

ケニアにおける宮脇メソッドの実践： 修復とリハビリテーションの経験



サミュエル・キボイ¹、サイモン・ケイジ²、パトリック・ムティソ¹、
サイモン・マテンジ[†]、ヴィンセント・マダディ³、かずえ
藤原⁴、林久典⁵、シンイチ
目黒⁵、古川拓也、宮脇昭⁵†

1ナイロビ大学生物学部

2総合林業コンサルタント
管理サービス

3大学化学部
ナイロビ

4ナノバイオサイエンス大学院、
横浜市立大学

5日本国際研究センター
エコロジー

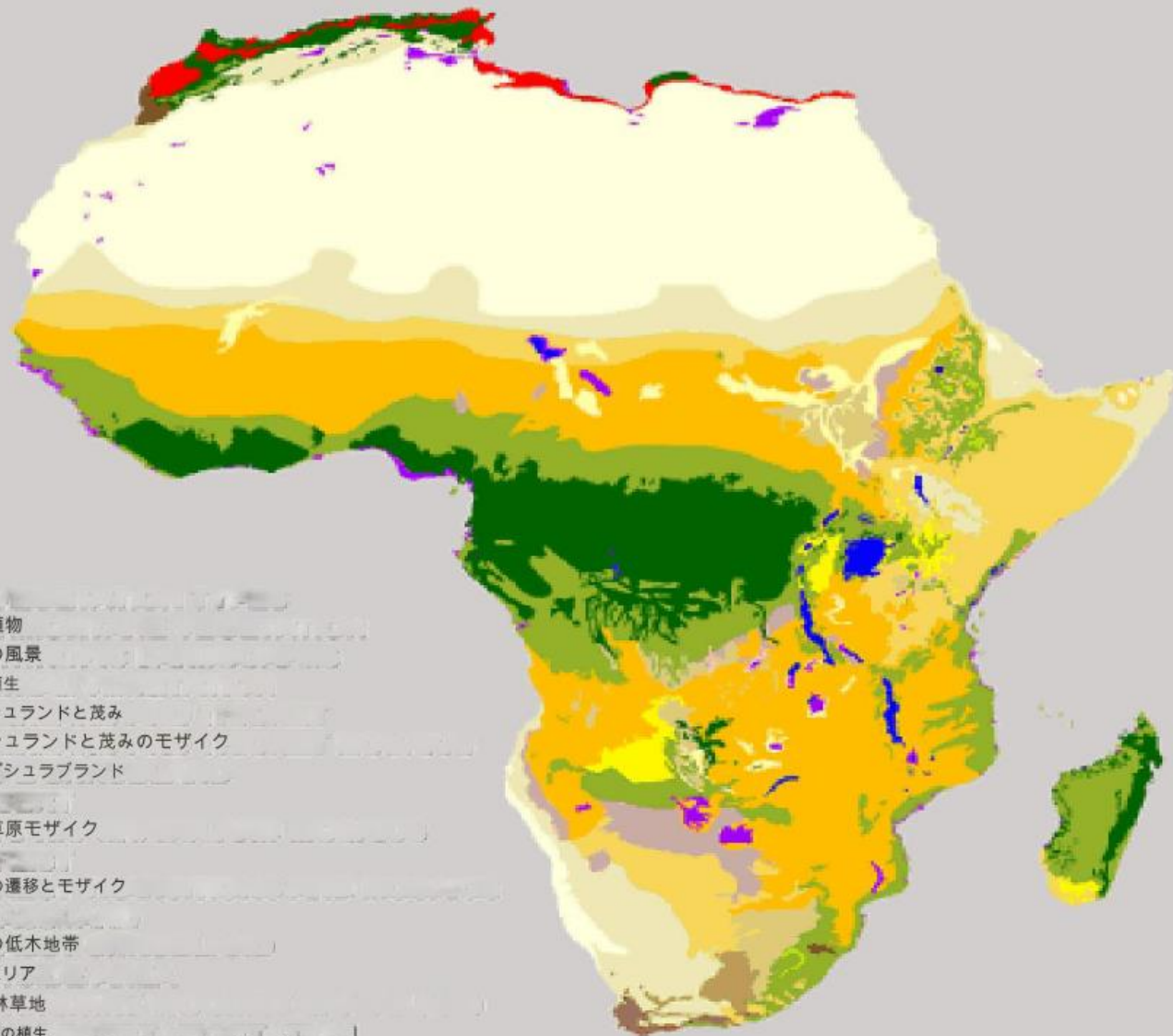
6林業および林産物研究
研究所

†記憶に残る

宮脇メソッドは潜在的な自然 植生

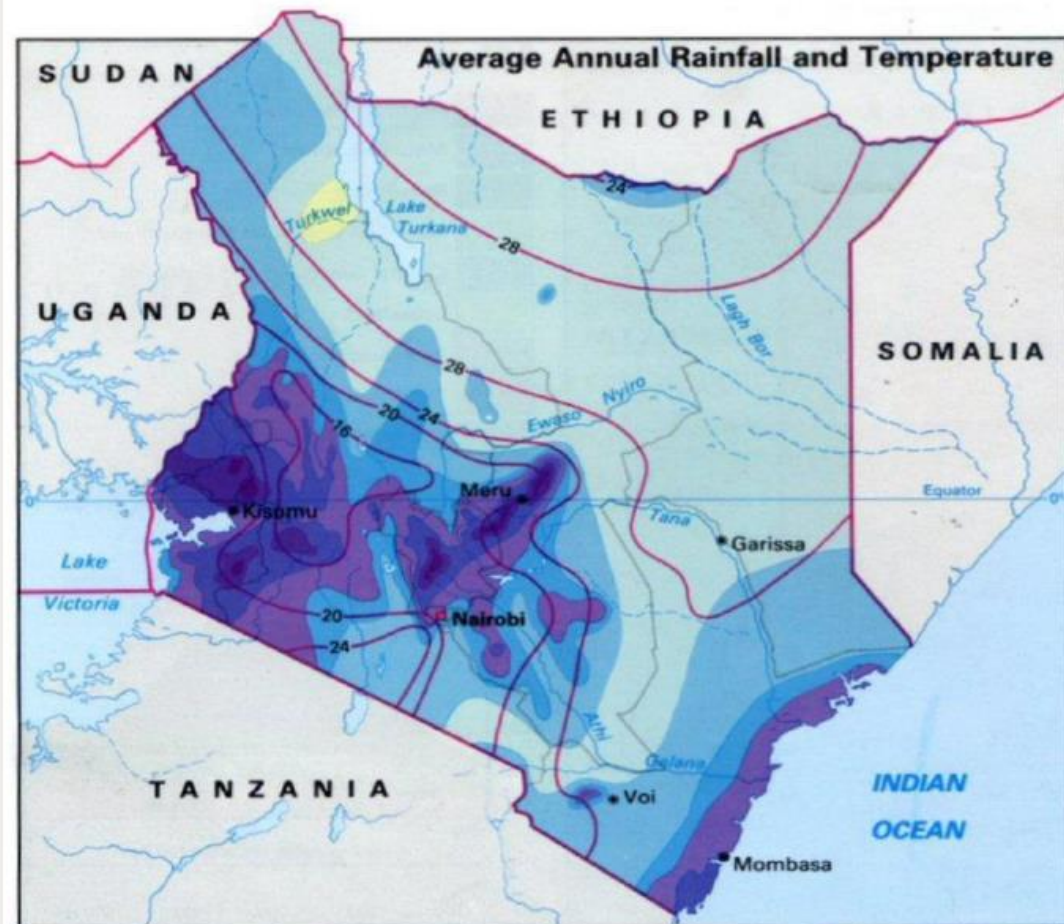
- 植生を攪乱前の状態に戻すには、
極相植生の構造と構成を理解する
- したがって、潜在的な自然植生による復元は、対象となる生態系の極相植生タイプ
の研究から始まります。
- ケニアでは、これは種のサイトマッチングとも呼ばれますが、これは
より広範な適合性の概念。
- ケニアの森林群落構成に関するデータを取得するために、リフトバレー東部と西
部のケニア高原の多くの森林と、ケニア南部と北部の多くの森林「島」を調査して
「区画」データを取得しました。
- Releve'/Plotデータは、Braun – Blanquetを使用して収集および分析されました。
方法によって、各森林ブロック内のコミュニティに分類されます。

ホワイトのアフリカ植生地図

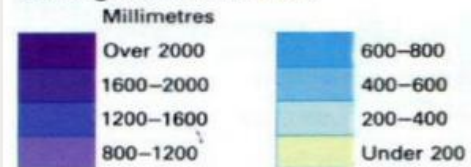


- 主な植生の種類
- 高山植物
 - 人類の風景
 - 帯状植生
 - ブッシュランドと茂み
 - ブッシュランドと茂みのモザイク
 - ケープシュラブランド
 - 砂漠
 - 土壌草原モザイク
 - 森
 - 森林の遷移とモザイク
 - 草原
 - 草地の低木地帯
 - 屋外エリア
 - 二次林草地
 - 半砂漠の植生
 - 過渡期の低木地帯
 - 水
 - 森林
 - 森のモザイクと変遷

