

--	--	--

目次

モニタリングと評価とは何か？	4
なぜモニタリングと評価が必要なのか？	4
インパクトのエビデンス & 透明性	4
仮説の検証	4
学習&適応的管理	5
包括的なフレームワーク	5
概要	5
始める前に	7
再生のステージ	8
再生の指標	9
主要なインパクト指標	9
文脈に応じたインパクト指標	10
サンプリングデザイン	10
プロセス	11
タイミングと頻度	12
モニタリング活動の順序	13
結果の文書化とコミュニケーション	13
再生を進めるための背景設定	14
再生前後の写真	14
再生の範囲	15
生息地の連結性	15
土地被覆の変化	16
土壌の健康	17
指標 1: 土壌の質感	17
指標 2: 土壌構造と団粒の安定性	19
指標 3: 表土	22
指標 4: ティーバッグ分解速度	23
指標 5: 土壌の堆積レベル	25
指標 6: 土壌の圧縮	26
(a) ペネトロメーターテスト	26
(b) 容積密度テスト (および土壌水分含量)	27
指標 7: 水分浸透性および保水性	28
保水性 (WHC) テスト	

--	--	--

土壌水浸透テスト	
(b) 土壌浸透性試験	31
指標 8: pH	31
指標 9: 土壌の生物活性	32
指標 10: 土壌動物相	34
生物多様性	35
指標 11: 動物相の多様性	35
指標 12: 植物相の多様性	39
気候 (緩和策)	40
指標 13: 気温差	40
指標 14: 蒸発散量	41
指標 15: 土壌有機物 (SOM) 及び炭素 (SOC) 含有量	42
指標 16: 地上炭素捕捉	46
生態系生産性	47
指標 17: 生態系サービス	47
インパクトのエビデンス & 透明性	49
仮説の検証	49
学習 & 適応的管理	49
APPENDIX 1: サンプルングデザインの基準としての景観特性の例	50
APPENDIX 2: 層別ランダムサンプルングデザイン	51
APPENDIX 3: プランニングとデザインの実践	52
APPENDIX 4: 自然観察日記	54
主要概念の用語集	57
参考文献	60

--	--	--

モニタリングと評価とは何か？

モニタリングとは、一定期間内に継続的にデータを収集することです。例えば、モニタリングの標準的な期間は1年間で、プロジェクトの活動が実施される前の年初にベースラインデータを収集します。その後、12ヵ月後と36ヵ月後にデータを収集する「中間」モニタリングが行われます。最終的に「5年間」のデータがモニタリング・サイクルの終わりに収集される。

評価とは、長期にわたって収集されたデータの分析です。すべてのデータを受け取ったら、ベースラインデータと各モニタリングサイクルの中間データ、そして最終データ（5年分など）を比較します。このプロセスは、生態系や人々がどのように変化しているかを評価するのに役立ちます。

なぜモニタリングと評価が必要なのか？

モニタリングと評価（M&E）には、本来であれば現地での再生活動に充てられるはずの時間とエネルギーが必要です。では、なぜそれが賢明かつ必要な資源投資なのでしょう。たくさん理由がある中で、M&Eに投資する価値がある3つの理由が際立っています：

インパクトと透明性の証拠

このフレームワークは、生態系再生プロジェクトの内外で起こっている生態学および社会的変容を示すために設計されました。私たちの活動のインパクトが証明されれば、実証された事例やストーリーを世界と共有することができ、私たちの正当性や信頼性が高まり、支援基盤や収入も増加します。生態系再生の進捗状況を報告することは、政策立案者、パートナー、土地所有者、ドナーとの関与を引き出す鍵となります。

仮説を検証する

このガイダンスの目的のひとつは、あなた自身の推測と特定の場所の生態系に飛び込む手助けをすることである。こうしてモニタリングは、モニタリングは特定の仮説や概念モデルを研究するのに役立ち、私たちの復元活動が働いている生態系にどのような影響を与えているかを理解する手助けをします。

学習と適応的管理

優れたデータは、適応的管理を通じて現場での作業を継続的に改善するのに役立つ。ほとんどのケースは非常に複雑で、その状況に応じた解決策を必要としますが、良い実践方法は、似たような特徴や圧力を持つ他の地域から学ぶ（そして共有する）ことができます。

包括的なフレームワーク

私たちは、チームのさまざまなメンバー、ERCのパートナー、ボランティア、そして生態系再生の分野における主要な思想家たちの意見を取り入れて、このフレームワークを作成しま

--	--	--

した。サティッシュ・クマール¹の著書に触発されて、生態系復元の三つの核心要素に基づく包括的な枠組みを設計しました：「**土壌 (Soil)**」：現場で起きている生態系の変容、「**魂 (Soul)**」：人々の態度や行動の変化、「**社会 (Society)**」： 周囲の生態系の劣化と関連した人間社会や経済に対する肯定的な影響、です。

本書は、私たちのフレームワークの「**土壌**」あるいは生態学的な側面を提示するものであり、生物群とその環境との関係に焦点を当てています。このような生物学のおよび生物学的構成要素は、栄養循環、エネルギーの流れ、その他のフィードバックループを通じて生態系として相互作用します²。さまざまな生態学的属性のレベルで変化を追跡することは、それらが互いにどのように影響し合っているかを理解するのに役立ちます。

概要

下表に示すように、1 列目に再生の可能な（そして望ましい）結果、2 列目にはそれぞれの結果が満たされているかどうかを示す指標や属性、3 列目には指標の変化を定性/定量化するための方法/テスト、そして最後の列にはデータ収集の理想的なタイミングが記載されています。

¹ Kumar, S. (2013). *Soil, soul, society: a new trinity for our time*. Lewes: Leaping Hare Press.

²詳細については、用語集の「フィードバック・ループ」を参照。

--	--	--

表1 フレームワークに含まれる成果/指標の概要

成果	指標	方法	いつ
土壌改良	土質	土壌ジャーテスト	該当なし
土壌の構造/一貫性の改善	土壌構造スコア	落下と粉碎	該当なし
	総合安定性スコア	土壌スレーキング試験	
表土の増加	表土の長さ	土壌プロファイル	春
土壌分解率の向上	埋めたティーバッグの重量	ティーコンポジション試験	該当なし
土壌侵食の減少	土壌堆積物レベル	土壌堆積試験	春
土壌の圧縮レベルの低下	PSI レベル	ペネトロメーターテスト	春
	嵩密度	容積密度テスト	
利用可能な水の増加	WHC	保水性試験	春
	水が浸透する時間	浸透性試験	
土壌 pH の改善	土壌 pH	pH カラー試験	該当なし
土壌中の生物活性の向上	微生物菌類/バクテリア	マイクロ・バイオメーター	春
	ミミズの数	ミミズ試験	
土壌の生物多様性を高める	土壌動物相	手作りツルグレン漏斗	春
生物多様性の増加	動物相の多様性	クアドラット調査	春
	植物相の多様性	夜光虫テスト スクエア法	
温度差の低減	温度差	気温測定	該当なし
蒸発散量の減少	蒸発散量	DIY 蒸発計	春
有機物含有量の増加	土壌有機物含有率	強熱減量ラボ試験 土壌色試験	春
バイオマス中の炭素の増加	バイオマスへの炭素貯蔵	NDVI/衛星画像	該当なし
生態系の生産性向上	生態系サービス	該当なし	該当なし

始める前に

モニタリングは、あなたの土地内で何が起きているかを学ぶための重要な方法です。それぞれの再生の現場はユニークで、発展段階も異なりますが、データ収集を始める前に考慮すべきことがいくつかあります。

--	--	--

まず、再生が行われる（または行われる予定の）生態系と、生態系からの圧力や劣化の要因などの再生プロジェクトが対処すべき問題に精通する必要があります。この段階でベースラインデータを収集することは非常に有用で、再生目標や計画・設計プロセスを明らかにすることができます。さらに、ベースラインデータを収集する際には、健全でほとんど手付かずの生態系や「参照サイト」を調査するのが良い方法です。

文脈に応じた再生デザイン（および/または再生計画）を確立することで、地域や再生技術を長期的にモニタリングするかを定義することができます。具体的には、さまざまなサンプリング・プロット（すなわち、データを収集する土地の正確な場所；「サンプリングデザイン」を参照）を定義することができます。最終的に、長期にわたるデータの収集は、あなた自身や広く一般の人々が、当該地域での行動が効果があるかどうかを理解する助けとなります。

例えば、植生が少なく、土壌浸食の兆候が見られる地域にいます。予想通り、ベースラインのデータは、近隣の非劣化サイトと比較して、表土/有機物/植生のレベルが低いことを示しています。したがって、再生目標（表土や植物の多様性を高めるなど）を達成するために、再生のための介入（土壌改良、緑肥など）を計画し始めます。次に、再生したい地域内と非劣化地域内の特定の代表的なサンプリング区画を選択します。一度現場のベースラインデータを収集したら、実施した作業（例えば、ホリスティック放牧）が再生目標の達成に向けて貢献しているかどうかを知るために、時間をかけてこの作業を繰り返します。

つまり、生態系回復のモニタリングは、理想的には「計画」の段階で実施されるベースライン評価から始まります（次項参照）。すでに「実行」段階にあるのであれば、過去の記録や傾向を考慮し、可能であれば、回復させる生態系の回復前の状態に似ている近隣の場所からベースライン/コントロールデータを収集することが重要です。

いずれにせよ、どのような再生アプローチが実施されたか、あるいは実施される予定であるかを文書化することは極めて重要です。これには、プロジェクトのさまざまな再生エリアとアプローチのそれぞれを示す（物理的またはデジタル的な）サイトマップも含まれます。このような条件は、長期にわたるモニタリングの実施をより有益で意味のあるものにします。

再生のステージ

前述したように、モニタリングの作業は、再生プロジェクトがどの段階にあるかによって異なります。

計画段階では、再生プロジェクトの広範な社会的・生態学的背景を理解する一方で、どのような問題や課題に取り組むたいかを検討します。周囲の景観との関連で再生場所の図を作成するほか、「回復の可能性を記録する必要があります（Gann et al, 2019）。このプロセスは、プロジェクトに共有される再生ビジョンを形成し、明確で具体的かつ測定可能な目標の策定に役立ちます。最後に、「再生設計/計画」には、これらの目標に関連する方法、実施する再生のための活動、実施場所（モニタリング活動を含む）が含まれます。スライム・インベントリー」の一環としてデータを収集し、生物学的・非生物学的要素、劣化の原因、自然。（再生のための計画段階における優れた実践方法と要素の概要については、付録3も参照してください。）

--	--	--

再生の実行段階は様々な形で現れますが、一般的には ERC のリーダー、ボランティア、地域社会、その他の関係者（農民、研究機関、パートナー組織など）の協力が必要です。どのような再生目標やアプローチ/地域の追跡に関心があるかを把握した上で、進行中のモニタリングにこのガイドを使用することをお勧めします。これにより、正しい方向に進んでいるかを確認し、予期しない結果に対応できます。

レビューの段階では、プロジェクトや再生の管理者は、データと評価プロセスを使って適応管理を行い、それに応じて「再生設計/計画」を改善することができます。この段階で、再生プロジェクトは学んだ教訓を世界の生態系再生コミュニティと共有および普及することが可能です。



Figure 1 Adaptive restorative journey

再生の指標

一般的に、以下に挙げる主要な影響指標をモニタリングし、再生プロジェクトの目標やモニタリングに利用可能なリソースに基づいて、コンテキストに特化した指標を優先することをお勧めします。最初から可能な限り多くの指標を測定しようとするのではなく、他の指標を段階的に取り入れるとよいです。これにより、モニタリングと評価（M&E）計画が現実的で長期間にわたって継続されることを確保するのに役立ちます。

主要なインパクト指標

--	--	--

私たちは、個々の ERC/復元イニシアティブに関連する生態系や成果の多様性を受け入れています。しかし、前述したように、世界的な ERC 運動のインパクトを実証することが私たちの野望です。ERC の主要インパクト指標は以下の通りです：

- 植栽 1 年後の成功率（多年生作物、低木および/または樹木）
- 植栽前後の写真
- 再生面積
- 樹木の生存率（伐採した樹木の数、またはツリーマッパーを使用した場合の割合）
- 生物多様性（植物相および/または動物相）
- 土壌有機物と炭素含有量
- 土壌の圧縮率または水の浸透率

文脈に応じた影響指標

それぞれの生態系が複雑でユニークであることを認識した上で、サイト固有の成果と指標を検討することをお勧めします。生態系再生をモニタリングするための指標をどのように選択するかについては、M&E 上の制約を考慮することを推奨します。生態系再生の取り組みに典型的な長期的目標を認識し、異なる生態系再生指標をモニタリングするために必要な時間、労力、専門知識、技術を考慮することが賢明です。例えば、財政的に制約がある再生イニシアティブやプロジェクトでは、手頃なモニタリングシステムを優先する可能性が高いです。その他の考慮事項や疑問は、生態学的属性自体に関連して生じます：どのようなデータが利用可能ですか？これらの生態学的指標は、プロジェクトの望ましい再生成果を代表するものとして包括的ですか？

サンプリングデザイン

生態学者や統計に携わる者は、個体群や生態系全体を調査することの難しさを長い間認識してきました。よく考えられたサンプリングデザインは、サイトまたは生態系の全体的な状態を特徴づける要素と関係性の変化を評価するための鍵です。適切なサンプリングが鍵となるのは、サンプルがモニタリング対象地域を代表するものであること、そして複数の生態系復元サイトにわたるデータを分析（比較・集計）するためです。以下では、モニタリングプロットとサンプリングポイントの定義について説明します。

