

ミャンマーにおいてマングローブを植林した土壌の性質 ～植林計画における適地選定のための土壌指標の推定～

池田 穰^{*1}・松下知照^{*2}

ミャンマー連邦共和国では、ODA(政府開発援助)の一環として2013年から2017年にかけて1,154haというこれまでにない最大規模のマングローブ植林が沿岸機能の保護を主な目的として行なわれた。植林計画では生育の速さ、土壌への活着のしやすさ、種子調達の容易さなどを考慮して2種類のマングローブを植栽した。しかし植栽後1-2年後のマングローブの生残率にはばらつきが生じた。この原因を検討するために、当初の植林計画では考慮していない土壌の物理・化学的な11の指標について調査を行なった。その結果、生残率の高低に比較的大きな影響を及ぼす土壌指標が示唆された。この成果は、今後の植林適地の選定調査に活用可能である。

キーワード： ミャンマー、マングローブ、植林、土壌、生残率

1. はじめに

マングローブは熱帯・亜熱帯地域の河口や沿岸域の潮間帯に生息する植物の総称である(図-1)。マングローブには、高潮による海水侵入の緩和、土地の浸食防止、漂流物の移動防止、生物多様性の保全等様々の有用な機能がある。しかしミャンマーではサイクロンや過度の伐採など様々な原因によりマングローブが減少している。こうした状況において、2008年5月に発生したサイクロン・ナルギスによりミャンマー南西部のエーヤワディ管区においては、多数の死者・行方不明者(約14万人)と地域住民の生活・生産活動への甚大な被害をもたらされた。マングローブの存在する地域はそれが無い地域より被害が少ない傾向が見られたことから地域の防災機能としてマングローブの有効性が確認された¹⁾。

しかしミャンマーでは、自国の予算は主に都市部のインフラ整備に優先的に充てられるため、自国の費用で防災機能強化を目的とする広大な規模のマングローブ植林を実施することは困難な状況にある。このため我が国への無償資金協力の要請があり、JICA(独立行政法人 国際協力機

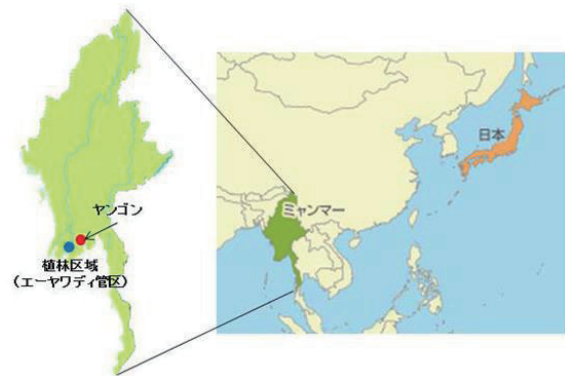


図-2 ミャンマーの位置とマングローブ植林区域

構)による国際協力のための準備調査が実施された¹⁾。

この調査に基づきミャンマー最長の河川、エーヤワディ川の河口デルタ地域にあたるエーヤワディ管区(図-2, 写真-1)においてマングローブの植林事業が2013年から2017年にかけて実施された。植林面積は1,154haというこれまでにない大規模な面積であり、植林を効率よく成し遂げるには、わが国の総合建設業の施工管理能力が必要とされた。ここでは当初マングローブ植林計画においてはあまり検討されなかった生残率の高低に影響を及ぼす土壌

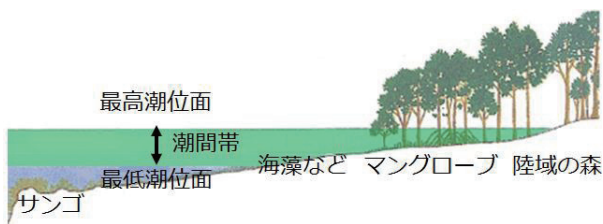


図-1 マングローブ沿岸域の模式図



写真-1 マングローブ植林区域の一部

*1 先端・環境研究部 *2 国際事業本部



写真-2 *Sonneratia caseolaris* (上)と *Avicennia officinalis* (下)