出典: UNESCO/(AET/FAT/UNSO)、フランス、パリ データ処理: UNEP/DEWA/GRID-Geneva



Key Average Annual Rainfall

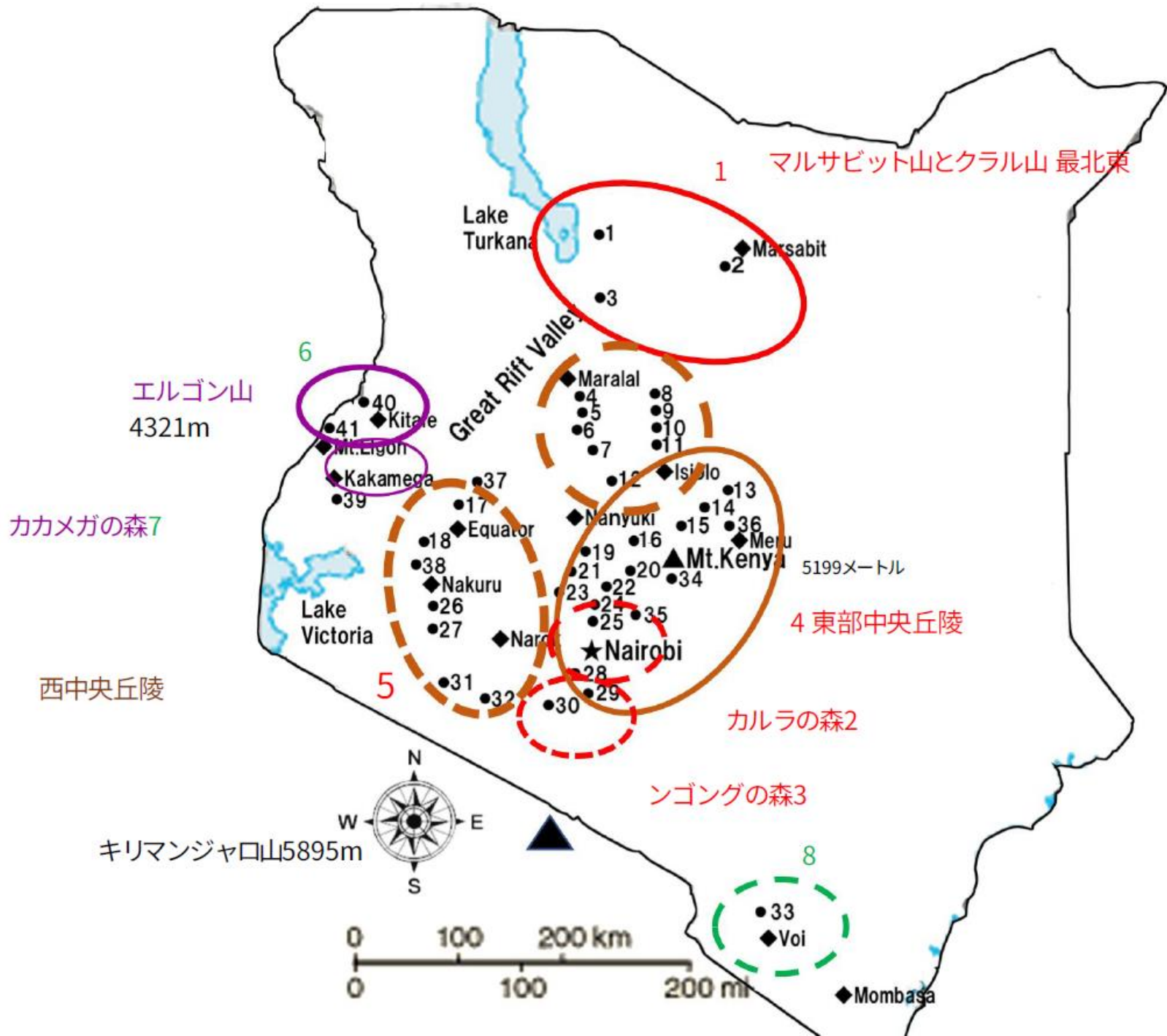


Temperature

— 20 — Average Annual Isotherm (°C)

Isotherm – a line joining together places of the same temperature







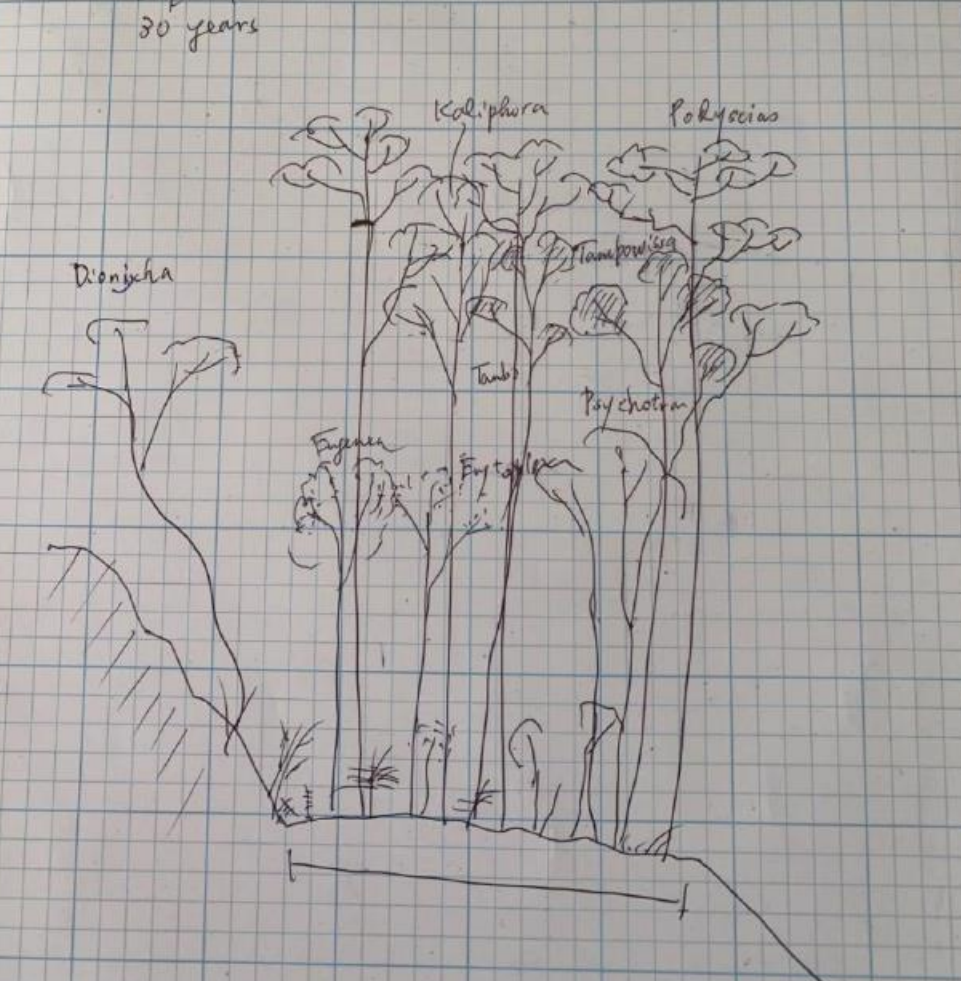
Location: ANSAVOKELE
 City/Town: CARON (NANDAH) County: ANALAMANGA State/Prov./Pref.: ANTANANARIVO
 height cover DBH (range, no., sp.) Elevation: 1692 m Country: MADAGASCAR
 layer Max. Min. species No. Aspect & Slope: N60W 5
 Relevé size: 10x10 m
 ST m % ST ~ cm ()
 T₂ 10 m 70 % T₁ ~ cm ()
 S₁ 6 m 20 % ~ cm ()
 S₂ 8 m 25 % ~ cm ()
 H 0.5 m 20 % ~ cm ()
 M % T₁ ~ cm ()