私たちの文脈では、区画 (Zone) とは、再生を希望し、長期にわたってモニタリングする特定の区域を指します。サンプリング・ポイントまたはプロットは、これらの各区画を代表するように選択された、データを収集する正確な場所です。従って、サンプリング・ポイント / プロット は、生態系再生のプロセスを通じて、アクセス可能であり続ける必要があります。

プロセス

--	--	--

ベースライン調査を行う場合は、再生を希望する場所全体で少なくとも 10 箇所のサンプリングポイントを選んでください（これらの地点にはインフラが建設されない場所を選んでください）。すでに「再生を行っている」場合は、区画の定義に関する重要な考慮事項のリストを以下に示します。一般的に、サンプリングポイントが多ければ多いほど、重要なデータや結果が得られます。しかし、それはモニタリングに多くの時間と資源が必要になることも意味します。したがって、少数の区画とサンプリングポイントを最初にモニタリングし、残りの区画について段階的にデータを収集することを推奨します。

10 箇の区画がある場合、最も重要な 5 箇の区画を選び、それぞれに少なくとも 2 箇のサンプリングポイントを設定します。次年度以降は、残りの区画についても同じようにするか、モニタリングしているエリア内のサンプリングポイントの数を増やすことができます。

モニタリング区画の設定³

具体的にどの地域をモニタリングするかを決める際には、いくつかの要素を考慮する必要があります。これらは場所によって異なるが、以下の要素に基づいて区画を定義することをお勧めします：

- 1) 異なる再生アプローチ/「実験的処置」（「何もしない」アプローチを代表するコントロールサイトを含む）
- 2) 参照サイト（主に攪乱されていない、または保全されたエリア内で、望ましい生態系を代表する可能性のある場所）
- 3) ベースラインまたはコントロールサイト（特にベースラインインベントリが不足している場合）：隣接するプロットは、生態系の再生前の状態、および「通常通りのアプローチ」による（バックグラウンドの）変化を表す。
- 4) 異なる景観特性（土壌タイプ、標高、水分レベルなど）をモニタリングの区画定義に取り入れるための景観効果を組み入れる

サンプル地点の設定⁴

サンプリング地点は、区画を代表するものでなければならず、何年にもわたってアクセスできるものでなければなりません。一部の再生プロジェクトによっては、多くのサンプリングポイントで作業するのに必要な資源がない場合もあります。現実的に記録できる範囲で、（区画ごとに）できるだけ多くのサンプリングポイントに焦点を当てることをおすすめします（「要約」のセクションも参照）。区画の数と大きさに加え、選択するサンプリング・ポイントの数は、モニタリングに利用可能な能力に依存します。サンプリングポイントを定義

³ある特定の修復手法で作業を行う場合、異なるモニタリング区画（コントロールサイトと参照区を含む）の定義において景観特性を考慮すべきである。再生計画なしに再生活動を実施する場合は、少なくとも 1 つの対照区と並行して、実験中の修復手法に応じた区画を定義することを勧める。プロジェクトの規模や M&E 資源にかかわらず、ゾーニングは、効果的な再生作業や（予期せぬ）経年変化をモニタリングするために極めて重要である。文書化するために、モニタリング単位ごとにラベルを作成すると便利である（例えば、区画の説明の最初の 3 文字を使用し、GRA は放牧、CON はコントロールなど）。

⁴Appendix 2 は、一般的な層化ランダム・サンプリング・デザインの戦略を示している。

--	--	--

する際には、物理的に（棒やラベルを使用して）印をつけ、デジタル的に記録シートに地理座標を記録し、プロジェクトサイトのデジタルポリゴン/マップに描写することによって、これらのポイントをマークします。

タイミングと頻度

劣化した状態から回復した状態は、長期的なプロセスです。では、いつ、どれくらいの頻度でデータを収集すべきでしょうか。

一貫した**タイミング**を採用することは、整合性を確保し、データの集計や経時的な比較、異なる生態系サイト間での比較を可能にするので重要です。

種子や動物が冬の休眠から覚め、繁殖活動や営巣活動を始める春に生態系データを収集することが推奨されます。春が明確ではない雨季主導の非温帯生態系では、雨季中または雨季の終わりにモニタリングを行うことを提案します。

DC 期間 1（北半球と南半球の熱帯地域）： 4 月/5 月
DC 期間 2（南半球と北半球の熱帯地域）： 10 月/11 月

ベースライン・データは、時間的変化を測定するための「出発点」または背景を示します。生態系の再生活動がすでに実施されている場合、ベースラインデータは、再生作業が始まる前にその再生地域がどのように管理されていたかに似た場所から収集することができる。言い換えれば、再生前の状態を表す「ベースライン・サイト」からデータを収集することをお勧めします（「サンプリング・デザイン」の 3）も参照）。

データ収集の頻度については、どの程度定期的実施するかは利用者に委ねられていますが、最初の再生サイクルである 5 年の間に少なくとも 3 回（例えば y0、y1、y5）実施することをお勧めします。また、適切な頻度は、(a) 特定の指標（生態系の属性には、変化の速度が速いものもあれば、ゆっくりと変化するものもある）、(b) 生態系の自然条件（季節や天候のパターンなど）によっても異なります。（一般的に、温暖で湿潤な熱帯生態系では、温帯や北方地域よりも変化が速く起こります）。データ収集のタイミングと頻度に関する詳細は、指標と関連する方法の説明に記載されています。

再生プロジェクトでは、最初の 5 年間の M&E データと報告書を、ビジョンの再評価・更新、プロジェクト目標の評価、それに応じた管理の適応に利用することが推奨されます。達成された回復の度合いや M&E のために確保された資源によっては、モニタリングの取り組みを長期にわたって延長するとよいでしょう（例えば、3 年または 5 年ごとにデータを収集し、15 年間）。

モニタリング活動の順序

（現場でデータを収集する前に）モニタリング活動の順序を計画することで、モニタリング資源をより効率的に配分することができます。これは、いくつかの方法が類似したステップを含むため有用です（例えば、「土壌構造と骨材の安定性」試験のための掘削と、「ミミズ試験」のための掘削）。以下は、異なるサンプリング地点で試験を実施するための順序（ERC の元ボランティアが提案）です：

落下・粉碎 - 壺 - 表土 - ミミズ - スレーキング - 土壌有機物 - pH.

--	--	--

結果の文書化とコミュニケーション

良好なモニタリング実践は、複雑な生態系の全体的な理解に寄与し、実践者がその生態系内での自身の位置や可能性のある位置を理解するのに役立ちます。モニタリングと評価（M&E）を成功させるためには、長期にわたってデータを収集することに加え、データをきちんと文書化し、調査結果を報告することが重要です。

上述したように、サンプリング地点は再生努力の影響を調査するために使用されます。データはある程度、人為的/再生的介入（土壌改良など）によって説明可能ですが、バックグラウンドの変化（生物学的要因によるものなど）や自然発生的/「自然」もまた、その役割を果たすと想定されます。したがって、生態学的データを厳密な方法で文書化し、さまざまな（生物学的および生物学的）要因や変数を考慮することが重要です。包括的で十分に文書化された再生データセットがあれば、さまざまな変数の個別効果と相互作用効果の両方を調べることが容易になり、地域の生態系をよりよく理解し、よりよい情報に基づいた生態系の再生を行うことができます。適切な文書化はまた、効果的な再生アプローチの普及を促進します。

例えば、特に何年にもわたってさまざまな人がデータを収集することを想定する場合、いつ、どこで測定が行われたかを正確に記述することが重要です。私たちは M&E 記録シートと報告書のテンプレートを作成しました（[ERC Knowledge Exchange プラットフォーム](#)でご覧いただけます）。以下は、調査結果を記録し共有する方法を段階的に説明したものです：

地理座標と環境要因の記録

ERC 基金が提供する記録シートを使って、モニタリングした各指標のサンプリング地点の正確な地理座標を記録します。（スマートフォンの中には、地理情報を参照した写真を撮影する機能を備えたものもあるため、スマートフォンのアプリケーションや GPS 受信機に頼る必要はありません）。温度、光、塩分濃度、汚染物質への近接性など、環境要因や異常な出来事について注意を喚起するようなことがあれば、記録シートの「メモ」欄や M&E 日誌を使って記録しておきます。

オープンアクセスの ERC データベースにデータをアップロードする

ERC が公開しているデータベースや（オンラインのスプレッドシート）に直接データを記録しない場合は、少なくとも物理的な記録シートからデジタルデータにコピーする時間を取ってください。できれば、観察結果や予期せぬ出会いが「新鮮」なうちに、できるだけ早く行ってください。

結果を評価し、伝える

すべてのデータを収集したら、次は結果を評価する必要があります。データを見て、傾向を評価し、洞察を引き出すことが、「評価」と呼ばれるプロセスです。評価報告書は、私たちの活動の有効性を証明するために、寄付者と共有することができます。私たちが推奨するのは、最初の生態系データを収集した後にベースラインレポートを作成し、調査結果を要約し、その結果をどのように土地の修復に役立てるか（目標や参照地の説明を含む）を報告することです。次年度以降は、収集したデータをベースライン値や対照群、参照サイトと比較・分析することができます。各モニタリング・サイクルの終わりに、データ収集者と再生プロジェクト・リーダーが共同で報告書を作成することを提案します。

--	--	--

再生を進めるための背景設定

このセクションでは、再生プロジェクトの環境社会的背景を明らかにするための重要な要素を取り上げます。ベースラインインベントリや再生計画の一部としてこれらを文書化することをおすすめします。文書は関連するステークホルダーやプロジェクトのコミュニケーションチャネルを通じて共有することができます。

再生前後の写真

生態系の変化を示す最も簡単な方法のひとつは、再生中の地域の再生前と再生後の写真を撮ることである。最高の再生前後の写真のための最善策はドローンで撮影することです。ドローンを利用できない場合は、以下で説明する「定点撮影法」を利用し、同じ地点から時間の経過とともに再生現場撮影する。

方法:

1. ラベルを貼った棒や旗で、その区域の特定のポイントに印をつけます。(可能であれば、スマートフォンのカメラで撮影をする「高さ」にも印をつけます)。
2. これらのポイントからその区域の写真を撮ります。ドローンを持っている場合は、印をつけた場所を参照して空撮をします。
3. マーカーはそのままにしておき、1年後に同じ場所と角度から再度写真を撮る。
4. マーカーはそのままにしておき、1年後に同じ場所と角度から再度写真を撮る。ERCのデータベース(およびデジタル・クラウド/ドライブ・フォルダ)に保存して、hello@erc.earth に送信してください。

再生の範囲

生態系の再生から得られる利益は大規模なものほど大きいことから、再生の範囲は生態系回復の重要な要素です。(ERCはどのような規模のプロジェクトでも歓迎し、支援します。)

方法

1. 「復元中の領域」とは、あなた自身の復元サイト内またはフェンスの向こう側で、復元活動に貢献している領域のことです。一方、「潜在的な復元領域」とは、公共または私有の隣接する土地の中で、形式的な計画や土地の取り決めがなくても、復元が行われる可能性がある領域のことです。例えば、野生動物の回廊を確立するための協力的な取り組み、あなたのサイトで行っていることを複製するための取り組み、または復元コンサルティング業務を行うかもしれない地域などが該当します。そうした地域を示す多角形を描いてください。
2. プラットフォーム (Restor や MyMaps など) によっては、分析したい範囲や面積 (m² や ha) を自動生成してくれるものもあります。
3. 再生の範囲、再生の可能性のある範囲 (m² または ha) と日付を記録する。

生息地の連結性

生態系の再生において、自然な回復プロセスは重要な役割を果たし、促進されるべきです。多くの場合、回復プロセスや生態系の回復力は、しばしば生息地の連結性に依存しています(例:種の散布、動物の避難場所の提供など)。したがって、プロジェクトサイト内およびその周辺の生息地パッチ間の最も近い距離を測定するとよいでしょう。

方法

--	--	--

1. 再生地の中またはその周辺において、周辺で回復してほしい特定の生息地タイプを特定し、説明します（これには、これには、生態系の連続性の原則に基づく複雑な農林業システムが含まれ、将来の人間の介入が最小限に抑えられています。農地や人間の居住地など、人間の介入が高い地域は含まれません）。
2. 地域地図や衛星画像を用いて、プロジェクト地域内の特定の生息地間やプロジェクトと広範囲の景観または水域環境との距離を測定します。
3. 生息地のパッチ間の平均距離を計算し、記録します。

土地被覆の変化

効果的な生態系の再生は、生態系機能と関連する生物多様性に対する圧力を理解することと密接に関連しています。土地被覆の有害な変化が陸上生態系の劣化や生物多様性の損失を引き起こすため、土地被覆の追跡は極めて重要です。土地被覆を追跡することは、自分の介入の前に何が起こったかを理解するとともに、周囲の景観のトレンドを把握するのに役立ちます。

方法

土地被覆の検出は、衛星搭載センサーによる電磁スペクトルの異なる波長の反射を感知する複雑なプロセスであり、そのセンサーには再調整するために「訓練された」アルゴリズムと地上データが必要です。現在、オープンソースの衛星画像（例えばセンチネル II などの衛星画像）を使えば、土地被覆の変化を迅速に評価することが容易になっています。プラットフォームによっては、モニタリングしたい地域の土地被覆クラスを自動生成するものもあります。通常、無料の衛星画像の空間分解能は10m~60m（100m²以上のピクセル）です。この解像度に応じて、興味を持っているエリアの特定の劣化前または復元前の土地被覆クラスを識別することができる場合があります。さまざまな時点での衛星画像を通じて、これらの土地被覆クラスの範囲の変化を確認できます。復元地の多角形を考慮して、記録シートに土地被覆クラスの変化（%増減）を年ごとに記録してください。

