の優占木を見つけることが困難な場合は、少なくとも 1 地点で 2 本選定し、全部で 10 本のモニタリング対象樹木を選定する。

2.4.2.2. 樹木衰退度調査のモニタリング項目とモニタリング頻度

表 2.7. 樹木衰退度調査のモニタリング項目

モニタリング項目	優先順位	モニタリングの頻度
樹木衰退度の観察	M	3～5 年毎
樹木衰退度の写真記録	O	
衰退原因の推定	O	

M: 必須項目; O: 選択項目

上記のモニタリング項目は、葉の密度が最も高い季節に実施すべきである。

a) 樹木衰退度の観察

観察のポイントは、葉の壊死（ネクロシス）、白化（シクロシス）、変色、異常落葉、梢端枯れである。何らかの異常が見つかった場合は、以下の点について詳細な状態を記録する。これらの詳細記録については、様式を特に指定しないが、可能な範囲で記録を残すことが望ましい。

- 被害を受けた葉の位置：主風向に関連した樹冠での方位、樹冠の上部か下部か、葉が未熟か、成熟しているか、老化しているか、日向か日陰か。
- 被害のパターンと位置：葉脈の間に斑点があるか、小斑点が全体に分布しているか、葉の先端部が変色しているか、変色せずに落葉しているか、葉の損傷等。葉の色を記録する際は、マンセルカラーチャート（標準葉色帖でも良い）を使うことが望ましい。
- 葉面上のチリ・粉塵の観察：走査型電子顕微鏡による観察が有用である。
- 傷んだ樹木や枯損木の存在又は生長の鈍化
- 被害状況の発見日の記録

樹木の全衰退度階級を評価するために、上記のポイントを考慮しながら、別添 3 の衰退度評価基準に従って下記の項目を観察する。：樹木の活力、樹木の形状、枝の成長度、梢端の枯損、葉の密度、葉の奇形、葉の大きさ、葉の色、葉の痛み具合。

以上の調査結果を報告様式（E）に記載し報告する。

b) 写真による樹木衰退度の記録（図 2.7.a）と b）参照）

写真による樹木衰退度の記録では、樹木衰退度観察地点である東西南北の各地点で樹冠を撮影する。

三脚と水準器を用いて、広角レンズ（焦点距離28 mm）を真上に向け、カメラの上部を真北の方向に向けて固定する。露出度は樹冠（林冠）のギャップの明るさに調節し、ハイシャッタースピードで樹冠の形状及び広さを撮影し記録する。

撮影日、フィルムの種類、露出度、レンズ焦点距離、地面からフィルムまでの高さを記録する。各地点の4枚の写真を報告様式（E）に添付する。写真をA4版の紙にのり付けし、写真撮影に係る情報を漏れなく記入し報告する。

Note:

- 統計学的な評価手法としては、デジタル化した写真を用いた画像解析やデジタル化した写真データによる植相比較等のデータ解析が望ましい。
- 調査森林の樹冠全体を見渡せる高い位置から全景写真を撮影することが望ましい。

c) 樹木衰退原因の推定

衰退原因を推定できる場合は、推定原因と推定した理由を記入する。原因を同定するにあたっては、病害虫解析や病理解析といった科学的及び専門的な詳細調査が必要である。また、この調査に関しては、調査担当者における樹木衰退度調査法の標準化とトレーニングが国内外に係わらず不可欠である。

2.4.3. 全天写真による林冠解析法（参考）

樹木衰退度を評価する方法として、2.4.2.に樹冠を写真にて記録することが記述されている。この方法では、永久調査地点（定点）から 12m 離れた東西南北の各地点において、優占木 5 本、全部で 20 本選択することとされている。温帯地域の植林地ではこの方法は適用可能であるが、熱帯地域の多種類の樹木が生育している森林においては適用が困難である。熱帯地域での写真記録法の 1 つとして、全天写真による林冠解析法が提唱されている。全天写真による林冠解析法の基本手順を下記に示す。

魚眼レンズのついたデジタル又はフィルムカメラを用いて、図 2.8.のように調査対象森林の全天写真を撮影する。経時的な変化を調べるためには、定期的に同じ条件で撮影することが望ましい。コンピュータ上で操作するために写真をデジタル画像に変換する。これにより、図 2.9.のような林冠のギャップの視覚化及び範囲の推定が可能となる。また、コンピュータを用いた視覚化及び数値化により図 2.10.に示すような林冠構造の季節変化を調べることが可能となる。散乱光の透過率は植物面積指数の増加により減少しており、森林の生長パターンに相関していると考えられる。これらの森林の生長パターンを評価する場合は、長期間モニタリングが必要である。

全天写真記録の手順は比較的単純で、コンピュータによる画像解析が可能である。この方法を実施するには魚眼レンズや解析用ソフトウェアを必要とするが、熱帯地域における調査方法として十分に適用可能な手法の 1 つとなり得る。また、この方法は、手順が簡単で定点観測が容易であること、定量的解析が容易であることから、温帯地域にも有効な手法であると考えられる。

Note:

- 林冠解析のソフトウェアに関する詳細な情報は以下の URL にある。
SCANOPY home page: www.regent.qc.ca
LIA32 for Windows95: <http://vector.co.jp/authors/VA008416/>