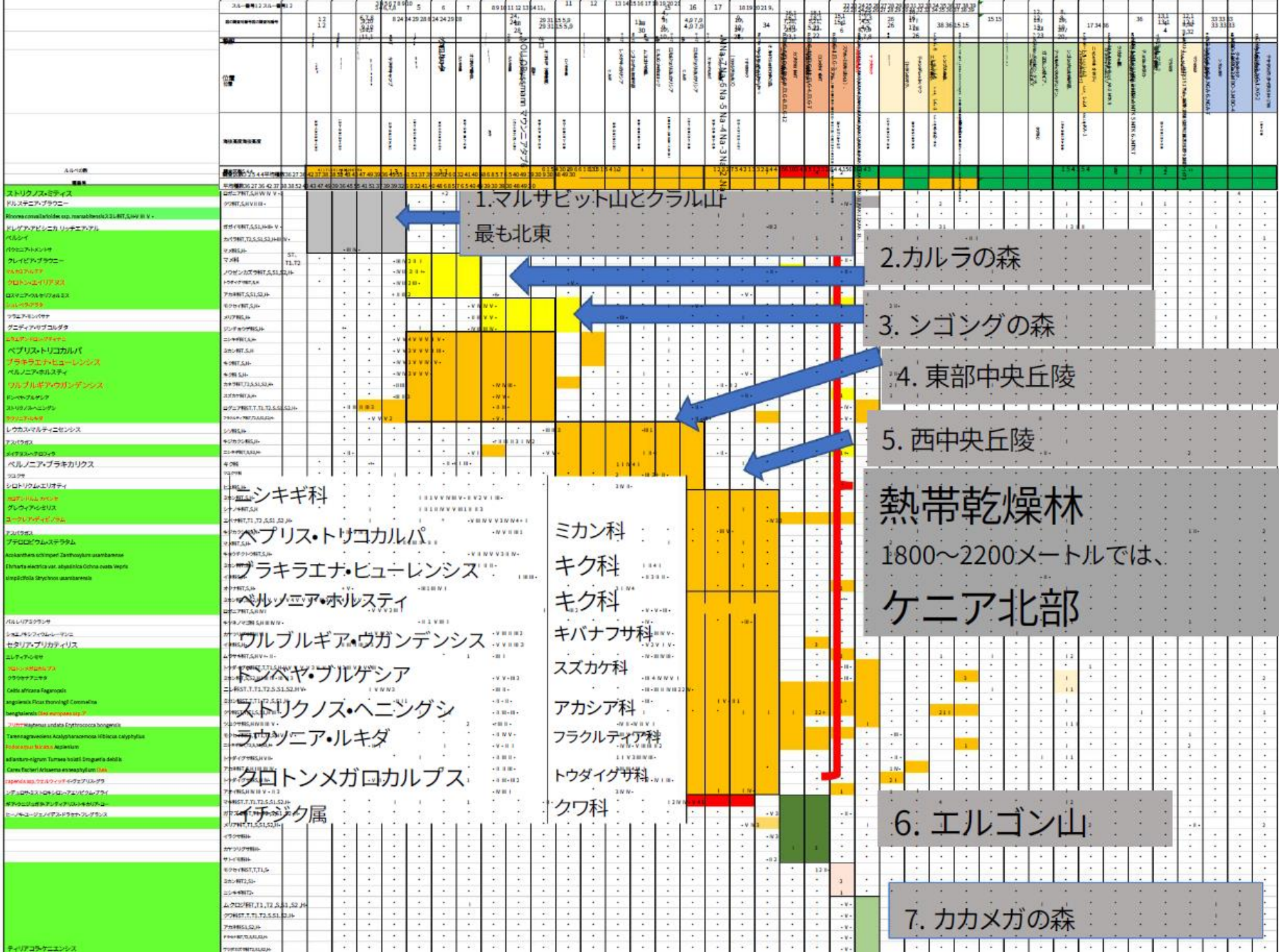
Latitude: 18° 55' 35"
 Longitude: E 47° 45' 4"
 Relevé personnel: Dr. Harison Babarison, KF. + Menja

No. of spp.: _____ Size of whole vegetation on: whole (0% or more) part (0-70%) small part (less than 10%)

T ₂	43	<u>Polyscias ornifolia</u> ARAL	22	<u>Psychotria macrochlamyde</u>	12	<u>Carex</u>
	12	<u>Schismatoclada</u> sp.	22	<u>Dracaena reflexa</u>	12	<u>Polisavenus birmanii</u>
	33	<u>Tambourissa trichophylla</u>		<u>Anagrascum</u> sp. ep.	14	<u>Dracaena reflexa</u>
	11	<u>Smilax kraussiana</u> SMILAC - LILIAC	11	<u>Eugenia</u> sp. M. RTAC	14	<u>Smilax kraussiana</u>
				<u>Guynosporea decorticata</u>		<u>Elaphoglossum</u> sp.
		<u>Kaliphora madagascariensis</u> CORN		<u>Phyllanthus</u> (CELASTRAC)		<u>Asplenium</u> ep 1 big
		<u>Melicope madagascariensis</u>		<u>Tambourissa</u> (BIGNON)		<u>Adiantum</u> sp.
		<u>Evonymopsis longipes</u> CELASTRAC				<u>Asplenium</u> ep 2
		<u>Kaliphora madagascariensis</u>				1/1 <u>Liparis</u> sp.
		<u>Aphloia theiformis</u> CORN				<u>Phyllanthus madag.</u>
		<u>Dionycha boyeri</u> MELASTOM.				<u>Tambourissa</u> BIGNON
		<u>Cusimopsis madagascariensis</u>				<u>Acanthaceae</u> indet.
						<u>Asteraceae</u> indet.
						<u>Malvastrum</u> sp.
						<u>Tambourissa</u> sp 2
						<u>Rhus thourou</u>
						ANACARD
						<u>Polyscias ornifolia</u>
						<u>Kaliphora madagascariensis</u>
						<u>Eugenia</u> sp.
						<u>Balophyllum</u> sp.
						<u>Peperomia tetraphylla</u>
						<u>Hypoestes</u> sp.
						<u>Schismatoclada</u> ACANTH.
						<u>Erythroxylum nilidulum</u> ERTHROXYLAC.
						<u>Plectanthurus</u> sp. LAMIAC.
						<u>Pyzostria</u> sp. RUB.
						<u>Tambourissa</u> sp 2
						<u>Canipoutia</u> sp.
						<u>Kaliphora madag.</u>
						<u>Alophia</u> sp. APOCYN.
						<u>Azaranthes</u> sp. EPIMHYTE
						<u>Macaranga</u> sp.
						<u>Malvastrum</u> sp.
						<u>Medinilla parviflora</u> MELASTOM.

Relevé no. Mad-1 Vegetation type: _____ Date: Aug 1. 2019
 Topography: summit ridge slope (upper middle lower concave convex) valley ravine flat depression
 Soil type: podzol podzol brown red yellow black sand white-sand humic-sand gley pseudo-gley gravel rubble rocky
 clay silt silt-loam sandy-loam loam organic submerged mul mor moder granit lime-stone
 volcanic-ash scoria peat other: lateritic soil with humus
 Wind exposure: strong medium weak Soil depth: deep shallow over rock
 Sun exposure: sunny medium shady Litter layer: 1 cm
 Soil moisture: dry mesic mois hydric _____ cm
 Disturbance: cut selective Characteristic condition
30 years