土地被覆の変化のモニタリングのための無料のデジタルツールとプラットフォーム：

- <https://restor.eco/>
- <https://openlandmap.org/>
- <http://earthmonitor.org/>
- www.globalforestwatch.org/map/
- <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>
- <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>
- http://trends.earth/docs/en/about/data_sources.html
- <https://www.oneearth.org/navigator/>

土壌の健康

指標 1: 土壌の質感

土壌のほとんどの物理的属性と同様、土壌の質感は有益な指標であり、積極的に変えたいものではありません。もちろん、土壌の質感を変化させることを目的とするのであれば、これも経時的にモニタリングすることが可能ですが、予想される変化速度（が遅いこと）を認識しておく必要があります。

--	--	--

検証方法：土壤ジャーテスト⁵

理由

土壤ジャーテストは、土壤の粘土、シルト、砂の割合を確認するもので、土壤中の水と養分の保持を理解する鍵となります。例えば、粘土質の土壤は水と養分をよく保持する傾向がありますが、湿潤な条件下では圧縮や湛水の影響を受けやすく、乾燥した条件下では「焼ける」ような状態が起こる傾向があります。砂質土壤は通常、より安定した構造を持ち、水や養分をあまり保持しません。

結果

砂質の土壤は大きな粒子または粒子を含み、根の発育/浸透が容易ですが、水分と栄養素を長期間保持しません。

シルト質の土壤は中程度の大きさの粒子を含み、水分、栄養素、および根をよく保持します。ただし、シルト質の土壤は表面流出によって容易に流出し、または圧密される可能性があります。

粘土質の土壤は、非常に小さな粒子である板状粒子を含んでおり、表面積と質量の比率が高いです。これは、粘土質の土壤が水分と栄養素を非常によく保持することを意味しますが、時にはあまりにもよく保持しすぎるために問題が生じることもあります。乾燥すると「ハーッドパン」が形成されたり、湿った状態では非常に圧密されるため、根や庭の道具の浸透が困難になります。

ローム質土壤は、砂が30～50%、シルトが30～50%、粘土が20～30%で、有機物が5～10%含まれています。⁶

必要な材料

- ガラス瓶
- タイマー
- 水
- 定規/メジャー
- マーカー

方法

1. ガラス瓶に印を付けます。総容量の半分の位置に印を付け、その後、それぞれの半分をさらに2つに分割します（瓶の容量の1/4、1/2、3/4、4/4の4つの印ができるはずです）。
2. サンプルする各地点から深さ約30cmの土壤を垂直に切り取る。
3. 大きな石や有機物を取り除き、すべての塊を砕く。
4. 瓶の半分に土壤を詰めます。
5. 指で土をできるだけ押さえ、空隙を少なくしてください。側面の部分はペンを使ってください。
6. 瓶の3/4の印まで水を入れて、土壤が水に浮くまで3分間激しく振ります。
7. 瓶を水平な場所に置き、1日以上放置した後、**タイマーをスタート**させます。

⁵ *The Permaculture Research Soil Test Handbook* より引用

⁶ "Teaming with Microbes: The Organic Gardener's Guide to the Soil Food Web" Lowenfels & Lewis 著 (2010)に記載されている

8. 1分後、瓶の側面に、底に沈殿した粒子のレベルに印をつけます。これが試料中の砂の容積です。
9. 水が澄んだ後（24時間以上かかる場合もある）、瓶の側面に粒子のレベルの印をつけます。これが試料中のシルトの容積です。
10. 水が澄んだら（24時間以上かかる場合があります）、瓶の側面に粒子のレベルをマークします。これが試料中の粘土の容積です。
11. 定規やメジャーを使い、瓶の上の距離から、土のサンプルに含まれる砂、シルト、粘土の相対的な割合を計算します。
12. 下の土壌質感の三角形を使って、使用する土壌の種類を決定します。
13. 結果を記録します。

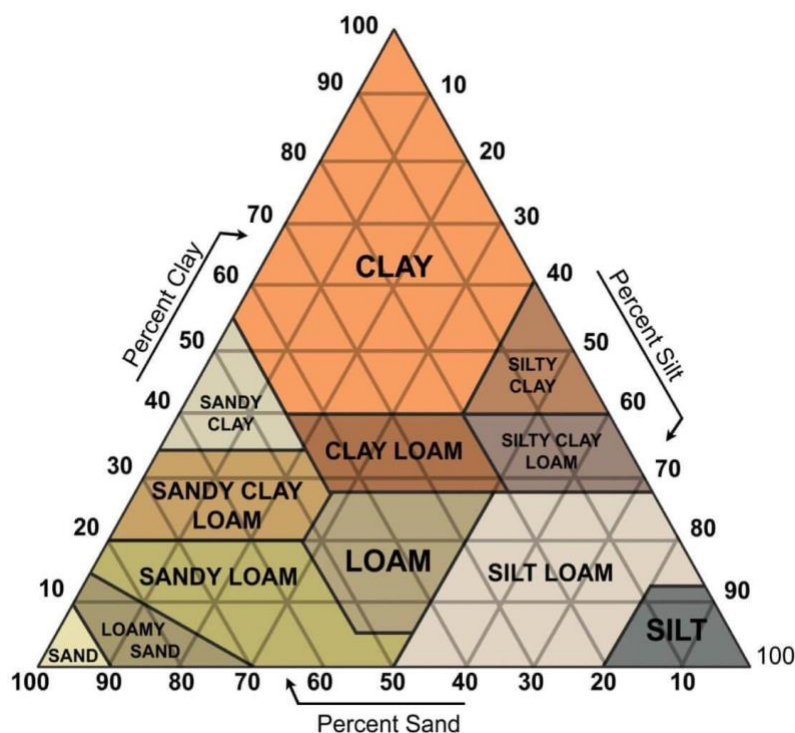


Figure 1 Triangle to classify soil by texture

指標 2: 土壌構造と団粒の安定性

土壌の構造と団粒の安定性は、土壌が根と土壌生物に水と空気を供給する能力と関連している傾向があります。

検証方法 (1): 落下と粉碎⁷

理由

⁷

<http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0HDED9M9K7GFQ0>
2 より引用

--	--	--

土壌構造は、土壌の通気性と気体交換速度、水の移動と貯留、地温、根の浸透と発育、養分の循環、構造の劣化や浸食に対する抵抗性を調節します。これは、種子の発芽と出芽、バイオマスの生産性と品質にとって重要な要素です。

結果

構造が良いということは、植物の根がより多くの土壌、養分、水を探索できることを意味します。逆に、土壌の構造が悪いと、湛水、表面流出・浸食、排水の問題が生じやすくなり、植物の生育や他の（微小）生命体が利用できる栄養分や水の量が制限されます。

通常、土壌に有機物を取り入れることで土壌構造を改善することができます。「シャローパン (shallow pan)」に対処している場合は、ジャガイモのような根菜類を植えると助けになるかもしれません。より深い土壌硬度（コンパクション）の問題に対しては、何もしないか、一度耕して土壌をほぐし、その後土壌保全の方法を採用し、再び有機物を加えることも検討できます。

必要な材料

- 頑丈な容器（バケツ/プラスチックボックスでも可）
- 園芸用の鋤（すき）
- 大きめの透明な袋

方法

1. 各サンプリングの採取地点で、まず、密生した根系を含む 0~5cm の表土を、その下の土を乱さないように取り除く。
2. 鋤で 20x20x20cm の立方体の表土を取り除きます。
3. 土壌サンプルを 1メートルの高さ（腰の高さ）から容器の固い底面に向けて最大で 3 回落下させます。最初または 2 回目の落下後に大きな土塊が砕けた場合は、その 1 つまたは 2 つを個別に再び落とします。最初、または 2 回目の投下で土塊が細かく砕けた場合は、再度落とす必要はありません。どの土塊も 3 回以上は落下させません。
4. 露出した割れ目や亀裂に沿って、手で各塊を分割します。
5. 土壌を大きなプラスチック袋に移します。
6. 最も粗い部分を一方の端に、最も細かい部分をもう一方の端に移し、凝集体の大きさの分布を測定する。団粒の分布を下の 3 枚の写真と比較します。

--	--	--



2 = 良好

1 = 中程度

0 = 不良

- 良好 (2): 細かい団粒の良好な分布で、著しい塊は見られません。
- 中程度の状態 (1): 土壌には粗くて固い団粒と碎けやすい細粒の療法が含まれています。
- 不良 (0): 極めて粗く非常に固い団粒が多く、細粒はほとんどありません。

検証方法 (2): 土壌のスレーキング試験

注意: スレーキング試験は粘土を多く含む土壌では、あまり有効ではありません。

理由

スレーキングは、土壌団粒の安定性、侵食に対する抵抗性、および/または湛水問題に対する感受性を示す簡単な試験です。スレーキングは、空気中で乾燥した大きな土の団粒 (3~5mm 以上) を水に突然浸すと、より小さな微小の団粒 (0.25mm 以下) に破壊されることで起こります。)

結果

一般的に、有機物含有量が高い土壌は、湿らせるとすぐにバラバラには崩れません。つまり、土壌粒子を結合させる成分である有機物が多いほど、土壌が崩れる速度が遅くなります。各区画についてスコア 1 を目指すべきです。

必要な材料

- 1cm メッシュのシート
- ガラス瓶 (調査対象となる各区画に 1 つずつ)
- 水

方法

1. 瓶に水を入れる
2. 各瓶の内側または上部にメッシュの切れ端を「吊る」します (土壌が直接底に沈むのを防ぐため)

--	--	--

3. 各区画から空気乾燥した土塊（直径 4～6cm）を採取します（目視試験を行った場合は、各土壌スライス/区画から小豆大の土塊を 3 つ選びます）
4. 異なる土壌片を異なるメッシュ/瓶に入れます
5. 10 分間、土壌の断片を観察します
6. 各区画についてスコアをつけます：

1= 完全な崩壊/不良状態（団粒が完全に崩れ砂粒になっている）

2= 部分的な崩壊/適度な状態（団粒は崩れてはいるが、一部が上部に残っている）

3= 崩壊なし/良好な状態（変化なし、きれいな水）

参照

-<https://www.isqaper-is.eu/soil-quality/visual-soil-assessment/73-soil-slaking-test-soil-stability>

<http://soilquality.org/indicators/slaking.html>

指標 3: 表土

検証方法: 表土の深さ

理由

自然再生と生態系の継承は、健康な土壌が育つかどうかにかかっています。複雑な栄養カスケードの中で複数の動植物種を維持する肥沃な土壌は、生物多様性が高く回復力のある生態系の基礎を形成します。リター層と表土（または有機物）層の厚さを測定することで、ある種の介入が土壌を育てているか、否定的に影響を与えているかがわかります。

結果

自分の測定値から以前の*表土の測定値を差し引くことで、ある介入が土壌の成長に役立っているのか（値がプラスの場合）、表土を失っているのか（値がマイナスの場合）を評価することができます。明らかに、数値の大きさは表土が成長または消失している速度について何かを示しています。

*昨年調査時またはベースラインより

必要な材料

- シャベル
- メジャー

方法

1. 各サンプリングの採取地点で、可能でな限り深さが 50cm の深さまで穴を掘ります（または、根が繁茂している濃い色調の土壌から、根の塊がほとんど/まったくない明るい下層土まで、土壌の色が変わるまで）。
2. この深さまで到達するのが難しい場合は、データシートにメモを残します。
3. 各穴の表土層の厚さ（cm）を、表面から下層土の境界まで測定します。
4. 各区画の平均表土の深さを計算します。
5. これらの値（単位：cm）を記録シートに記録し、それがどの帯域に該当するかを記入します：非常に浅い（VS）=15cm 未満、浅い（S）=15~30cm、中程度に深い（MD）=30~50cm、深い（D）=50cm 以上）。
6. 毎年この作業を繰り返します（前回の測定で土が移動した場所を掘らないように、印からおよそ 1メートル離れた場所に穴を掘ります）

参照

--	--	--

土壌で何が起きているのか、より深く知りたい場合は、別の場所で説明されているように、土壌プロフィールを調べることをお勧めします：

- http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e02.htm
- <http://www.sciencepartners.info/smsp/module03/FieldProtocolSoils.pdf>
- https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054308
- <https://doityourselfforestryblog.wordpress.com/2016/05/27/what-are-the-different-soil-horizons/>

指標 4: ティーバッグ分解速度

検証方法: ‘ティーコンポジション試験’⁸

注意: この試験用のティーバッグをリクエストしたい場合は、hello@erc.earth に連絡してください。

理由

土壌中の「腐葉」がどのように分解されるかを評価することは、有機物の分解や栄養循環などの土壌機能を分析するためによく用いられる方法です。「ティーコンポジション（茶葉組成）試験」は、市販の（緑茶とルイボス茶の）ティーバッグをあらかじめ作られた「腐葉袋」として使用する、シンプルで安価な標準化された方法です。理想的には、北半球の場所では6月の初めに、南半球の場所では11月/12月にこの試験を行います。ティーバッグの残りの重量は、埋設後3か月後、そして埋設後1、2、および3年後に測定します。

結果

この方法により、各区画で分解された茶葉の割合を計算することができます。分解速度は、土壌の生物学的性質と栄養循環についてを示しています。植生からの炭素投入に加え、分解速度は、気候の変化によって土壌が炭素を失うか得るかを予測するのに重要でです。区画間、あるいは場所全体の結果を比較することで、生態系回復のための介入策をそれに合わせて管理することができます。将来的には、このようなデータは、世界的なデータベースや土壌の「ティーコンポジション」に関する研究に貢献する可能性があります。

必要な材料

- 区画ごとに8本の棒/金属ポール
- 区画ごとに16個のLipton緑茶バッグ (EAN番号: 8 722700 188438)
- 区画ごとに16個のLiptonルイボスティーバッグ (EAN番号: 8 722700 188438)
- ティーバッグにラベルを付けるための油性ペン
- ジップロック袋、タッパーウェア、または蓋付きの防水容器
- 計量器 (はかり)
- 小さな鋤 (すき)
- メジャー