1. マルサビット山とクラル山
最も北東

2. カルラの森

3. シゴングの森

4. 東部中央丘陵

5. 西中央丘陵

熱帯乾燥林
1800~2200メートルでは、
ケニア北部

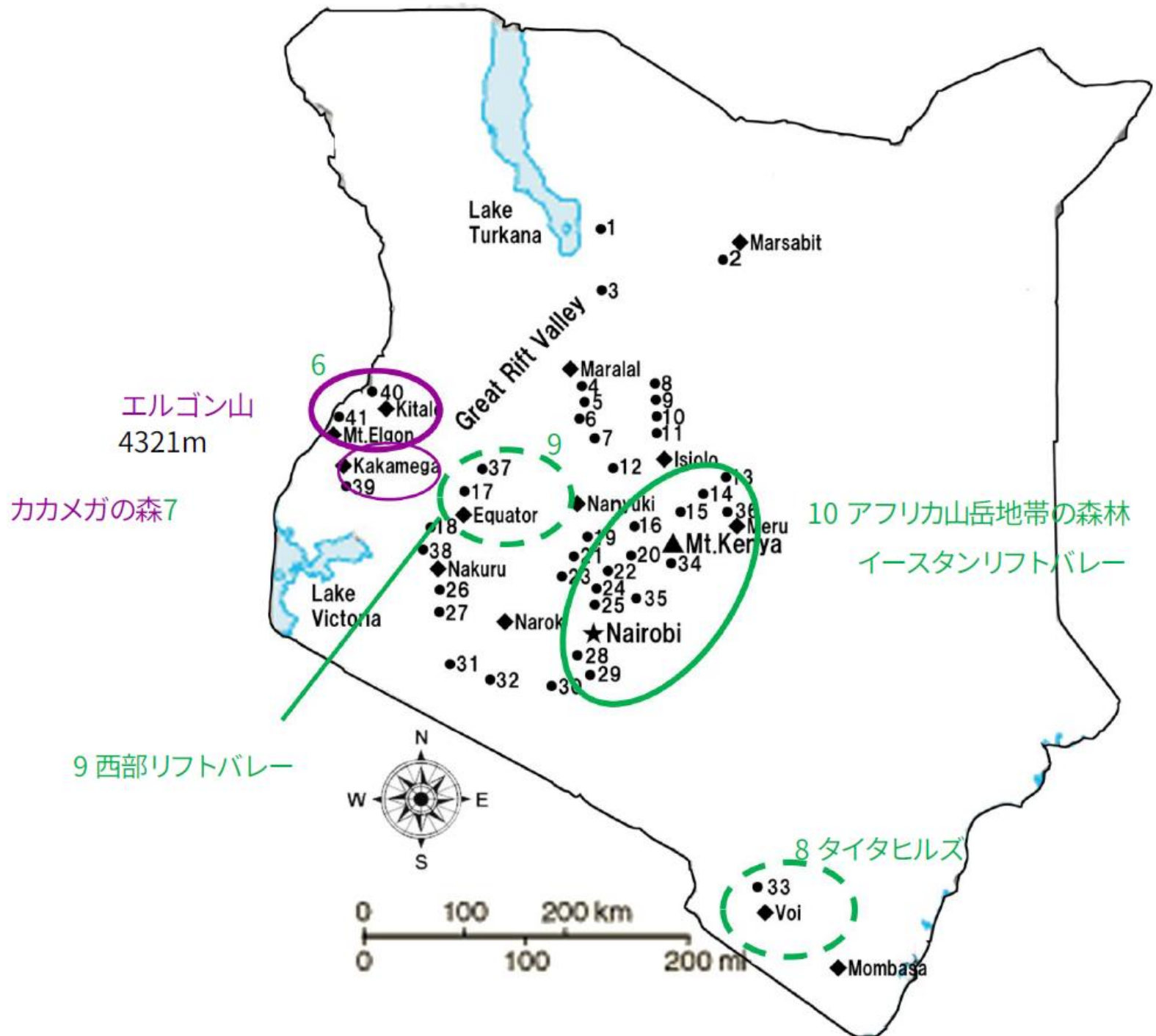
6. エルゴン山

7. カカメガの森

- シキギ科
- ベプリス・トリコカルパ
- ブラキラエナ・ビューレンシス
- ベルノミア・ホルステイ
- ワルブルギア・ウガンデンシス
- ドンバヤ・ブルゲシア
- ストリクノズ・ベニングシ
- ラウソニア・ルクダ
- タロトメガロカルプス
- イチシク属

- ミカン科
- キク科
- モク科
- キバナフサ科
- スズカケ科
- アカシア科
- フラクルディア科
- トウダイグサ科
- クワ科

ストリクノズ・ベニングシ	...
ベルノミア・ホルステイ	...
ワルブルギア・ウガンデンシス	...
ドンバヤ・ブルゲシア	...
ストリクノズ・ベニングシ	...
ラウソニア・ルクダ	...
タロトメガロカルプス	...
イチシク属	...



主要コミュニティ: ハイライト

- *Ocotea kenyensis* (クスノキ科) - 西部リフトバレー (2000 メートル以上) • *Ocotetea usambarensis* - リフトバレーの東側の湿潤なアフリカ山岳地帯の森林 • 標高勾配は、リフトバレーの東側に特有の乾燥林を伴う標高 1300 ~ 2200 メートルの種の構成に影響します (例: *Brachylaena huilliensis* (キク科)、*Warburgia ugandensis* (キク科)、*Elaeodendron buchananii* (ニシキギ科)、*Vepris trichocarpa* (ミカン科)、*Calodendrum capense* • 東部地域の標高の高い森林は、*Juniperetea procerae*に属する*Podocarpus latifolius*と*Juniperus procera*によって特徴付けられます。

西側の地域にはポドカルプス・ラティフォリウスの森が広がっている

ケニアの熱帯乾燥林の新しい分類を提案 – 藤原ら、2014

- マルサビットとクラルの孤立した北部の山々の森林
違いは、ポドカルプスやジュニペルスがなく、湿度が高いためマルサビット山ではウスネア
• ウスネオイデスを吊るすことができることです。
- 全体的に、乾燥林には 15 以上のクラス (協会、下位協会、同盟) を持つ協会が最も多く、一方、アフリカ山岳林には約 3 つしかありませんでした。
- 私たちのデータは、BussmannとBeck(1995)による以前の分類とは異なっており、主に人間の攪乱によって引き起こされた森林の状態の変化に起因すると考えられます。

宮脇メソッドの概要

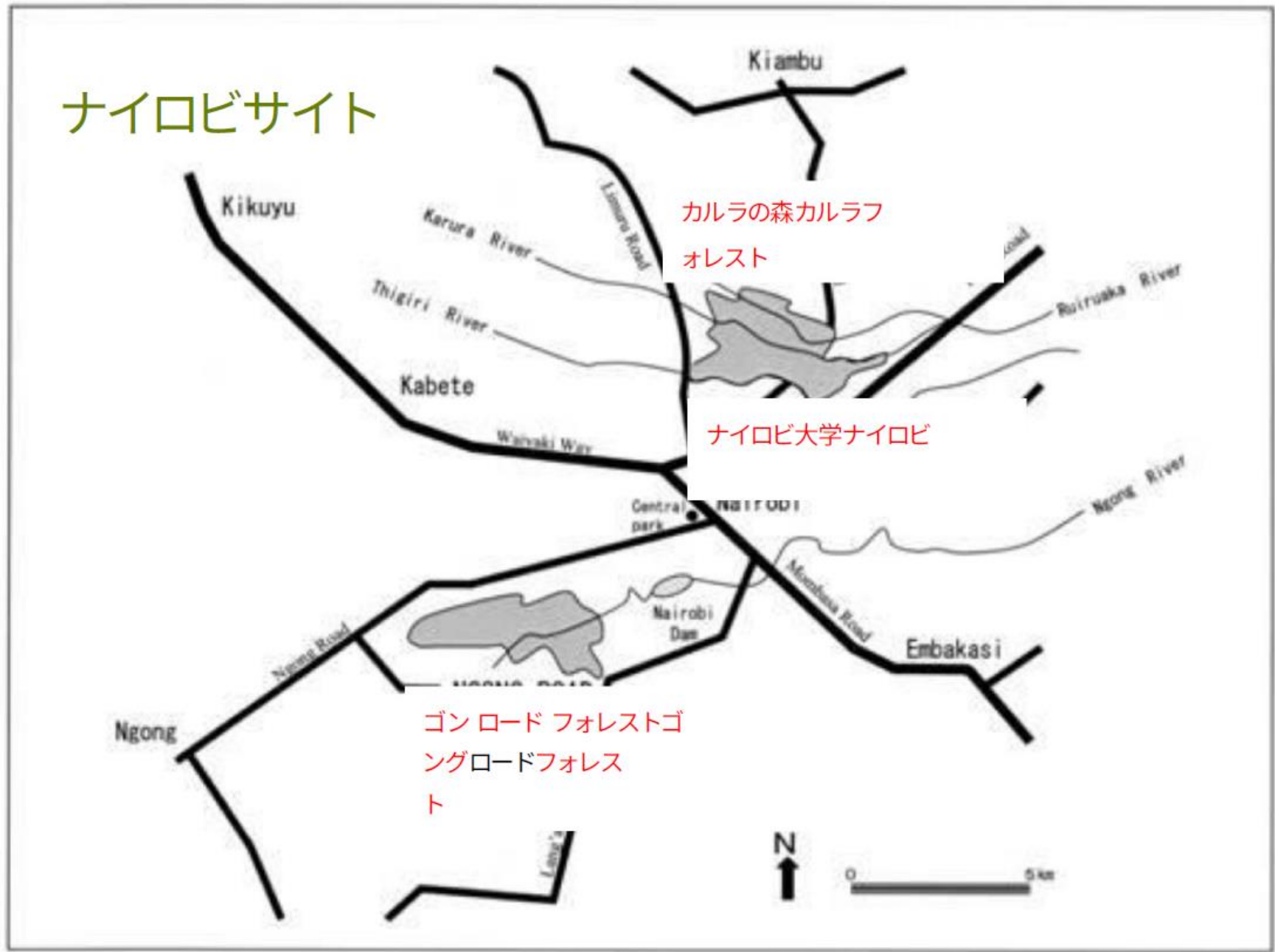
- 適切な種を選択（復元を目的とする場合は、データと潜在的な自然植生を用いた科学的アプローチ）
- 敷地の準備（茂みの除去、穴掘り、穴掘り）
- 適切な土壌施肥（例：有機肥料の追加）
- 植樹 – 小学生、大学生、若者、地域コミュニティを巻き込む
- 植え付け方法 – 非常に重要、例：水分、鉢植えの材料の除去、植え付けの深さなど
- 植栽後の管理（マルチング、除草、3年間の一般的なメンテナンス）
- 3年後には樹冠が閉じ、敷地は自然の成長が続くと予想され、メンテナンスは不要となる



ケニアにおける宮脇方式による荒廃地域の修復

- コミュニティ構成データに従って宮脇方式を使用して復元された主な地域は次のとおりです。
- ナイロビ周辺
 - ンゴングロード森林 – 2007-2009 (苗木 8,230 本) • ナイロビ大学、チロモキャンパス – 2012-2019 (苗木 14,000本) • カルラ森林 – 2007、2011-2019 (苗木 144,757 本) • キテンゲラ羊・ヤギ牧場 (植物による浄化) – 2023-2024 (苗木 12,600 本)
- ナイロビ郊外
 - マウ森林 (スルル森林) -2011-2015 (苗木56,625本)
- ケニアの苗木総数 – 236,212