方法

⁸ 出店: www.teacomposition.org/wp-content/uploads/2019/05/TeaComposition-protocol_GLORIA_final.pdf; ティーコンポジション中黒いにしてアティブについては www.teacomposition.org を参照

--	--	--

1. 各区画内で、緩やかな傾斜のある（傾斜に沿った非常に急な場所や平坦な場所は避ける）、少なくとも 1m² の代表的なサンプリングの場所を 2 つ選びます。
2. 棒/金属製のポール/色をついた石などを使って、これらの区域に物理的な目印をつけ、簡単に見つけられるようにします。
3. これらの区域の標高と GPS 座標、可能であれば土壌タイプを記録します。
4. ティーバッグに、ティーバッグの数（1～16）、ティーの種類、研究しているゾーン、研究しているサンプリングの場所（1 または 2 など）を表す一意の識別子コードを付けます。たとえば、2GRCOM1 = 「堆肥を施したエリア」の 2 番目の緑茶バッグがサンプル採集場所 1 に埋められます。
5. 埋める前にティーバッグの重量を量り（できれば小数点以下 4 桁）、その重量を記録します。
6. ティーバッグをジップロックバッグまたは（タッパーなどの）箱に入れ、埋めます。
7. 培養/埋没の開始日を記録します。
8. 糸と釘を使い、各サンプリングの場所に 4 本の線を引きます（各線の長さは 40cm、線と線の間は 10cm）。
9. 各線に沿って 4 本の溝（約 10cm ごと、深さ 5cm 以上）をやさしく掘り、ティーバッグを入れるためのポケットを作ります。
10. 各ラインに、緑茶ティーバッグ 2 個＋ルイボスティーバッグ 2 個をおよそ 5cm の深さ、または鋤物の土壌層に埋め、タグの識別コードが表面に見えるようにします。
11. カレンダーで回収日またはサンプリングポイントを計画します（埋めた後 3、12、24、および 36 ヶ月後）。

ティーバッグの回収…

12. 各プロットから緑茶 2 袋とルイボス茶 2 袋を回収します（ロープを引っ張らず、代わりに土を持ち上げてティーバッグを回収してください）（1 つのサンプリングの場所につき 1 つの「培養」ライン）。
13. これにより、各サンプリングの場所と区画ごとに回収される緑茶とルイボス茶の袋が 4 つずつになります。
14. 根や土などからティーバッグをきれいにし（ティーバッグを傷つけたり、茶を失わないように注意してください）、バッグが損傷しているか、表面で見つかったかどうかを記録します。
15. すべてのティーバッグをジップロックの袋や箱に入れ、ラベルを確認します。（ラベルがない場合は、ライン内の前後のバッグ番号を基にしてください）。
16. ティーバッグを 70℃で 48 時間乾燥させます。
17. 空のティーバッグの重さを測定し、その重さを記録します。
18. データシートに結果を記録します。
19. 12、24、および 36 ヶ月後に手順を繰り返します。

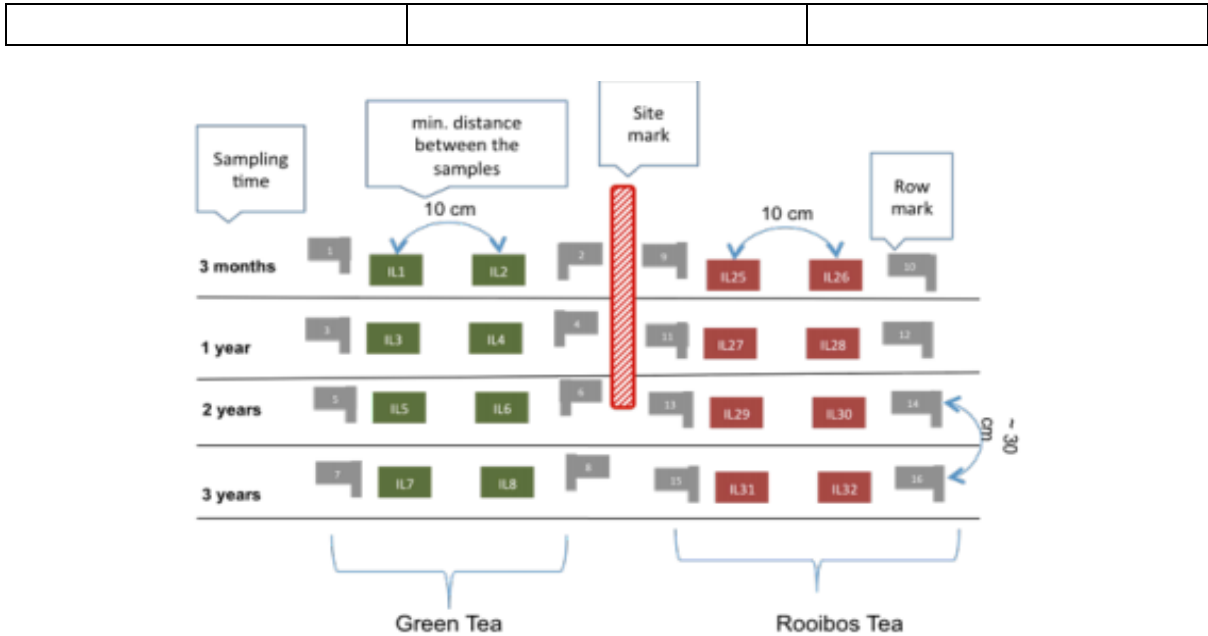


Figure 3: Sampling design of TeaComposition⁴

指標 5: 土壌の堆積レベル

検証方法: 土壌堆積試験

この指標は、再生利用によって土壌が失われたのではなく、蓄積されたことを示すものです。これを検証する手段は土壌蓄積テストと呼ばれ、その方法は以下の通りです：

理由

現代の産業用地利用は、土壌侵食の主要な原因です。土壌が除草されると、肥沃な表土が緩み、簡単に風で吹き飛ばされたり、雨によって流されたりします。この傾向を逆転させることで、土壌は失われるのではなく、蓄積されるようになります。

結果

区画固有のスポット間の平均高低差を取り、それをプロットの面積サイズで乗算することで、土壌の蓄積量（または損失量）の推定値を得ることができます（体積の単位で表されます）。その後、調査したいすべてのエリアに対してそのような値を推定することで、各区画の土壌蓄積の年間平均を記録できます。

必要な材料

- 1mのネジつきロッド(ホームセンターなどで入手してください)
- スプレーペイント

方法

1. 各サンプリングのポイントで、ポールを地面の半分まで押し込みます（つまり、ポールが1メートルであれば、地面に50cm深く押し込んでください）。これにより、ポールがしっかりと固定され、自然に動かないようにします。
2. ポールが地面に入る深さのレベルにスプレーペイントをします。

--	--	--

- 1年後にポールに戻り、現在の土のレベルに印をつけます。
- ネジつきのロッドを設置した場所の座標を記録します。

指標 6: 土壌の圧縮

これは、再生現場の土壌の圧縮が減少していることを示す指標です。

検証方法: これを検証するために、2つの異なる手段を提案します。最も簡単な方法は、いわゆる(a)ペネトロメーターテストですが、ペネトロメーターを持っていない場合は、代替手段として(b)容積密度テストを実行します(これには電子レンジが必要です。)

理由

土壌のコンパクションは、植物の根が地中に浸透するのに苦勞し、水や酸素が届きにくくなるため、植物の生育能力を大幅に制限します。土壌のコンパクションを測定することで、植える植物が生き残ることができるのか、それとももっと減圧する必要があるのかを判断することができます。土壌の圧縮は、土地から植生が除去されることによって引き起こされ、砂漠化の主な原因となっています。

(a) ペネトロメーターテスト

必要な材料: ペネトロメーター

方法

- 各サンプリング地点で、ペネトロメーターが300 psi を超えるまで押し下げます。
- 深度(300 psi 以上)を「圧密層の上側」として記録します。
- 圧力を下げて、300 psi 以下の値が見つかるまでペネトロメーターを押し続けます。
- 2番目の深度/レベル(300psi 未満)を記録します(つまり、「コンパクション層の底部」)
- 各区画/モニタリングユニット内でこれを数回繰り返します。

結果

調査している各区画について、ペネトロメーターの抵抗値が

- 300psi を超えることがない場合、根系を制限する有意な圧密はありません。
- 300psi を超えるが300psi を下回らない場合、根系にとって問題となる可能性の高い深い圧密層を示します。

最上部 40cm で 300psi を超えたサンプリングポイントの割合	圧縮の評価	減圧の必要性
< 30	Little to none	No
30-50	Slight	No

--	--	--

50-75	Moderate	Yes
>75	Severe	Yes

(b) 容積密度テスト（および土壌水分含有量）

必要な材料

- 庭用トロウエル
- 平らな刃のナイフ
- 密閉袋とマーカー
- はかり（0.01g 精度）
- スズ
- 定規またはメジャー
- ハンマー/金槌と木材ブロック（リングを打ち込むため）
- 電子レンジ

手順

1. 区画ごとにポイントを 1 つ選び、前年に定義したポイントであれば、そこから 2 歩歩く。
2. これらのポイントに、物理的に（マーキング）、サイトマップとデータシートの両方に数字、文字、または名前を付けて、その後も戻ってこれるようにします。
3. スズの上部/下部を取り除いて、金属の筒だけが残るようにします。
4. スズを土壌にしっかりと押し込みます（木片/ハンマーを使用して）、2/3 になるまで。
5. リングの直径を測定し、半分にして半径を求めます。
6. スズが土壌に入った正確な深さを決定するには、スズの上端から土壌表面までの高さを 4 回均等に測定し、平均を記録し、これをスズの総高さから引きます。これにより、スズが土壌に入った深さが得られます。
7. ステップ 6 と 7 の値をデータシートに記録します。
8. 周囲を掘り、土が抜けないように、リングの下にトロウエルを入れ、リングを取り除きます。
9. サンプル全体を袋に入れ、ラベルを貼ります。
10. 調査したい区画ごとに、これを繰り返します。
11. 湿った土壌サンプルの重量を記録します（はかりの上に乗せる袋や容器を差し引きます）。
12. 乾燥させるには、土壌サンプルを電子レンジに入れ、フルパワーで 4 分間を 2 回以上繰り返します。電子レンジのドアを 1 分間開けて、換気します。（土壌が乾燥しているかどうかを判断するには、サンプルの重量を量り、4 分サイクルの後にその重量を記録する。乾燥サイクルの後、重量に変化がなければ、乾燥しています）。
13. 乾燥した土壌サンプルの重量を測定し、データシートに記録します。
14. データシートの式を使用して塊の密度を計算します（以下のデータシートを参照してください。土壌の水分含有量および空隙率も計算できます！）

$$\text{土壌の水分含有量 (g/g)} = \frac{\text{湿った土壌の質量} - \text{オープン乾燥土壌の質量}}{\text{オープン乾燥土壌の質量}}$$

$$\text{土壌容積密度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{土壌のオープン乾燥質量 (g)}}{\text{土壌の容積 (cm}^3\text{)}}$$

--	--	--

$$\text{土壤の空隙率 (\%)} = 1 - \left(\frac{\text{土壤容積密度}}{2,65} \right)$$

結果: このプロトコルに体系的に従えば、土壤がどの程度緩んでいるか、または圧縮されているかがわかります。高い容積密度は、空隙が少なく、したがって圧縮が高いことを意味します。

指標 7: 水分浸透性および保水性

検証方法: これは、再生を開始する前よりも土壤に水が保持されていることを示す指標です。(a) **保水性試験**は、24 時間稼働できるオープンや感度の高いはかりがあれば適していますが、土壤の水分を評価するための、よりよい簡単で迅速な方法を探している場合は、(b) **浸透性試験**を行ってください。

理由

健康な土壤は水を保持し、浸透させますが、不健康な土壤はそうしません。土壤の湿度は光合成や生態系の機能の基礎です。一般的に、土壤の保水能力 (WHC) は有機物と炭素含有量とともに増加します。修復前、修復中、修復後に WHC を測定し、変化を追跡します。

保水性試験 (WHC 試験) ができない場合、土壤の浸透性を測定することで、土壤の「スポンジの振る舞い」や水の貯蔵と保全の他の生態機能について何らかの情報が得られます。

これらの試験 (いずれか、または両方) の結果は、水の浸透を促進し、流出や蒸発からの水の損失を減らすように、将来的な土壤管理方法を導くことができます。

結果 (WHC および浸透性試験)

保水力が小さいか、または水の浸透が遅い場合、土壤中に「ハードパン」/土壤の圧縮が高い状態か、または土壤の有機物の割合が少ないことを示している可能性があります (一般に、粘土質が多く浅い土壤は、砂質の深い土壤よりも排水が遅い傾向があります)。これはまた、大雨の際の表面流出のリスクの増大にもつながる可能性があります。したがって、土壤の健康状態をより深く理解し、どの戦略を優先させるべきかを見極めることができます。再生プロセス中に試験を繰り返すことで、再生の取り組みが成功しているかどうかわかります。

(a) 保水性 (WHC) 試験

必要な材料

- ・ コーヒーフィルター
- ・ ゴムバンド
- ・ 両端が取り外された開口缶/円筒
- ・ 50 グラムのオープン乾燥した土壤サンプル (ゾーン、日付など適切にラベル付け済み)
- ・ 105°Cに達するキッチンオープン/電子レンジ

方法:

1. 各区画から複合土壤サンプルを採取し、適切にラベルを貼ります。

--	--	--

2. オーブンを使用する場合： 土壌を 105℃のオーブンで 24 時間焼き、水が蒸発するまで 冷 却 し ま す。
電子レンジを使用する場合： 土壌サンプル（複数）を電子レンジに入れ、フルパワーで 4 分間を 2 回以上繰り返します。サイクルの間に電子レンジのドアを 1 分開けて、換気します。（土壌が乾燥しているかどうかを判断するために、各 4 分サイクル後にサンプルの重量を測定し、記録します。乾燥サイクル後、重量が変わらなくなったら、乾燥しています。）
3. フィルター紙を缶の端にゴムバンドで留めます。
4. 缶の端のフィルター紙を少し湿らせて重量を測定します。（重さ R を記録します）
5. オーブン乾燥した土（105℃）を缶に入れ、再度重さを量ります。（この重さ S も記録します。）
6. 缶の下半分が水に浸かるように、缶（フィルター紙を下にして）を水にセットします。
7. 14～16 時間（または一晩）放置します。
8. この時間が経過したら、水から取り出し、水切りラックに移して約 30 分間水きりませす。
9. 缶の表面の水分を拭き取り、1 回（5 秒間）ふやかして重量を測定する（「WS」と記録します）。
10. 次の式を使用して、土壌サンプルの保水性（WHC）を計算します。

$$\text{WHC} = 100 \times (\text{WS} - \text{S}) / \text{S}$$

ここで

- WHC: 保水能力（乾燥土壌 100g 当たりの保水された質量（mL））
- S: 乾燥土壌の重量（g）
- WS: 土壌 + 追加された水の重量（g）

--	--	--

(b) 土壌浸透性試験

必要な材料

- ハンマー (hand sledge) と木製ブロック
- 空の缶または底なしのケーキ型
- マーカー
- ラップ
- 500 mL のボトル
- 水
- ストップウォッチまたはタイマー

方法

1. 缶の上部/下部を取り外して、金属の筒になるようにします。
2. 各区画ごとに1つのサンプルサイトをランダムに選択します。
3. これらの地点に番号、文字、または名前 (inf1 など) を付けて、物理的 (例: マーキング棒を使用) に、またその後の測定のために再びその地点に戻れるように、サイトマップに記載する。
4. 1x1m の範囲の土壌を植生から解放し、ゆっくりと数時間、飽和状態になるまで水に浸す (理想的なのは、今後 3 日間晴れの予報が出ている、かなりの降雨があった後)。
5. サンプルングの場所の草木を刈り取ります。
6. 金属管を土壌に半分埋めます。
7. 土壌が湿っているか圃場容水量に近い場合は、ステップ 8 に進んでください。土壌が乾燥している場合は、500 mL の水を筒の中に注ぎ、表面が露出するまで待ってください。
8. 500mL の水をできるだけ静かに缶に注ぎながらタイマーをスタートさせます。
9. 水が浸透したとき (表面が完全に浸されるのではなく、ちょうどきらめいているとき) に時間を止めます。土壌が不均一な場合は、表面の半分以上が露出し、ちょうど輝くまでの時間を数えます。
10. 各サンプルの場所/管理エリアの時間をデータシートに記録します。

指標 8: pH

検証方法: pH カラー試験 (または プローブ)

この指標は、pH テスト用紙 (リトマス紙) を使用してテストできます。これは安価で、オンラインや薬局、高校の化学実験などで簡単に入手できます。

理由

土壌の酸度/アルカリ度を確立することは、健康な植物、野菜、果樹の成長の必要性や可能性に関する有益な洞察をもたらします。

結果

ほとんどの植物は、良好な成長のために pH が 6 から 7/5 の間であることが必要ですが、実際には、より酸性またはアルカリ性の土壌を好むものもあります。これは、何を育てたいか、またはどのように土壌を育てたいかを考える際に役立ちます。

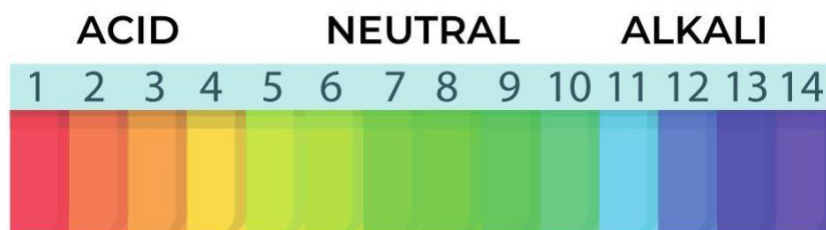
--	--	--

必要な材料

- 土壌を混ぜるための袋または箱
- pH テスト用紙とチャート
- カップ
- 水

方法 (colour strip)

1. 土地に存在する各区画を代表する少なくとも3つの地点の土を混ぜます。
2. カップを土で2/3埋めます。
3. カップに水を加えて土壌が覆われるようにします。
4. 1分間よくかき混ぜます。
5. pH紙を土壌溶液に完全に浸します(3秒間)。
6. pH紙を取り出して、速やかに(溶液に使用したのと同じ水源から)水で洗います。
7. pH用紙を光にかざし、下のカラーチャートと色を比較します。
8. データシートにpH値を特定して記録します。
9. 他の区画についても同じ手順を繰り返します。



指標 9: 土壌の生物活性

検証方法: ミミズ試験

注: ミミズ試験はすべての生態系に適しているわけではありません。このようなケースに対応する代替試験の開発にご協力いただける場合は、ご連絡ください。

これは、土壌を作り、栄養素を循環させ、その他多くの重要な要素である生物学的活動を反映する指標です。

理由

土壌中に存在するミミズの数を確認することは、土壌の生物学的活動の代理指標となります。この重要な生物は、有機残渣の分解を助け、(ミミズが穴を掘ることによって)土壌浸透性と団粒化を改善する溝を作ります。

結果

--	--	--

サンプル地点に生息するミミズの総数は、栄養素の循環、土壌の構造、および肥沃度などの生態学的機能のおおよその指標となります。

必要な材料

- 2 L の水道水
- トロウエル、またはシャベル
- ミミズの収集と洗浄用の大きな瓶/容器
- マスタード溶液（マスタードパウダー大さじ 2 を 2 リットルの水に溶かしたもの）

方法

1. 管理区域ごとに無作為にサンプル地点を 1 つ選びます。
2. これらの地点に番号、文字、または名前を物理的（例：標識棒を使用）に、またサイトマップにラベル付けし、その後の測定の際に再びその地点に戻れるようにします。
3. 30×30cm の正方形の区画を測定します（注意：マルチングや堆肥の山など、ミミズの個体数に影響が出る可能性のある場所でのサンプリングは避けます）。
4. 手すりやスコップで 30cm まで掘り進め、ミミズに与えるダメージを最小限に抑えます。
5. ミミズの数数を数えます（見つけやすくするために明るい色の背景をおすすめします）。
6. 穴にマスタード溶液を追加し、深く掘った場所にいるミミズが現れるのを待ちます（通常、5 分以内に現れます）。
7. 深部に潜伏していたミミズの数数を数え、3 の数に加えて、ミミズの総数を求めます。
8. 各区間/サンプル地点の年間数をデータシートに記録する。
9. ミミズを水で洗って、土に戻します。

--	--	--

指標 10: 土壌動物相

検証方法: 手作りツルグレン漏斗⁹

理由

土壌生態系にはさまざまな動物が生息しており、そのほとんどは「定住者」ですが、「一時的な居住者」もあります。土壌動物はエンジニアであり、自らの生息地の形成に積極的に参加しています。土壌動物の種組成、多様性、数量、および機能は異なる土壌タイプによって変化します。しかし、主要なグループはおおよそ同じです。

このテストが土壌の生物多様性と個体密度を簡単に安価、楽しくかつ魅力的な方法で研究するのに役立つことを願っています。

必要な材料

- 土壌サンプル用ジップロックバック
- 漏斗 1 個
- 1cm メッシュのシート（土壌のスレーキング試験で使用したのと同じものでもよい）
- 側面が滑りやすいジャム瓶/採取容器 1 個
- 湿らせたティッシュ（瓶/採取容器の底に敷く）
- デスクライト（白熱灯、発熱するもの）

方法

1. 調査する区画ごとに 1 つずつの袋にラベルを貼ります
2. 調査したいエリアから 1kg の土壌サンプル（深さ 0~20cm の間）を採取し、それぞれの袋に入れます。
3. 次に、メッシュを漏斗の半分まで入れ、湿らせたティッシュを瓶/昆虫採集容器の底に置きます。
4. メッシュのついた漏斗を瓶または昆虫採集容器の上に置きます。
5. 土壌サンプルを手で一握り取り、漏斗の中に入れます。
6. ライトを漏斗内の土壌に照射するように位置を調整します
16~22 時間かけて、土壌中の昆虫、ダニ、その他の無脊椎動物が光と熱から徐々に遠ざかり、容器に落ちていきます。35.1°C~35.2°C の温度範囲で 16~22 時間の連続加熱を行った後、土壌微生物の最大抽出量を記録することができます (Bano and Roy, 2016)。
7. 生物の数を記録し、その大きさに応じて分類します（以下を参照）。
8. 昆虫をその生息地に戻します。
9. 各土壌サンプルについてこの手順を繰り返します。

結果

- i. メソファウナ (Mesofauna) : 体サイズが 20~200 μm の生物群。このカテゴリ内で完全に見られるのは原生生物のみであり、他の生物としては小さなダニ、線虫、輪形動物、緩歩動物、水生節足動物などが上限に含まれます。
- ii. ミクロファウナ (Microfauna) : 体サイズが 200 μm ~2mm の生物群。このグループの主な代表者はダニやコウチュウなどの微小節足動物であり、また線虫、輪形動物、緩歩動物、小さなクモ類、擬蠍類、トゲクモ類、昆虫の幼虫、小さな等脚類、多足類も含まれます。

⁹ 引用元 <https://www.isqaper-is.eu/soil-quality/visual-soil-assessment/225-soil-fauna>

--	--	--

- iii. マクロファウナ (Macrofauna) : 大きさが2~20mmの生物。このカテゴリーには、一部のミミズ、腹足類、等脚類、多足類、クモの仲間、昆虫の大半が含まれる。
- iv. メガファウナ (Megafauna) : 体サイズが20mmを超える生物群。このカテゴリーのメンバーには大型無脊椎動物 (ミミズ、カタツムリ、多足類) および脊椎動物 (昆虫食動物、小型のネズミ、爬虫類、両生類) が含まれます。

生物多様性

指標 11: 動物相の多様性

生態系の再生は、より良い生息地のためのレシピです。多くの野生生物の個体数が急速に減少している現在、生物多様性の変化を測定することは、この活動への支持を高めるのに役立ちます。自然観察日記 (付録4参照) に加え、動物相の多様性をモニタリングする2つの方法を提案します:

a) 野生生物のクアドラット調査

理由

生態系における生物多様性の変化を効果的に調査するには、計画的にデータを収集する必要があります。そうすることで、生物多様性が時間の経過とともに生息地の変化にどのように反応するかを調査することができます。このクアドラット調査では、楽しく魅力的な方法で調査を行うことができます。

クアドラットとは、ある土地に野生生物を調査するエリアとして印をつけた、ほぼ正方形の区画やエリアのことです。最初のステップは、調査したい場所に少なくとも1つのクアドラットを特定することです。調査するクアドラットの数は、調査を行うための労力や人員によって異なります。人数が少なく、数時間しか時間が取れない場合は、3つのクアドラットをお勧めします。5~6人以上の大人数で、3時間以上の余裕がある場合は、5~8クアドラットをお勧めします。

クアドラットは最低 10m×10m が理想的ですが、最大サイズはありません。クアドラットの大きさは、その中にどのような生息地の特徴を含めるかによって決まります。例えば、小川や池の一部を含めたい場合は、クアドラットを大きくすることができます (20×20m)。樹木があり、それらを四分木に含めたい場合は、さらに大きくする必要があります (50 x 50 m)。

方法 (注意: アプリやウェブベースのフォームでは異なります)

1. クアドラットの4隅をポールや杭で地面にマークし、他の測量者がクアドラットを簡単に識別できるようにします。クアドラットは、あなたが調査を希望する限り、何年でも同じ場所に残します。
2. 調査を始める前に、以下のデータをデータシート (またはアプリ) に記録します: 日付、プロジェクト名、クアドラット ID、調査番号、現在の天候と可能であれば気温、調査に参加する人数、開始時間。
3. 調査を行う軌跡と開始点/終了点を決める (例えば、常に南東の角を使用し、北西で終了するなど)。
4. 開始地点から終了地点までクアドラット内を歩きます。

--	--	--

5. 興味のある種に出会ったら、可能な限りその種を記録します¹⁰。一般名や学名が分かれば、それを記録します。
6. 例えば、見ている鳥がカラスであることはわかるが、どの種のカラスであるかはわからないかもしれない。見た個体の数を集計し記録します。
例：タリー形式での集計

¹⁰鳥類、昆虫類、哺乳類など、非常に多くの種が存在するため、遭遇した種の識別を始めるのは大変な作業かもしれません。しかし我々は、あなたの場所で見られるすべての種に興味があります。iNaturalist、BugGuide.net、Project Noah、What's That Bug のようなオンラインコミュニティには、すでに多くの種が写真付きで識別され、ユーザーが自分の写真を専門家のコミュニティによって識別してもらうことができます。Merlin、Picture This、Google Lens などのスマホアプリは、いずれも識別に非常に役立ちます

--	--	--

日付	プロジェクト	クアドラット	調査	天気	気温 C	人数	時間	カラス	カブトムシ	ネズミ	トカゲ	ヘビ
19. 04. 21	ERC	1	1	Sunny	18	5	09:00	1	5	1	0	0
19. 04. 21	ERC	2	1	Sunny	18	4	10:00	0	3	0	0	0
19. 04. 21	ERC	3	1	Sunny	18	4	11:00	2	0	0	3	0
19. 04. 21	ERC	4	1	Sunny	18	5	11:30	1	0	0	0	1
19. 04. 21	ERC	5	1	Sunny	18	2	12:00	0	0	0	0	0