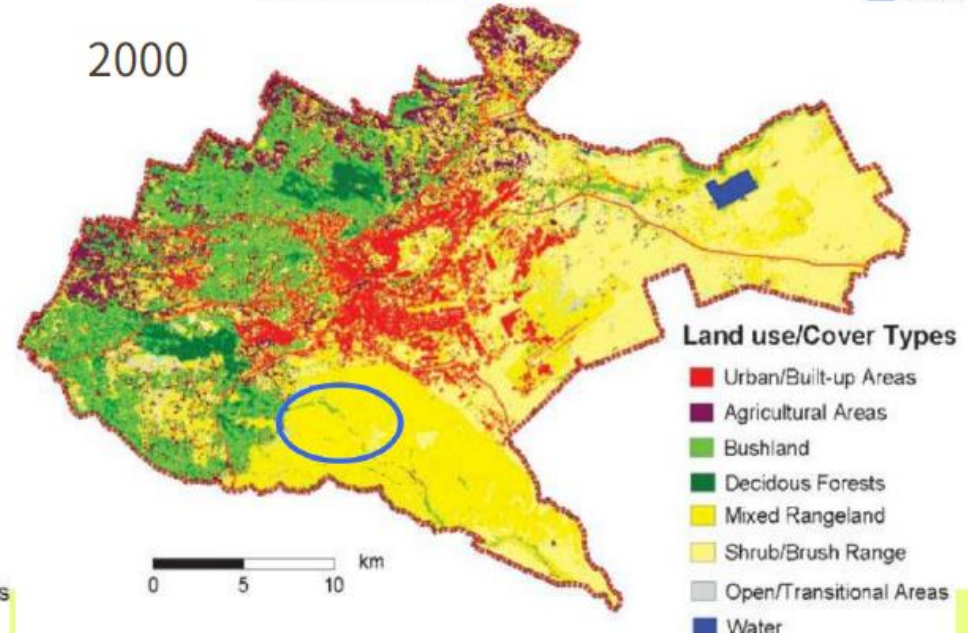
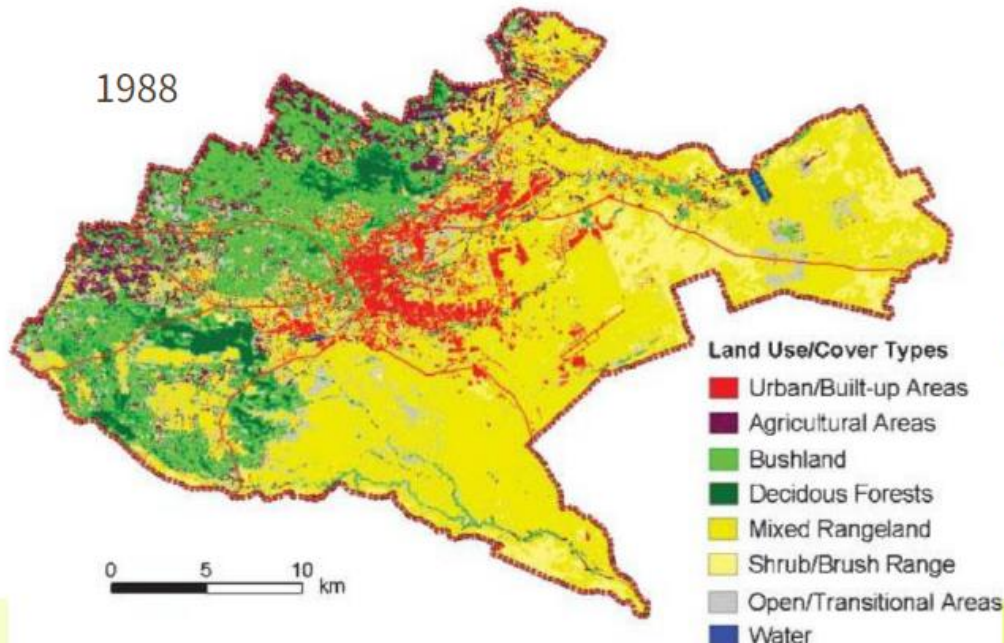
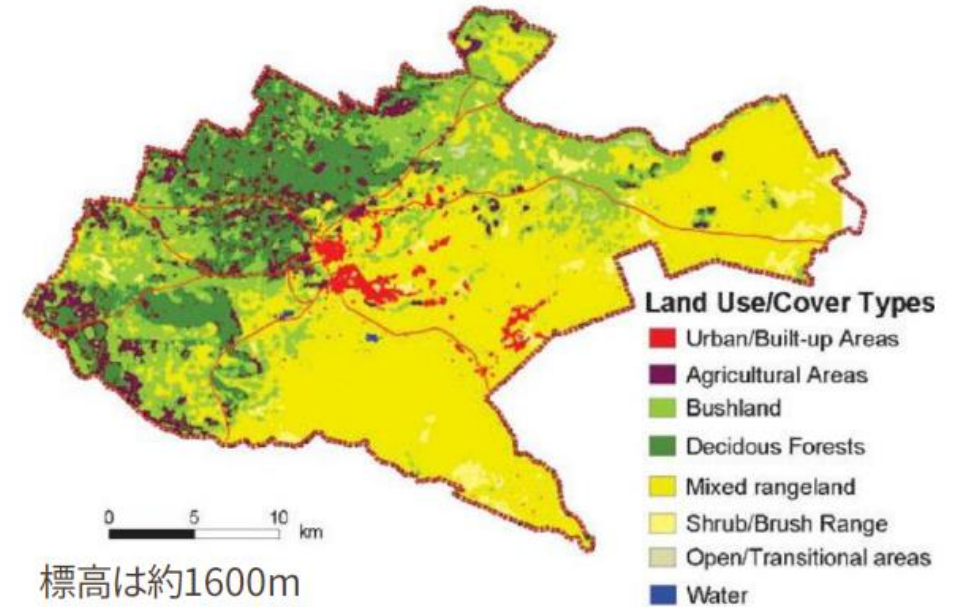
ナイロビサイト



ナイロビ郊外の森林

•ケニアの自然林

- 土地の15%は自然林でした (Myer 1979; Bussmann 1996より)
- 2.7%に変更 (そのうち3%は乱れている) (Wass 2000)
- ナイロビの森林面積は14.0%から3.3%に減少しました (1976-2000年 ;Mundia & Aniya 2006)



カルラの森



オクナ・インスカルプタ・シュレベラ・アラタ

コミュニティ



- 侵入種（カルラ森林におけるラン
タナカマラおよびその
他の人為的攪乱）



種を選択と植え付け



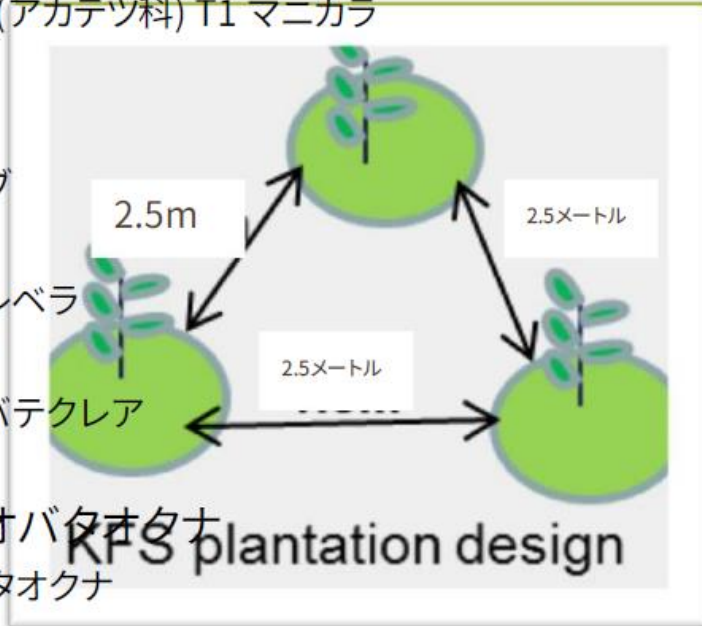
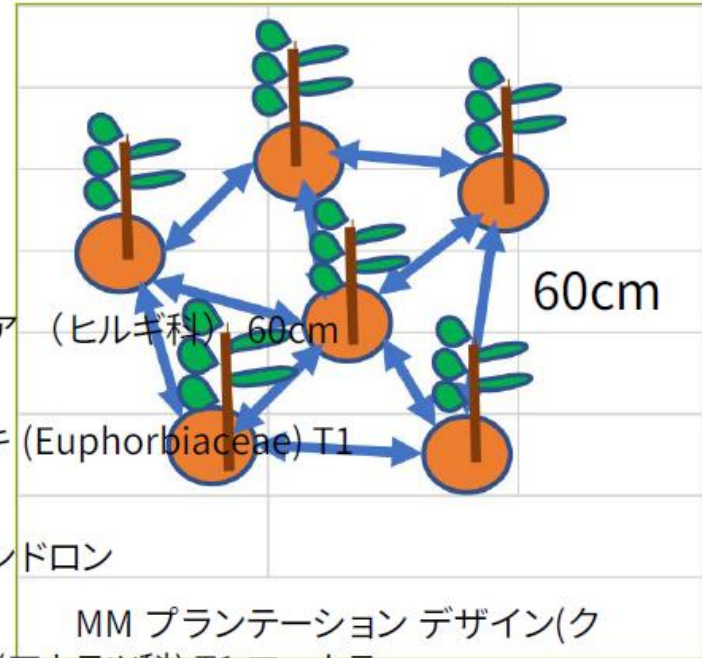
- 現地調査による自然発生率に基づいた種を選択
データ
- 敷地の準備後、1m²あたり約3本をランダムに植える
- マルチングと敷地の維持管理（除草と枯れた木の交換）
植え付け後3年経過した苗木です。
- 小さな恒久的な区画（約25m²）を設置し、その後、苗木の成長と生存をモニタリングします。少なくとも年に1回データを収集し、各苗木の高さ、基部直径、胸高直径、生存率を取得します（苗木には固有の番号が付けられ、X、Y座標を使用して地理参照されます）。



ンゴングで提案された種

ブラキラエナ・ヒューレンシス
 カンチウム・ケニエンセ
 ケルティス・アフリカーナ
 カシポウレア・マロサナ
 クロトンメガロカルプス
 アビシニカ
 ドライペテス・ジェラルディ
 エラエデンドロン・ブチャナニ
 エレティア・シモサ
 イチジク属
 マニルカラ変色
 メイテヌス・ウンダタ
 オリーブ アフリカーナ 垂種 パ
 ラウソニア・ルキダ
 シュレベラ・アラタ
 テクレア・シンプリシフォリア
 テクレア・トリコカルパ
 ワルブルギア・ウガンデンシス
 オクナ・オバタ
 オクナ・インスカルプタ

(キク科) T1 ブラキラエナ
 (アカネ科) T2 カンチウム
 (ウルマ科) T1 アフリカエノキ
 (リゾフォラ科) T1 カシポウレア
 (ヒルギ科) T1 クロトン
 (トウダイグサ科) T1 クロトン
 (Ebenaceae) T1 アビシニカカキ
 (Euphorbiaceae) T1
 ドウリペテス 20-30cm Øholes
 (Celastraceae) T1 エラエオデンドロン
 (ムラサキ科) T1 エレティア
 (アカデツ科) T1 ソニンギーガジュマル
 (アカデツ科) T1 マニカラ
 (Celastraceae) T1 メイテヌス
 (モクセイ科) T1 アフリカオリーブ
 (ヒラタ科) T2 ロウソニア
 (モクセイ科) T1 シュレベラ
 (ミカン科) T2 タンヨウテクレア
 (ミカン科) T2 ミツバテクレア
 (アカネ科) T1 ワルブルギア
 (オバタオクナ科) (T2)、S オバタオクナ
 (オクナ科) (T2)、S インスクリプタオクナ





すべての茂みを一掃
ランタナカマラは、敷地準
備の最初のステップと
して行う必要がありま
した



ンゴングロード森林サイト



2011

2009



20

- 土地の準備と
穴掘り - ンゴング
道路 森林 サイト



天然林の回復は人々に大きな利益と満足感をもたらすだろう



2007

TREE PLANTING FOR RESTORATION OF NATURAL
 FORESTS IN KENYA
 By Kenya Forest Service, Japanese Volunteers,
 University of Nairobi Students and Community
 SUPPORTED BY WFP, UNICEF, UNFPA AND UNHCR
 11TH APRIL, 2009