7. 次に興味深い種を見つけたら、データシートの次の行に記録します。
8. 遭遇した各生物種の個体数を集計する。各種について、それぞれの個体を別々の行に記録するのではなく、合計した個体数を1行に記録します。
9. 調査が終了したら、終了時刻を記録してください。

b) 夜行性の昆虫

理由

花粉媒介者や害虫・疫病の防除に役立つ種など、生態系で重要な役割を果たす種が多い。生物多様性の単純な代理指標として、夜行性昆虫は有用です。なぜなら、彼らを積極的に探す必要はなく、夜行性昆虫は光に引き寄せられるからです。

生態系の修復の質が高ければ高いほど、より多くの夜行性昆虫を見ることが期待できます。それは、存在する種の数（多様性）にも、それらの種の個体数（存在量）にも当てはまるでしょう。

--	--	--

結果

完全な表面の写真を使って、2 時間後にどれだけの「白い」領域が残っているかを計算します。時間の経過とともに、「白い」表面の量は減少し、生息地の品質が改善されることが期待されます。

必要な材料

- ヘッドライト（現場への往復用）
- 光源
- 光を当てるための明るい色の垂直面（2x1.5m）
- シーツを吊るすための物干し竿/ロープ/紐/ペグ
- カメラまたはカメラ機能付き携帯電話

方法

1. 他の人工的な光から遠く、可能であればクアドラット調査に使用されるクアドラット内に、調査したい区画ごとに1つのサンプル場所を選んで配置します。
2. （他のエリアから昆虫が寄ってこないよう、最低でもサッカー場 2 つ分の間隔を空けて異なるサンプルサイトを設置する。敷地がサッカー場 2 つ分以下の広さの場合は、1 つのテストで構いません。
3. その場所を、物理的に印をつけ、また（デジタル）サイトマップにマークします。
4. 風がなく、乾燥している夕方を選びます。
5. 調査を行いたい場所で、少なくとも 2x1.5m の垂直面を見つけるか、設置します（シートを使用する場合は、2 本の本やポールにロープを取り付け、そのロープにシートをかけることができます。または、枝やフェンスにシートをかけます。）
6. 日没時刻の 1 時間後（これは天気アプリで確認できます）、ライトを点灯して表面全体を 2 時間照らします（状況や使用している機器によっては、照明の位置を調整して表面を最大限に照らす必要がある場合があります）
7. 調査の日時を記録します。
8. 2 時間後、表面全体の写真を撮影します。
9. 表面の昆虫をさらに詳しく観察し、興味深い種を写真に撮ります。多くの種が見つかることに驚くかもしれません。iNaturalist などのリソースを使用して、どれだけの種を識別できるか試してみてください。（識別に関しては以下の注を参照してください）
10. これらの写真を分析のために ERC チームに送付してください。
11. 必要に応じて他の地域でもテストを繰り返します。複数の場所でのこのテストを行う場合は、別の夜に行ってもかまいません。

--	--	--

指標 12: 植物相の多様性

検証方法: スクエア法

理由

時間の経過とともに植物多様性の変化を追跡することで、あなたの介入（または介入がないこと）が種を引きつけ、生態系の全体的な回復力と複雑性を高めているかどうかを知ることができます。ベースライン調査で発見したよりも、サイト内の植物がより多様であることが期待されます。種の豊富さと（在来種と外来種の）存在量の評価は、生態系に望まれる「目標種」の促進に成功しているかどうかを示します。

必要な材料

- 1m² の枠/クアドラット（木や釘をひもでつないだものなど、使用するのに適した素材であれば何でもかまいません。フーラフープであっても構いませんが、面積を知っていること、そして常に同じ器具であることが重要です！）
- カメラ/スマートフォン
- 地域の植物識別ガイド
- 目印となる棒（小さな石、色のついた石、小さな旗などでもよい）
- （トランセクトに沿ってスクエア法を行う場合はメジャーが必要です）

方法

1. 植物相調査に役立つ植物百科事典や地域の植物学資料を調べます。
2. 1m² の枠をさまざまな区画内に配置します（雑草の生産エリアを避けてください。雑草の除去や耕運が予想される場所）；可能であれば、野生生物クアドラット調査に使用されたクアドラット内に配置します。
3. 各クアドラットの角を物理的にマークします（例：マーキング棒を使用）。そして、その中心の座標をプロジェクトサイトの地図に記入します。
4. 各クアドラットの写真を撮影します。
5. 各クアドラットで見つけた種の名前を特定し、特定できない種には固有のラベルを付ける（地元の植物 ID ガイドまたは plantnet などの電話アプリを使用）。可能であれば、各種を「固有」、「侵入」、「未知/その他」のいずれかに分類します）。
6. 1m² 当たりの異なる植物種の数数を数えます（これが 1m² 当たりの「種の豊富さ」です）。
7. 各クアドラットで、3~5 つの最も支配的な種がカバーする面積の%と裸地の%の視覚的な推定を行います（これが「種の豊富さ」の評価方法です）。
8. 値をデータシートに記録します。

--	--	--

(オプション)

9. 他の生態学的変数（例：水分量など）の関係を調査したい場合は、（水分量または標高）勾配を持つトランセクトに沿って植物相クアドラットを調査する。

気候（緩和）

指標 13: 気温差

検証手段: 気温測定

理由

温度は、動植物種の生理的・代謝的プロセス（蒸散、光合成、発芽、呼吸など）を調節し、生態系の変化において極めて重要な要素です。生物は寒すぎず、暖かすぎない、いわゆる最適な温度範囲で成長します。一般に、光合成は温帯生態系では 40°C、熱帯では 50°C で停止し、代謝活動は 0°C 以下では低く、40°C 以上では低下します。

一方で、気温の変化は、水循環、降水パターン、全体的な（微）気候など、他のシステムにも影響を与えます。そのため、生態系の再生中に気温がどのように変化しているかを追跡することが重要です。

これを行う方法のひとつを以下に説明しますが、各季節（熱帯地方では乾季と雨季）、各区画の地表面温度の測定値を手作業で記録するだけでも十分です。重要なのは、その後の分析のために、同じ場所の測定値を長期にわたって記録し、一貫した方法で気温のデータを収集することです。

結果

Monitoring how temperature changes across different sites and heights, helps you gain an understanding of energy flows. If you are able to reduce temperature differentials with your interventions (e.g. restoration site's max surface temperature < control site's max surface temperature in hot days; restoration site's min temperatures > control site's min surface temperature in cold events), you know you are probably helping with the process of homeostasis in/around your ecosystem. In other words, you are promoting an ecosystem that is more resilient to sudden climatic events & weather shocks.

異なる場所や高さで温度がどのように変化するかをモニタリングすることは、エネルギーの流れを理解するのに役立ちます。介入によって温度差を減らすことができれば（例えば、暑い日には回復地の最高表面温度 < 対照地の最高表面温度、寒い日には回復地の最低温度 > 対照地の最低表面温度）、おそらく生態系のホメオスタシス（恒常性）のプロセスを助けているとわかります。言い換えれば、突発的な気候変動や気象ショックにより耐性のある生態系を促進しているといえます。

必要な材料: データロガーまたは温度計

方法

--	--	--

1. 調査したいゾーンにデータロガーを設置する場所を特定します（可能であれば、少なくとも1つのコントロール地点を含めることが望ましいです）。
2. データロガーを設置します。
3. 最低/最高温度の連続記録を確保し、記録日時、地理座標、区画、および高さを記録します。

指標 14: 蒸発散量

検証手段: DIY 蒸発計¹¹

理由

蒸発散とは、植物の蒸散と土壌および植物の蒸発によって失われる水のことで、水循環の重要なプロセスであり、特に乾燥・半乾燥地域では適切な注意が必要です。蒸発散速度の測定には、確立された土壌水バランス法、マイクロ気象学的手法/蒸発計の使用、さらにはコンピュータモデルやリモートセンシング技術など、多くの方法があります（Feddes & Lenselink, 1994）。蒸発散量の測定は、微気候の研究に役立ち、効率的な灌漑戦略を知ることができます。この指標では、専門的な蒸発計はかなり高価であることから、自作の蒸発計を作成することを提案します。

必要な材料

- キャップ付き1リットルボトル
- 不要なCD/DVD 1枚
- 吸水性のある布（古い下着やジーンズなど）
- クリップ3個
- 接着剤
- 輪ゴム
- 定規またはメジャー

DIY 蒸発計の作り方

1. ボトルキャップの中央に15mmの穴を開けます。
2. CD/DVDの中央の穴をキャップの穴に合わせ、円盤をキャップの上部に接着します。
3. 円形に布を切り、ディスクをちょうど覆う大きさにする
4. 幅の狭い布（約15mm）を3本用意し、長さをボトルの高さより6.5cmから7.5cmほど長く切ります。
5. 接着剤が乾いたら、円盤を取り付けたキャップをボトルに取り付けます。
6. ボトルキャップの穴から3つの布を通し、ボトルの底に届くようにします。
7. 布片の露出部分を円盤の上に平らに置き、円盤の端まで切り揃えます。
8. 布片を円盤上に均等になるように並べます。
9. 円盤の上に布の輪を置き、クリップで布と布片を留めます。
- 10.
11. キャップをボトルから注意深く外し、ボトルに水を注ぎます。水は、ボトルの直線部分の上部近くまで入るようにします。上の布も湿らせておくと良いでしょう。
12. ボトルのキャップを元に戻したら完成です。

¹¹ 引用元：<https://xperimentia.com/2012/09/01/a-homemade-atmometer/>

--	--	--

方法

1. 各測定の日時と座標を記録します。
2. ゴムバンドをボトルに巻きつけ、開始時の水位に印をつけます。
3. ボトルに水を補充したり、新たに測定を開始する場合は、ゴムバンドを調整します。
4. ゴムバンドから新しい水位までの距離を測定し、調査したい各区画（耕作/攪乱されていない「参照エリア」を含む）で測定します。
5. 異なる土地利用形態間での蒸発散速度を比較するために、さまざまな区画でこのプロセスを繰り返します。
6. 介入が蒸発散速度にどのように影響するかを評価するには、同じ日付/時刻とジオリファレンスされた場所で毎年または隔年でテストを繰り返します。

結果

高い蒸発散速度は通常、植物の成長に水が制限要因である可能性があることを意味します。このような洞察は、灌漑の必要性を知らせ、特定の節水慣行（例えば、マルチング/土壌被覆の量を増やす）の採用を促すことができる。

指標 15: 土壌有機物 (SOM) と炭素 (SOC) の含有量¹²

これは、土壌の有機物と炭素の含有量が、特定の土地利用や復元介入によって、時間の経過とともにどのように変化するかを示す指標です。これを測定する最も正確な方法は、「強熱減量 (LOI : Loss on Ignition)」ラボ試験です。しかし、ラボを利用できない場合は、「土壌色テスト」を利用することで、SOM/SOC がどのように変化しているかを大まかに把握できます。

理由

土壌有機物 (SOM) がなぜ重要なのかを知るには、SOM の意味を知る必要があります。SOM は、肥沃な土壌、健全な陸上生態系、気候の基盤であり、分解段階の異なる微生物、植物、動物の組織からなる複雑な土壌成分です (Stockmann et al, 2013)。土壌有機物は、地上最大の有機炭素 (SOC) 貯蔵庫でもあり (Liang et al, 20200)、地上バイオマスのほぼ3倍、大気中の2倍、さらには大気と植生の合計よりも多くの炭素を貯蔵しています (Eswaran et al, 1993)。したがって、土壌中の有機物を増やすことは有機炭素を増やすことでもあり、生態系の再生が気候変動の緩和するのにも役立ちます。ひいては、炭素が土壌に隔離されていることを示すことは、この解決策に投資する価値があることを世界に示すことにほかなりません。

炭素だけでなく、有機物は養分の重要な貯蔵庫であり、団粒の形成と安定性に大きく寄与し、あらゆる土壌タイプ（砂質、粘土質、ローム質、およびその中間）の生態系機能において中心的な役割を果たしています。SOM は、肥沃度と関連する（一次または作物）生産性、土壌の通行性、水文学（浸透/流出速度と洪水レジーム）に影響を与える (He et al, 2012; Hatten & Liles, 2019) だけでなく、pH を維持します。さらに、おそらく最も重要なことは、分解生物を十分に養うことです。そのため、SOM レベルの増加は、容積密度の低下、保水力の増加、浸透、根の増殖など、土壌に関連する他の結果に影響を及ぼします (Hillel & Hatfield, 2005)

¹² 土壌の有機物/炭素含有量も「土壌の健康」の良い指標です。

--	--	--

検証方法 (1): 強熱減量 (LOI) ラボ試験

必要な材料

- 鋤 (すき) /オーガー 1つ
- 清潔なバケツ 1つ
- サンプル採取用の清潔なジプロック 1枚

方法

(ラボ独自の実験プロトコルがある場合は、以下の方法/手順を無視してください)