2009



ケニア、ナイロビのンゴング

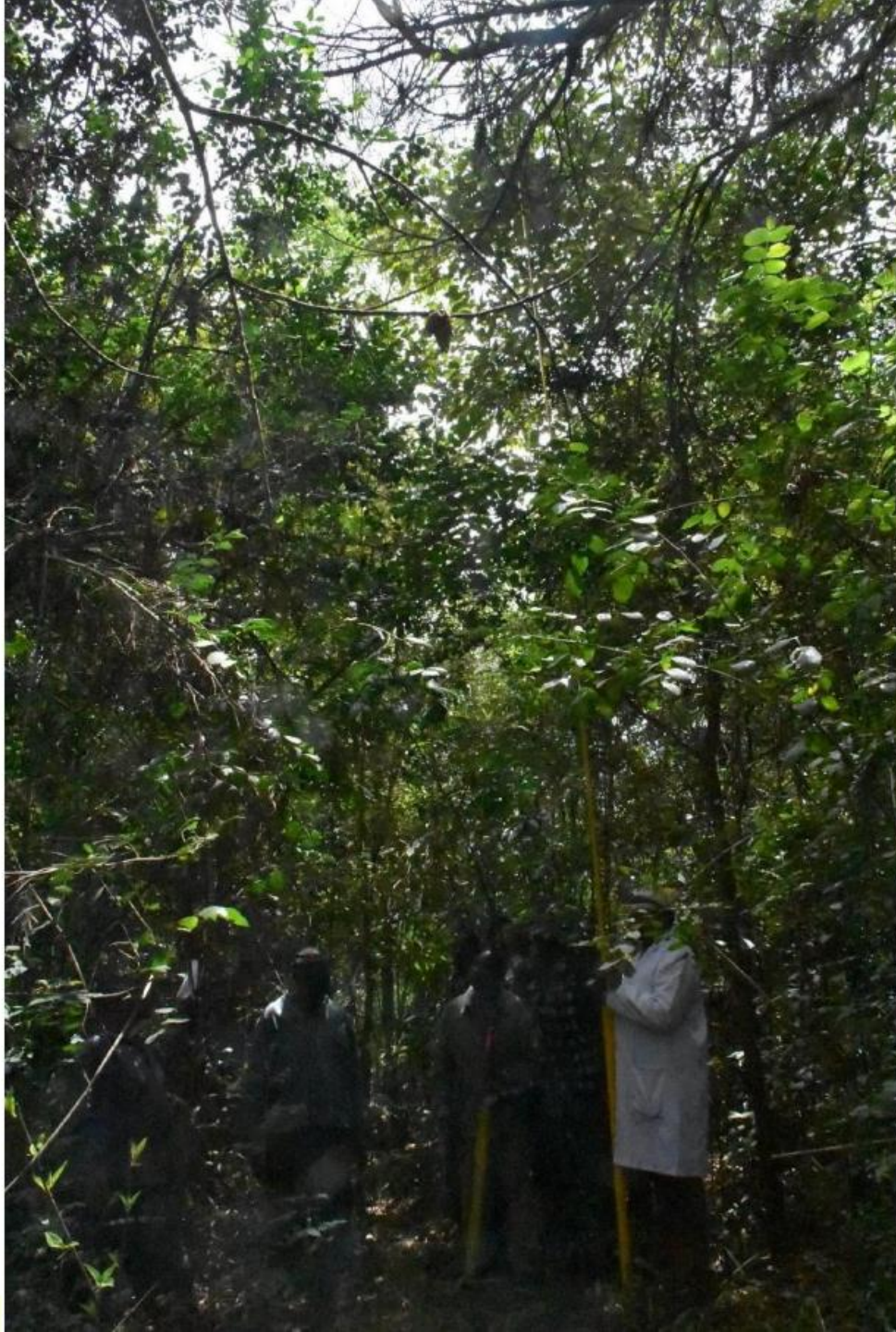


2012/10/23

2012年10月



2016年4月6日



2016年4月16日

マウの森



荒廃地域の修復は在来種に基づいた場所の感覚を回復することである

生物多様性、二酸化炭素固定、災害軽減、

ケニア林業と宮脇方式に基づく、あなたとあなたの愛する人のためのマウ自然林の復元



による

地域住民、ナイロビ大学の学生、日本人ボランティア、ケニア森林局および総合林業コンサルタント・管理サービス



後援：HIOKI、横浜市立大学、JISE、毎日新聞社、UoN、KFS、IFCMS





マウの森にはもう自然林はない





マウの森

ナイロビ大学

マウの森にはもう自然林はない









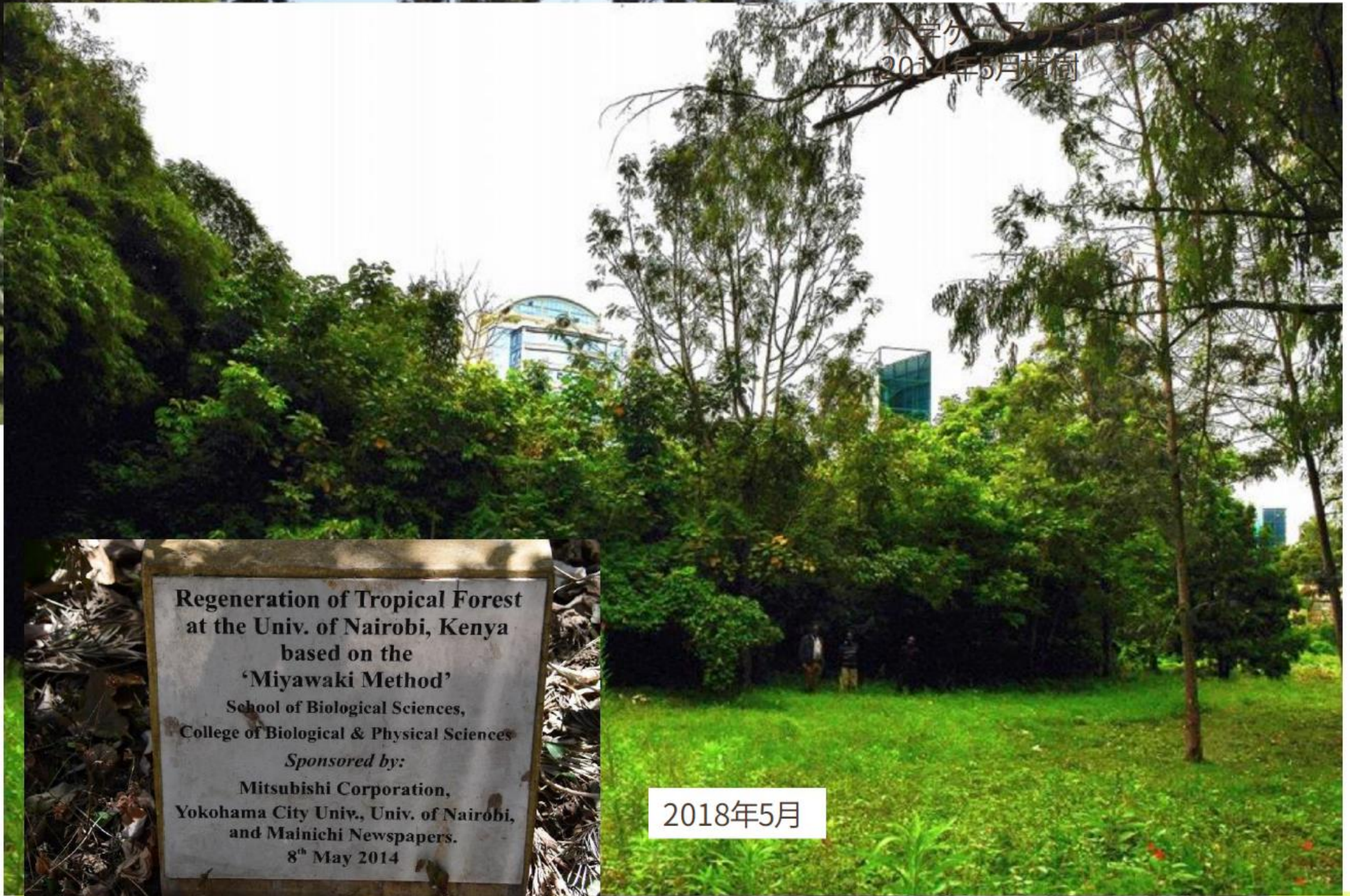








2018年4月19日



**Regeneration of Tropical Forest
at the Univ. of Nairobi, Kenya
based on the
'Miyawaki Method'**
School of Biological Sciences,
College of Biological & Physical Sciences
Sponsored by:
Mitsubishi Corporation,
Yokohama City Univ., Univ. of Nairobi,
and Mainichi Newspapers.
8th May 2014

2018年5月



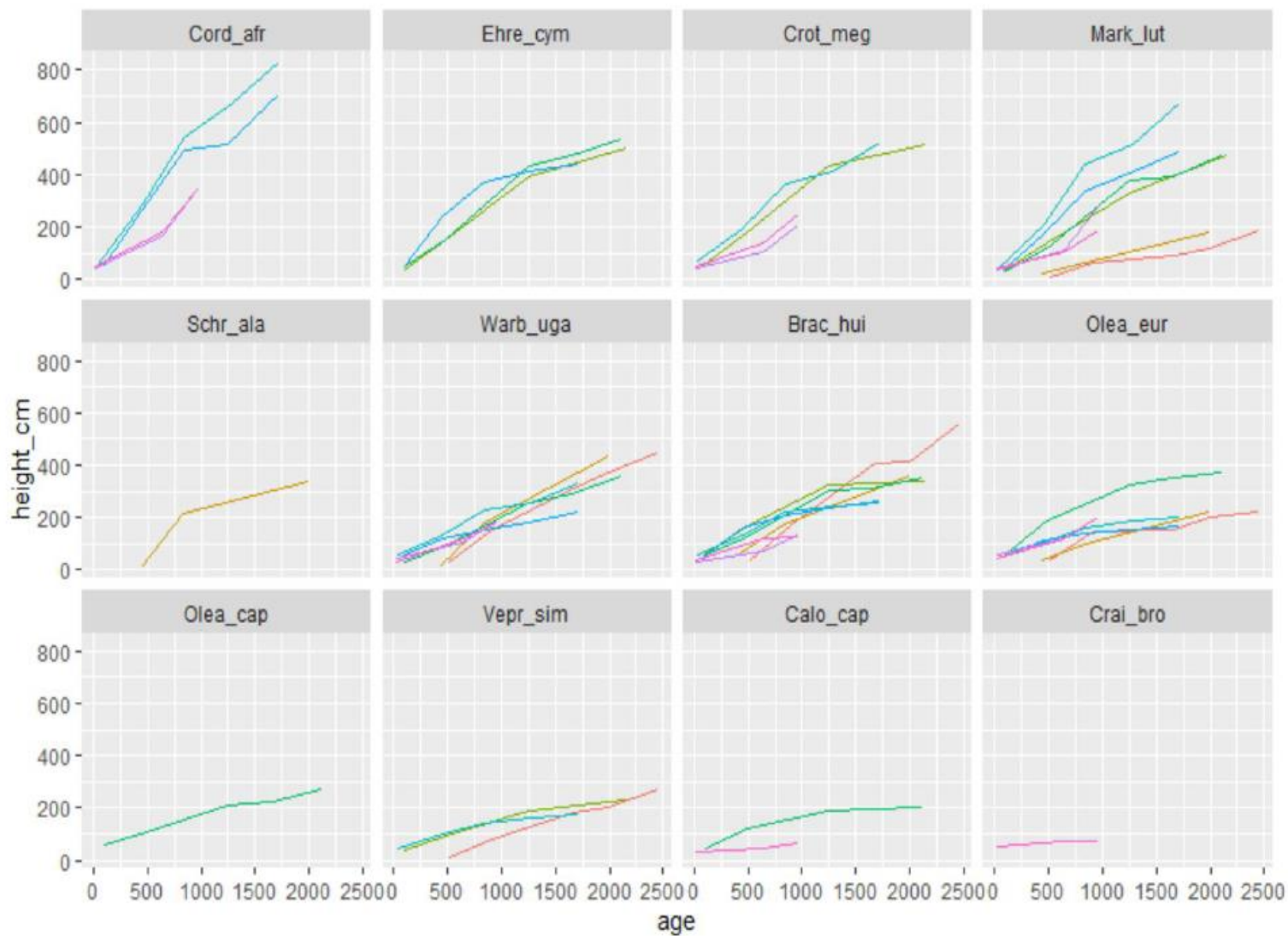
Restoration of Tropical forest in Chiromo Campus in 2014 was planned on Kangemi River flooding area. Soil of planting planned site is poor air content and consolidated. The site is covered with weeds. Therefore mound was constructed to improve the drainage. Seedlings of native forests are planted on the mound by Miyawaki method.

2014年のシロモキャンパスの熱帯林再生は、カンゲミ川の洪水域に設定された。計画地の土壌は、空気含有量が少なく、固結し、雑草で覆われている。したがって、排水をよくするため、マウンドが構築され、その上に植栽される。



成長の概要

- ナイロビ大学チロモキャンパスでは、合計16
選択された種は、 *Shrebera alata*、*Rawsonia*
ルシーダ、 *Cassipourea malosana*、 *Vepris simplicifolia*、 *Drypetes*
ゲラルディ、エラオデンドロン・ブチャナニ、クロトン・メガロカルパス、ブラキラエナ
• フイレシス、カロデンドラム・カペンス、フィカス・トニンニイ、ワルブルギア・ウガンデン
シス、オレア・ヨーロッパssp。アフリカーナ、 *Olea capensis*
ssp. *hochstetteri*、 *Ehretia cymosa*、 *Markhamea lutea*、 *Cordia africana*など
- 高さ、胸高直径、木材容積の成長ダイナミクスを説明するために線形回帰
モデルを使用しました。



Cord_afr - アフリカン・コルディア
 Ehre_cym - エレティア・シモサ
 Crot_meg - クロトン メガロカルパス
 Mark_lut - マルカメア・ルテア
 Schr_ala - シュレベラ アラタ
 Warb_uga - ワルブルギア・ウガンデンシス
 Brac_hui - ブラキレアナ・ヒューレンシス
 Olea_eur - Olea europaea ssp
 アフリカーナ
 Olea_cap - オリーブ カペンシス
 Vepr_sim - ベプリス・シンプリシフォリア
 カロキャップ - カロンデンダム カペンシス
 Crai_brai - クレイビア・ブラウニー

plot_no

P7-12

P8-12

P1-13

P2-13

P3-14

P4-14

P5-16

P6-16

2012年から2016年の間に植えられたさまざまな区画におけるさまざまな種の成長率。

- 2012年から2016年までの異なる年に植えられた異なる区画では、各種の成長率が均一ではありませんでした。*Cordia africana*や*Markhamea lutea*などの一部の種は、2012年と2016年に植えられた区画よりも2014年の区画でより速い成長を示しました。
- 種の成長率を区画ごとに見ると、*Cordia africana* は、それが生息していた区画、つまり2014年と2016年の区画で最も成長率が高かった。これは、測定が行われた年齢とは関係ない。
- 種ごとの成長モデルの平均傾きを考慮すると、高さの成長は*Craibia brownii*の0.028 cm d-1から*Cordia africana*の0.365 cm d-1までの範囲で、それぞれおよそ0.1~1.33 m y-1の年間成長を表します。
- 高さの成長の最高値は、2014年に植えられた区画（P3-14とP4-14）で観察され、同時に種間の変動が最も大きいことを示しています。

- 平均すると、体積成長は*Craibia brownii*の $0.044 \text{ mm}^3 \text{ d}^{-1}$ から*Cordia africana*の $7.692 \text{ mm}^3 \text{ d}^{-1}$ までの範囲です。• 区画ごとに木材体積成長を考慮すると、大きな違いがあり、2014年に

植林された区画 (P3-14 と P4-14) と P1-13 (2013 年に植林) の成長率は $1 \text{ mm}^3 \text{ d}^{-1}$ を超えています。• 高さ成長の場合と同様に、体積成長率の高い値も、それぞれの成長値の大きな変動に関連しています。• 種を選択により、*Vepris simplicifolia*、*Olea europaea ssp africana*などの成長が遅く日陰に耐性のある種

が生き残り、良好な遷移植生マトリックスを形成する、自然な多層植生が生まれました。

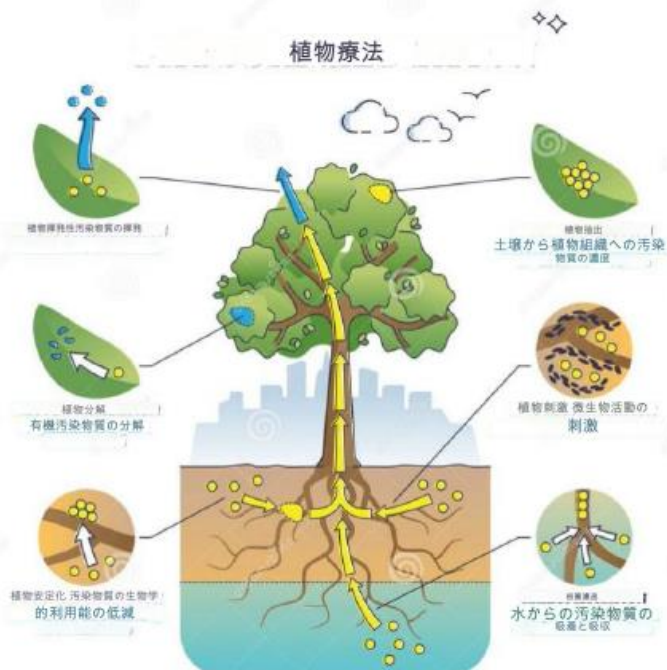
- 別の場所（ンゴングロード森林）での以前の研究と比較すると、種の成長と生存は場所の条件に依存しています。たとえば、*O. europaea* ssp. *africana* は最も高い樹高成長を示し、平坦な場所では9年後に502.2 cm に達し、*C. megalocarpus* が427.3 cm でそれに続きましたが、斜面の場所ではすでに*C. megalocarpus* が7年以内に622 cm に達し、斜面の場所で*B. huillensis* (467 cm) がそれに続きました(Hayashi et al, 2017)。
- 傾斜地での植栽後7年間の樹高増加は、平坦地での9年間の増加と比較すると、*C. megalocarpus* では582.3 cm 対 393.8 cm、*B. huillensis* では429.8 cm 対 322.8 cm、*M. lutea* では415.4 cm 対 315.3 cm、*W. ugandensis* では298.8 cm 対 267.7 cm でした。
- 一般的に、ンゴング道路区画とチロモキャンパス区画では、植栽後の高さの増加量は斜面サイトですべての種で著しく大きかった。

宮脇メソッドによるファイトレメディエーション

- 修復と同じコンセプト
- ただし、サイトの状況や種を選択は、復元の場合のように必ずしも潜在的な自然植生ではなく、種の化合物隔離能力などの他の要因によって影響を受ける可能性があります。
- キテンゲラの敷地は、1970年代から貯蔵庫から漏れ出した古い農薬で汚染されている。
- アプローチは、バイオレメディエーション（微生物）とファイトレメディエーション（植物）を組み合わせることで化合物を隔離することです。

植物による修復は、以下のさまざまな方法で実行できます。

- 植物抽出：環境からの汚染物質を植物バイオマスに吸収し濃縮します。
- 植物安定化：環境中の汚染物質の移動性の低減。
- 植物変換：植物の代謝の直接的な結果としての環境物質の化学変化。



キテンゲラ植物修復サイト - 植生調査



1st植生調査
- 植え付け前

第2回植生調査 -
植え付け後

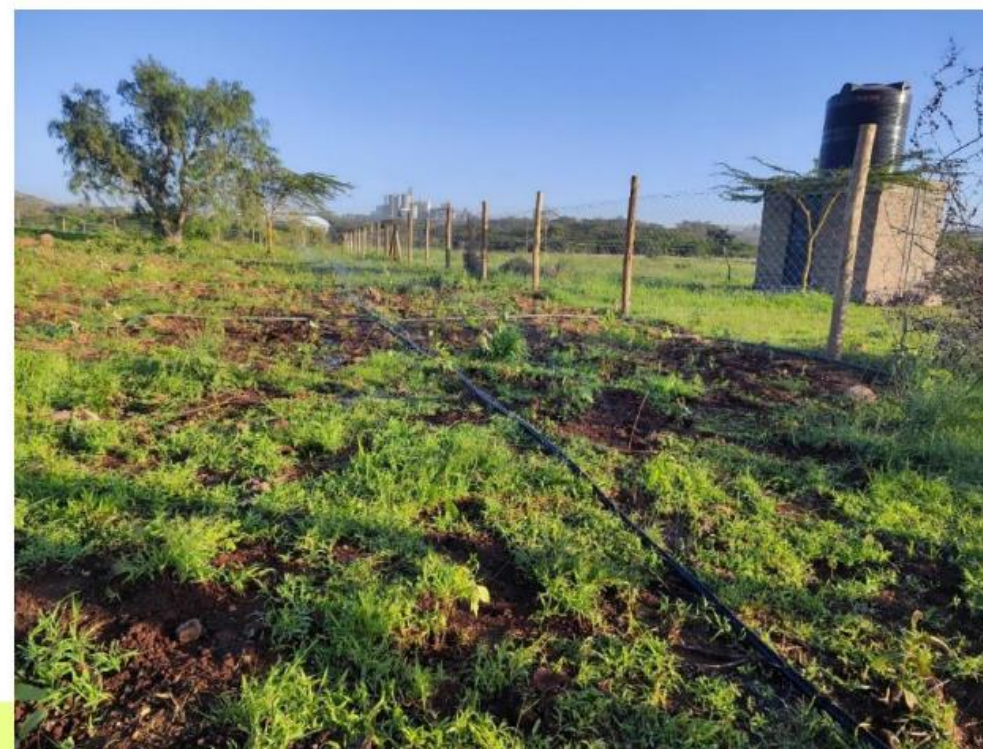




成長、生存、生息地の条件

- ナイロビ国立公園の南東付近に位置し、かつてはサバンナの牧草地であった地域です。そのため、主に草原の植生といくつかの低木で構成されており、非常に乾燥しています。
- 種のキーの選択基準は、隔離能力と乾燥した環境での生存可能性のいずれかであった。

- しかし、補助的な散水が定着の重要な要素であると考えられ、そのため灌漑システムが設置されました。
- 植え付け後の年は雨が多く、苗木の生存に役立ったが、一部浸水した部分では苗木が枯れた。



キテンゲラ植物浄化サイトの準備と植栽







植えられた苗木の例は次のとおりです。

•ミレットティア・デュラ

•ブリデリア・ミクランサ

•バケリア・キサソ

ソフロエア・バケリア・ト

ルティリス

•ヴァケリア・キルキ

•クロトンメガロカルプス・マルカミア・

ルデア

•マルガリータリア・ディ
スコイデア

•コルディア・アフリカナ

Vepris simplicifolia



特別な感謝を申し上げます。

HIOKI