1. 採取するサブサンプルの場所を決め、準備します: 例えば、斜面の上部、中央部、下部から、または圃場、牧草地、庭の花壇に散在している場所など、調査したい区画を代表する少なくとも 5 から 10 の場所を選択します。不規則な場所や境界線での採取は避けてください。
2. 選択した各区画において、5m 間隔で 2 つの土壌サブサンプルを採取し、ジプロック袋に入れた 1 つのサンプルに混ぜ合わせます。
3. 土壌表面の残渣や植物を取り除きます。
鋤 (すき) を使用して、準備した区域の中央に、深さ約 20 センチの小さな穴を掘ります。穴の横から土を垂直に長方形に切り出し、深さ 15 センチ、厚さ 5 センチを目安にする。余分な土壌は取り除いて、深さ 15 センチ、厚さ 5 センチ、スペードの幅のほぼ均一な「土壌のスライス」ができるようにします。スライスが上部 15 センチを均等に表現していることを確認してください。土壌のスライスを清潔なバケツに入れます。
4. このエリアで選んだそれぞれの場所でサンプリング手順を繰り返し、バケツの中の土壌を混ぜ合わせます。土壌を砕き、バケツの中のサブサンプルを十分に混ぜ合わせます。
5. Once the soil is sufficiently mixed, take an amount needed by the lab for analysis (specify that you want to measure Soil Organic Matter (SOM) using the Loss on Ignition (LOI) test, and transfer into the clean ziplock bag to transfer to the lab (0.7 liters of soil should be sufficient).
6. 土壌が十分に混ざったら、ラボで分析に必要な量を取り、強熱減量 (LOI : Loss on Ignition) 試験を用いて土壌有機物 (SOM) を測定したいことを明記し、ラボに送るために清潔なジプロックバッグに移す (0.7 リットルの土壌で十分です)。

ラボの手順

- 1) 105° C で 24 時間、土壌サンプルを焼成します。
- 2) クルーシブルの重さをはかります。
- 3) 焼いた各サンプルを約 15~20g ずつクルーシブルに量って入れます。適切なラベリングを確認します。
- 4) 重量を計った後、クルーシブルをオープンに入れます。
- 5) 約 550°C で 3 時間焼きます。
- 6) 約 150°C まで冷却されたら、クルーシブルを乾燥器に入れ、30 分冷却してから再び重量を測定します。

計算

$$\text{SOM (\%)} = [(\text{乾燥質量 } 105^\circ \text{ C}) - (\text{乾燥質量 } 550^\circ \text{ C})] / (\text{乾燥質量 } 105^\circ \text{ C}) * 100$$

結果

--	--	--

ラボから結果が戻ってきたら、送付したサンプルに含まれる土壌有機物/炭素の割合が表示されます。健康な土壌の有機炭素含有率は約6%です。劣化した土壌は1~2%です。土壌中の有機炭素量を知るには、その数値に0.58を掛けます。その答えが、土壌中の有機炭素量を示します（Ponce-Hernandez et al, 2004）。さらに、ラボのデータは、衛星画像と数学的關係に基づくSOC推定値の校正または検証するために使用できます。

検証方法(2)：土壤色試験¹³

必要な材料

- ・ 鋤（すき）/オーガー 1つ
- ・ 土壤サンプルを入れるジブロック 1枚

方法

1. 耕作/攪乱されていない場所から湿った土壤サンプルを採取し、袋に入れ、「参照サンプル」とラベルを付けます。
2. 調査したい地域から湿った土壤サンプルを採取し、袋に入れ、「（区画のコード）サンプル」とラベルを貼ります（同じ区画内で複数の調査を行う場合は、番号も記入します）。
3. 以下の3枚の写真を使って、「参照サンプル」の一握りの土と、モニタリングを行っているゾーンの別の一握りの土の、土の色の相対的な変化を比較します。
4. そのスコアをデータシートに記録します。
5. モニタリングしたいすべての区画で、この作業を繰り返します。

結果



2 = 良好

1 = 中程度

0 = 悪い

- 良好な状態 (2)： 参照サンプルとあまり異なる濃い色の表層土壤。
- 中程度の状態 (1)： 表層土壤の色が参照よりやや薄い。
- 悪い状態 (0)： 表土の色が基準よりかなり薄い。

参考文献

¹³ 引用元：

<http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0HDEDH0VOQJKFQ1P> ; 土壤色からより多くの（正確な）情報を得たい場合は、「マンセルの土の色チャート」を入手することをお勧めします。

- | | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|
- [http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_prac_soil_colour_pdf/\\$FILE/PracNote_Colour.pdf](http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_prac_soil_colour_pdf/$FILE/PracNote_Colour.pdf)

指標 16 :地上炭素補足

これは、再生地の生きたバイオマスにどれだけの炭素が蓄積されているかを示す指標です。我々は、地上炭素を定量化するために、さまざまなタイプの生態系で使用できる特定の「市民科学に適した」方法を推奨することは（まだ）できません。しかし、個々のプロジェクトの炭素蓄積量の定量化と検証を支援する組織は数多くあります（炭素クレジット認証の詳細については、このウェブページを参照）。

また、現場での炭素蓄積量の測定に焦点を当てた実験やケーススタディも数多くあります。例えば、いわゆるアロメトリック方程式を用いて、1年あたりに蓄積される炭素量（トン/ヘクタール/年）を計算することができます。このような生態系/サイト固有の方程式は、多くの場合、クアドラット（例えば10×10m、または指標11に使用したものと同一のもの）を調査し、そのクアドラットに存在する特定の種のリスト、各種の個体数（すなわち、各クアドラットに存在する同じ種の樹木または低木の数）、胸高直径（すなわち、標高約130cmの樹木の直径、単位 cm）、木材密度（g/cm³）、高さ（cm）の値を取得することによって得られるデータを必要とします。統計分析により、このデータを使って、より大きな復元サイトのバイオマス値（トン/ヘクタール）を推定することができます。あるいは、正規化植生指標（NDVI）や拡張植生指標（EVI）などの衛星画像から得られた植生指標と、純一次生産性の値を用いて、地上のバイオマス量（トン/ヘクタール）を推定することもできます。このバイオマス総量を用いて、地上の炭素蓄積量を計算することができます。Situmorang ら（2016）は、地上部の炭素蓄積量を計算するためのこのようなアプローチに従った多くのケーススタディのうちの1つを紹介しています（現場と衛星画像による遠隔の両方）。

上記のアプローチには科学的な専門知識と課題が伴うことを考えると、最先端のリモートセンシング技術（分解能と精度を継続的に向上させながら、NDVIなどの指標を統合する）と関連する機械学習に基づくモデルから、地上炭素蓄積量の推定に取り組むことをおすすめします。例えば、ERC 運動は Restor と提携しています。Restor は、リモートセンシングを通じて、再生中の場所に存在するさまざまなタイプの生態系や種を監視し、そのような変数を（これまで以上に強固な）モデルに統合して、生きたバイオマスにどれだけの炭素が蓄積されているかの予測を試みるプラットフォームです。興味があれば、プロジェクトの再生現場が実験プロットとして機能させることができます！（詳細は hello@erc.earth までお問い合わせください）。

生態系生産性

指標 17: 生態系サービス

この指標は、財・サービスの（再生）生産が行われる再生プロジェクトに関連しています。生産性の定義は、通常、生態系の回復から得られる経済的便益と関連していますが、必ずしもそうとは限りません。

--	--	--

検証方法 (1): 生態系サービスの定量化

理由

収量のモニタリングは、土地の生産性の変化を追跡するのに役立ちます。農業において、収穫量または「農業生産高」とは、単位（耕作）面積あたりの作物の収量と、植物自体の種子生成量の両方を示す尺度です（例えば、種をまいた1粒に対して3粒収穫した場合、結果として得られる収量は1:3です）。1:3の収量は、農学者にとって人間の生命を維持するために最低限必要なものと考えられています。3粒の種子のうち1粒は次の植え付けシーズン用にとっておき、残りの2粒は生産者が消費するか、1粒は人間用、1粒は家畜用に分けられます。農業生産だけでなく、木材生産や観光活動による収入もモニタリングすることもできます。

結果

作物の収量が減少しているのは、土壌が枯渇している証拠を示しているかもしれませんが、効果的な土壌再生の実践は収量を向上させる可能性があります。この結果がどのような意味を持つかは、再生の目的や生産モデルによって大きく異なります。このテストの結果は、他の生態学的属性と一緒に分析すると、特に有益なものとなります。

生産物	生産物のタイプ	専有表面積 (ha)	総収穫量 (kg/year) または体積 (m ³ /year)	収量 (kg/ha/年 または m ³ /ha/年 or \$/年)	最終価格の平均シェア (%)
		(適用される場合)	(適用される場合)		(適用される場合)

方法 (食料生産を「供給サービス」として定量化します)

1. 長期的にモニタリングしたい「生産物」を決定し、それに応じて分類します（「一年草作物」、「多年草作物/ ハーブ」、「畜産物」、「木材」など）。
2. (多様な(農業)生態系を期待していますが、(供給)生態系サービスとして重要な役割を果たす1つまたは2つの製品のモニタリングにしかできなかったり、関心を持ってない場合があります。)
3. それぞれの「生産物」の生産に使用される表面積をヘクタール単位で決定します。
4. それぞれの生産物の収穫日と重量を「収穫ノート」に記録します。
5. 重量を合計し、一年草の場合は毎年末、例えば木材の場合は生育と収穫のサイクルが終了した時点での総収穫量を算出します。
6. 作物の収穫量を kg/ha 単位で計算します。
7. データを記録シートにアップロードします。

--	--	--

結び

このガイドブックが、地域コミュニティやその他の関係者を巻き込みながらデータを収集するために必要な情報やツールを提供することを願っています。私たちの目標は、草の根の修復が、生物多様性の増加、水循環の改善、炭素の回収、コミュニティの形成、修復に基づく生計の発展、技術と知識の向上にどのように役立つかを世界に示すことです。

将来を見据えて、このフレームワークの重要な検討事項と限界を認識することが重要です。以下に、「なぜモニタリングと評価を行う必要があるのか？」に沿って、これらの点を説明します。- 4 ページを参照。

インパクトの証拠と透明性

このフレームワークは、再生の取り組みのインパクトをモニタリングし（および進捗状況を寄付者に報告する）のに役立ちますが、生態系の再生は複雑であり、変化の原因を切り分けることは通常できません。言い換えれば、個々の機関/組織（例：ERC イニシアティブ自体、パートナー、（間接的な）寄付者など）によって、どの程度のインパクトがもたらされたかを証明することは現実的に不可能である。

仮説の検証

（信頼できる）データを収集することは、社会的課題に関するグローバルな研究に貢献しながら、再生実務者が仮説と関連する再生実務を検証するのに役立ちます。しかし、データの品質は、特にプロジェクトが時間とともに異なるデータ収集者に依存する場合、いかに厳密に実施されるかに大きく左右されます。

学習と適応管理

堅牢な M&E データセットは、プロジェクトレベルでの再生計画、設計、および/または順応的管理の実践に情報を提供することができます。このような教訓を ERC ネットワークや将来の再生イニシアティブに広めるためには、成功事例だけでなく、予想外の結果についても共有することが重要です。

--	--	--

付録 1: サンプルングデザインの基準としてのランドスケープ特性の例

ランドスケープの様々な層をナビゲートするのに役立つ一連の質問を以下に作成しました：

- **土壌はどこから来たのか?** (土壌の岩相と母岩)
- **土壌はどのように形成されたのか?** 物理的風化過程 (温度差による分解など)、化学的風化過程 (化学反応)、生物学的風化過程 (生命に関係する) など。
- **土壌は何に使われてきたか?**(伝統的な土地利用は何だったか?)
- **どのような地形があるのか?** (例: 低い丘、川の谷など)
- **水の勾配はどのようなものか?** (サイトの水文学をしらべてる。一部地域では他の地域よりも水が多少がある可能性あり)
- **再生地域内のさまざまな場所の向きはどうなっているか?** (太陽の向きや風の影響を考慮すること)

--	--	--

付録 2: 層別ランダムサンプリングデザイン

あなたは、過去に集約農業が行われていた 4000m² の土地で、森林回復のための複数のアプローチを試しています。プロジェクト地域の他の部分に作業を拡大する前に、あなたの状況において何が最も効果的かを学びたいと考えています：

a) 土壌改良材を施用し、樹木を植える（「中程度の」回復支援¹⁴）
面積（Zon-Top）= 2000m²

b) 種子散布者を引き付けるハビタットの設置（「軽度な回復補助」）
面積（Zon-Hab）= 1500m²

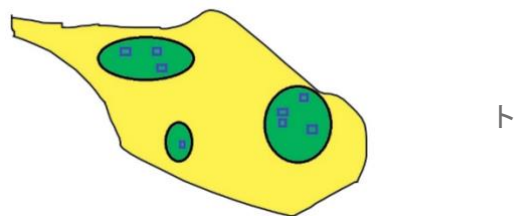
c) コントロール、つまり監視以外の何もしない（「自然回復」）
面積（Zon-Con）= 500m²

d) リファレンスサイト（原生林など）から M&E 指標のデータを収集する
面積（Zon-Ref）= 500m²

これらの各エリア内で、土壌の種類（粘土が多い、砂質など）、森林の種類（落葉樹、常緑樹）、樹齢の違いを区別することができます。これらをポリゴンファイルや航空写真に重ねることができます。これらすべてが、増え続ける生態系の再生を行うコミュニティに、より正確で有用な調査結果を提供するのに役立ちます。

さて、エリア a、b、c が時間とともにモニタリングされる単位であると仮定します（d はベースラインインベントリ中に目標値を取得するために使用しました）。（a）の大きさは（c）の 4 倍、そして（b）=（c）の 3 倍であることが分かっています。確率サンプリングとは、（c）で 5 つのサンプルを取る場合、（a）には $5 \times 4 = 20$ 個のサンプルを、（b）には $5 \times 3 = 15$ 個のサンプルを取るということです。

層化ランダムサンプリングチャート
黄色 = プロジェクトの総面積
緑 = プロジェクトのゾーン/サンプリングユニット/strata
青 = サンプリングサイト/サンプル



付録 3: プランニングとデザインの実践

¹⁴ Chazdon et al, 2021

--	--	--

生態系回復プロジェクトの計画・設計段階において、また再生計画の一部として、以下の要素を含めることをお勧めします¹⁵：

- 1) **整体社会的背景**¹⁶ 以下のものを含む：
 - a) 周囲の景観や水生環境とプロジェクトの関係図/地図、生息地と復元地の間の（潜在的な）連結性；
 - b) 利害関係者の分析、関与戦略
 - c) サイトの所有権の確保（サイトが劣化した状態に逆戻りしないようにする）
- 2) **ベースラインインベントリ**¹⁷
 - a) 生物学的要素（例えば、現存する在来種、原生種、非在来種、絶滅危惧種、侵入種の調査）および非生物学的要素（例えば、写真やその他の手段を用いた河川や土壌の状態）；
 - b) 劣化の原因、強度、程度、および自然回復の障害
 - c) 劣化の原因を取り除いた後の自然回復の可能性（どのような（a）生物学的要素が欠落しており、復活させる必要があるかなど）
- 3) **ビジョン、目標** および/または関連する（原生）**参照生態系**
- 4) **空間と時間の再生設計**、以下のものを含む；
 - a) (3)を達成するための再生アプローチ/活動およびロジスティクス
 - b) M&E システム（関係するロジスティクス/リソース、順応的管理戦略、関連する場合は概念モデル、リサーチクエスチョン、検証可能な仮説などを含む）

¹⁵ 引用：the *Standards of Practice for Planning and Implementing Ecological Restoration Projects* (Gann et al, 2019)

¹⁶生態系回復の取り組みが行われる、常に変化し続ける複雑な生態社会システムの動的な振る舞いを認識する（そして、それに敏感であり続ける）ことが重要である。

¹⁷さらなるガイダンスについては以下を参照：Standards のセクション3 (1.4) およびプリンシパル5 (Gann et al, 2019)

--	--	--

付録 4: 自然観察日記

世界の ERC 運動全体で自然と生物多様性の研究を始めるには、定期的に情報とデータを収集し、個々の修復活動で何が活発に行われているかを知る必要があります。

これを始める最も簡単な方法のひとつが、自然観察日記です。これは、あなたが自然回復を体験している間に観察した自然との出会いを継続的に記録するものです。

日記のデータは、遭遇した動物の観察と動物のサインの組み合わせで構成することができます。動物の痕跡には、鳴き声、足跡、足跡、糞、羽毛、爬虫類の抜け殻などが含まれます。

記録する情報は、できる限り詳細に記載してください。ほんの些細なことでも、再生現場で何が起きているのかの全体像を把握するのに役立ちます。多くの場合、以下のフォームに記載されている項目をすべて記録することは不可能ですし、遭遇したことについてすべてを覚えているわけではありません。その都度、できるだけ多くの項目を記入してください。

データ収集に関するメモ

メモの取り方はいろいろありますので、ご自分の状況に合ったものを選んでください。下の用紙を印刷して現場に持っていくこともできますし、携帯電話の音声録音アプリを使って、その方法で出会いを記録することもできます。共同スペースに黒板やホワイトボードを置き、そこに最近の目撃情報を書き込んでもらおうと、地域住民と目撃情報を共有でき、ボランティアの参加も促進されます。

識別に関するメモ

鳥類、昆虫類、哺乳類など非常に多くの種がいるため、遭遇した種の同定を始めるのは少し大変かもしれません。しかし、私たちは ERC の活動で見られるすべての種に興味があることを忘れないでください。

iNaturalist、BugGuide.net、Project Noah、What's That Bug のようなオンラインコミュニティには、すでに特定された多数の種の写真があり、専門家のコミュニティによる同定のためにユーザーが自分の写真を投稿することができます。Merlin、Picture This、Google Lens などのスマホアプリは、いずれも識別に役立ちます。

出会いを記録するためのテンプレートは以下の通りです：

ERC の名前	ERC イニシアティブの名称
日付	観察の日付
時間	観察の時間
観察者の名前	観察者の名前

--	--	--

種の名前	観察された種の通称名または地方名（分かっている場合）
種の学名	種の学名（わかっている場合）
ERC の場所	ERC の敷地内のどこで観察されたか、識別できる目印はあるか：「堆肥箱の近く、よく知られている木、特定の建物、名前のある畑、池や川など。
遭遇時の描写	見たものをできるだけ詳しく説明する。その動物を見たとき、その動物がどのような場所にいたか（葉、茎、木の幹、落ち葉の中、裸地、水中など）を含めてもよい。植物の上において、その植物の名前を知っている場合は、それも記録する。
行動	その動物を見たときに何をしていたか、例えば、餌を食べる、登る、交尾する、寝る、飛ぶなど。
近くの植生	近くの植生を描写する。観察した地域ではどのような作物が栽培されているか。
天気と温度	察時の天候はどうだったか（晴れ、曇り、小雨、大雨など）。携帯電話で撮影できる場合は、気温を記録する。
個体の数	今回の観察で、その種の個体を何頭見たか。
確実性（確実、中間、不確か）	その種を正しく識別したと確信できるか？識別に自信がない場合、または種を特定できない場合は、その動物がどのように見えたか、メモ欄にできるだけ詳しく書くこと。動物の種類（例：鳥類、哺乳類、トカゲなど）、見た色、大きさの推定なども忘れずに記入すること。
観察の方法	どうやって観察したのか？物理的に見たのか、双眼鏡を使ったのか、足跡なのか、鳴き声なのか、糞なのか、羽なのか。
メモ（性別、ライフステージ）	その他の気付いた点。その動物の性別やライフステージは？例えば赤ちゃんか大人か？ その動物を識別できなかった場合、その動物の外見に関する情報があれば教えてください（上記の「確実性」欄を参照）。
GPS location	GPS をお持ちの場合は、GPS の位置をここに記録してください。

主要概念の用語集

- **適応的管理**：「新しい情報や状況の変化に応じて、意思決定や調整を行う意図的なアプローチ」（USAID 2018）
- **ベースライン**：再生プロジェクトの文書化された出発点は、進捗状況や影響を測定するための基準として機能し、進捗状況や影響を測定するための基準として機能す

--	--	--

る。信頼性は低いが、「コントロールサイト」はベースラインの参照/出発点としても機能する場合がある。

-
- **ERC イニシアティブ**: 一般市民が参加する（半）恒久的な修復プロジェクトを指す。
- **概念モデル**: 他のモデルと同様、概念モデルは複雑な（生態）システムを単純化するのに役立つ。統計的でも予測的でもなく、起こりうるすべてのプロセスや関係を説明しようとするものでもない。優れた概念モデルには、関連する情報だけが含まれる。生態系回復の文脈では、生態系の状態に対する管理およびその他の要因の想定される影響および/または仮説が説明される。例えば、「保水性を高めるにはどうしたらよいか」という疑問がある場合、概念モデルに含まれる仮説の1つは「マルチングを施すと保水性が高まる」というものである。そして、その仮説を検証するための指標や方法（保水力テストなど）を選ぶ。実験の結果に基づいて、どのような実践が水系を回復させるのかを理解する。概念モデルの詳細と実際の応用については、Bestelmayer et al (2017)の研究を参照することが推奨される。
- **データシート**: 収集したデータを記録する場所を指す。
- **生態系**: 生物群集または生物群（植物、動物など）が、それ自身と物理的/化学的環境（景観や天候など）との間で相互作用し、生命の小宇宙を形成している地理的領域。
- **生態系の回復**: 「劣化を食い止め、回復させ、生態系サービスの向上と生物多様性の回復をもたらすプロセス」（Apfelbaum & Chapman 1997）。
- **生態系の回復**: 劣化を食い止め、元に戻し、生態系サービスの改善と生物多様性の回復をもたらすプロセス。生態系の復元は、地域の状況や社会の選択に応じて、幅広い連続的な実践を包含する」（UN, 2019）
- **生態系回復コミュニティ（ERCs）**: 世界中の人々が生態系復元に参加できる場所であり、効果的な生態系回復技術が開発され、実地体験や教育を通じて普及する生きた実験室である。
- **評価**: モニタリング期間中に収集されたデータを、設定された目標/成果との関連において分析すること。
- **フィードバックループ**はシステム思考においてフィードバックループは重要であり、複雑さを理解するのに役立つネガティブフィードバックループは「安定化的」であり、プロセスをバランスさせたり遅らせたりする傾向がある。一方、ポジティブフィードバックは「強化的」であり、システムを一方向に進ませるように促します。負のフィードバックループには、捕食者と被食者の相互作用が含まれます（被食者の個体数が増えると(+), 捕食者の個体数もよく食べて成長し、最終的には捕食者が多すぎて被食者の個体数が減少する(-)）。正のフィードバックループはしばしば「悪循環または善循環」と表現され、2つのプロセスが互いを強化するとき起こります。例えば、水の利用可能性が植物の成長を支援する(+)と、より多くの植物

--	--	--

（水浸透が増加し、蒸散が減少するため）が水の利用可能性を増加させることがある。正のフィードバックには 2 つの「マイナス」もある。例えば、森林伐採がバイオマスの減少、より多くの裸の土壌と栄養物の流出、およびそのような土壌に成長できるバイオマスの少なさをもたらすときであ。

複数のフィードバックが同時に作用することもある。人間の攪乱は、地球システムを重要な閾値や「ティッピング・ポイント」を超えて、質的に異なる状態（例えば、不可逆的な気候変動）へと押しやる可能性がある。生態系の回復を通じて、私たちは生命を肯定する正のフィードバックを促進し、地球生態系の回復力を高めることができるかと信じている。

- **指標**： 成果が達成されているかどうかを示す手がかりや兆候。
- **Land use or land management**： 特定の土地被覆タイプを生産、変更、維持する人間の取り決め、活動、投入物を指す（UNCCD 2016）。
- **検証方法**： 成果を測定するために使用されるさまざまなテストである。
- **モニタリング**： 一定の期間内にデータを収集する体系的なプロセス。
- **成果**： 修復を通じて到達し、向上させることを望む目標。
- **リモートセンシング**： 人工衛星、航空機、その他の遠隔情報源から地球観測データを収集すること。
- **参照生態系/サイト**： 劣化がそれほど大きくなかったか、まったく生じていなかった場合の、修復の対象となる生態系の（おおよその）状態を表す（Gann et al, 2019）。
- **復元**： 「（...）劣化したランドスケープ全体にわたって、生態学的機能を回復し、人間の福利を向上させることを目的とするプロセス」（Buckingham et al, 2019）。
- **サンプルサイトまたはサンプリング場所**： ここでは広義に、生態学的データの収集が長期間にわたって行われる特定の場所と定義する。
- **標準化 (Standardisation)**： 我々の文脈では、幅広い（科学的）コンセンサスに基づいて標準を実施/開発するプロセスである。標準化された方法論は、データの相互運用性に貢献し、測定の再現性と質の確保に役立つ。
- **ゾーン**： サイトの設計で定義された、プロジェクトサイト全体の中の異なるエリア/地域を指す。各ゾーンを指定するための基準は、異なる管理形態（放牧、マルチングなど）、生態系のタイプ（森林、湿地など）、標高、共同区域からの距離などが挙げられる。

--	--	--

参考文献

- Apfelbaum, S. I., & Chapman, K. A. (1997). Ecological restoration: a practical approach. *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press, New Haven, CT, 301–322.
- Bano, R.m, Roy S. (2016). Extraction of Soil Microarthropods: A low cost Berlese-Tullgren funnels extractor.
- Bestelmeyer B.T. et al. (2017) State and Transition Models: Theory, Applications, and Challenges. In: Briske D. (eds) *Rangeland Systems*. Springer Series on Environmental Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2_9
- Buckingham, K., Ray, S., Granizo, C. G., Toh, L., Stolle, F., Zoveda, F., ... & Brandt, J. (2019). The road to restoration: a guide to identifying priorities and indicators for monitoring forest and landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Resources Institute, 70.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal*, 57(1), 192–194.
- Feddes, R.A. & Lenselink, K.R. (1994). 5 Evapotranspiration.
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, G. R., Jonson, J., ... & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*. 27 (S1): S1–S46., 27(S1), S1–S46
- Hatten, J., & Liles, G. (2019). A ‘healthy balance-The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. In *Developments in Soil Science* (Vol. 36, pp. 373–396). Elsevier.
- He, S., He, Z., Yang, X., & Baligar, V. C. (2012). Mechanisms of nickel uptake and hyperaccumulation by plants and implications for soil remediation. *Advances in agronomy*, 117, 117–189.
- Hillel, D., & Hatfield, J. L. (Eds.). (2005). *Encyclopedia of Soils in the Environment* (Vol. 3). Amsterdam: Elsevier
- Running, S., & Zhao, M. (2019). MOD17A3HGF MODIS/Terra net primary production gap-filled yearly L4 global 500m SIN grid V006. NASA EOSDIS land processes DAAC.
- Situmorang, J. P., Sugianto, S., & Darusman, D. (2016). Estimation of Carbon Stock Stands using EVI and NDVI vegetation index in production forest of Lembah Seulawah sub-district, Aceh Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(3), 126–139.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80–99
- Kaestner, M., Miltner, A., & Liang, C. (2019, January). Microbial necromass in soil organic matter (SOM) and its impact on soil processes and properties. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 21)
- Liang, C., Kästner, M., & Joergensen, R. G. (2020). Microbial necromass on the rise: the growing focus on its role in soil organic matter development.
- NRCS, U. (2015). Soil quality indicator sheets

--	--	--

- Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P., & Antoine, J. (2004). Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes (Vol. 1). Food & Agriculture Org.
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). 2016. "Land Degradation." UNCCD Knowledge Hub.
- USAID (United States Agency for International Aid). 2018. "What is Adaptive Management?" USAID Learning Lab.