指標の調査結果を報告する。土壌指標は、マングローブの植林の成否に大きな影響を及ぼすと考えられるものの、タイでの事例調査の他にはあまり調べられていない²⁾。

2. 植林の概要

植栽したマングローブは *Sonneratia caseolaris* (以下 Sc) と *Avicennia officinalis* (以下 Ao) の2種類である(写真-2)。これらのマングローブは比較的低い地盤高(0.1~2.0m)と長い冠水日数(56~62日)で生息分布している。¹⁾種の選定においては、生育の速さ、種子調達の容易さなどは考慮したものの、土壌指標については配慮していない。植林の手順を図-3に示す³⁾。ミャンマーの国土の大半は熱帯性気候で、降水量からみて大きく雨季(5月~10月)と乾季(11月4月)に分けられる。雨季に種子を採取・選別し発芽させて育苗し、苗木を苗床で作成する。次に苗木の植栽を行うが、ミャンマーの森林局では、

表-1 年度別の植栽本数と植林面積

	植栽本数(本)		植林面積(ha)
	<i>Sonneratia caseolaris</i>	<i>Avicennia officinalis</i>	
2014年	589,875	-	270
2015年	508,000	1,332,625	884
計	1,097,875	1,332,625	1,154

マングローブ苗木の植栽実施時期として雨季を推奨しておりここでもそれに従った。また苗木の植栽は Sc, Ao それぞれの生育に概ね適した地盤高の場所を植林区域として選定した。2014年度と2015年度にかけて表-1のように Sc : 1,097,875 本, Ao : 1,332,625 本の苗木を 1,154ha にわたり植栽した。

3. 方法

3.1 生残率調査

生残率とは、ある面積において植栽したマングローブ苗木の総数に対する、植栽後一定期間において枯死せずに順調に生育しているマングローブの本数の比である。ここでは、植栽面積が大きいため全数調査ではなく標本調査を行った。

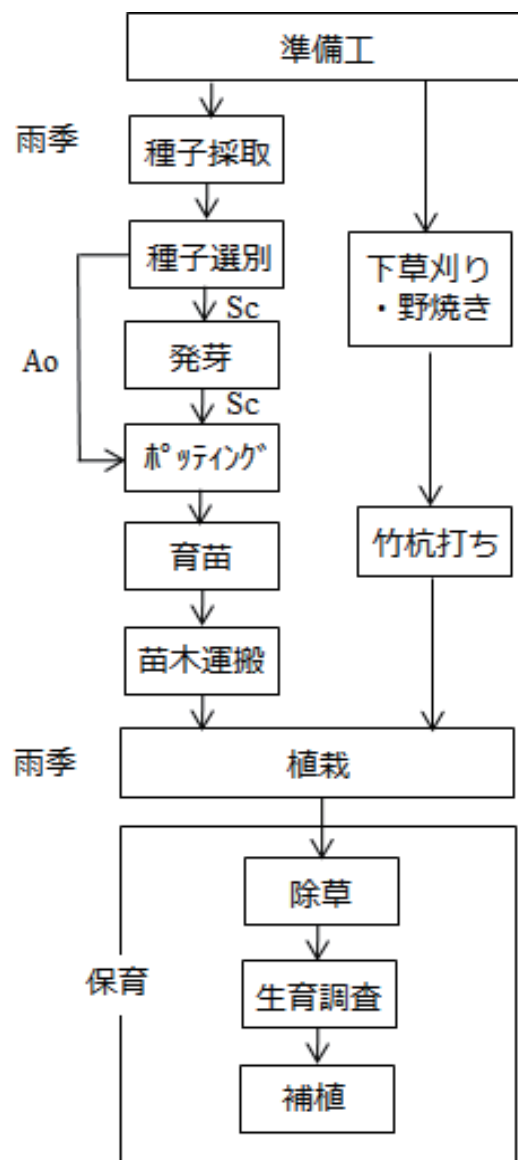


図-3 植林工事の流れ



写真-3 生育調査の様子



写真-5 土壌採取の様子

具体的には、2014年に植栽したSc、2015年に植栽したAoそれぞれの植栽本数の約2%にあたるマングローブをランダムに抽出し、2016年の1月-3月に生育調査の一環として生残率調査を行なった。調査箇所では区画した20m四方において植栽した苗木の枯死数をカウントした。調査の状況を写真-3に示す。

3.2 土壌分析と判別分析

植栽した苗木の枯死の原因としては、土壌の乾燥、蟹な

ごによる捕食、家畜による踏害などがあげられるものの、ここでは植林計画においてあまり考慮されていなかった土壌の物理・化学的な指標に焦点をあて、苗木の生残率と土壌指標との相関を調査した。

具体的には2014年に植栽したScと2015年に植栽したAoそれぞれに関して、2016年の生残率調査の結果、生残率50%未満の16地点と生残率80%以上の10地点を任意に選択し(写真-4)、それらの表層部分の土壌を2016年7月(雨季)に採取して(写真-5)、11項目の土壌指標

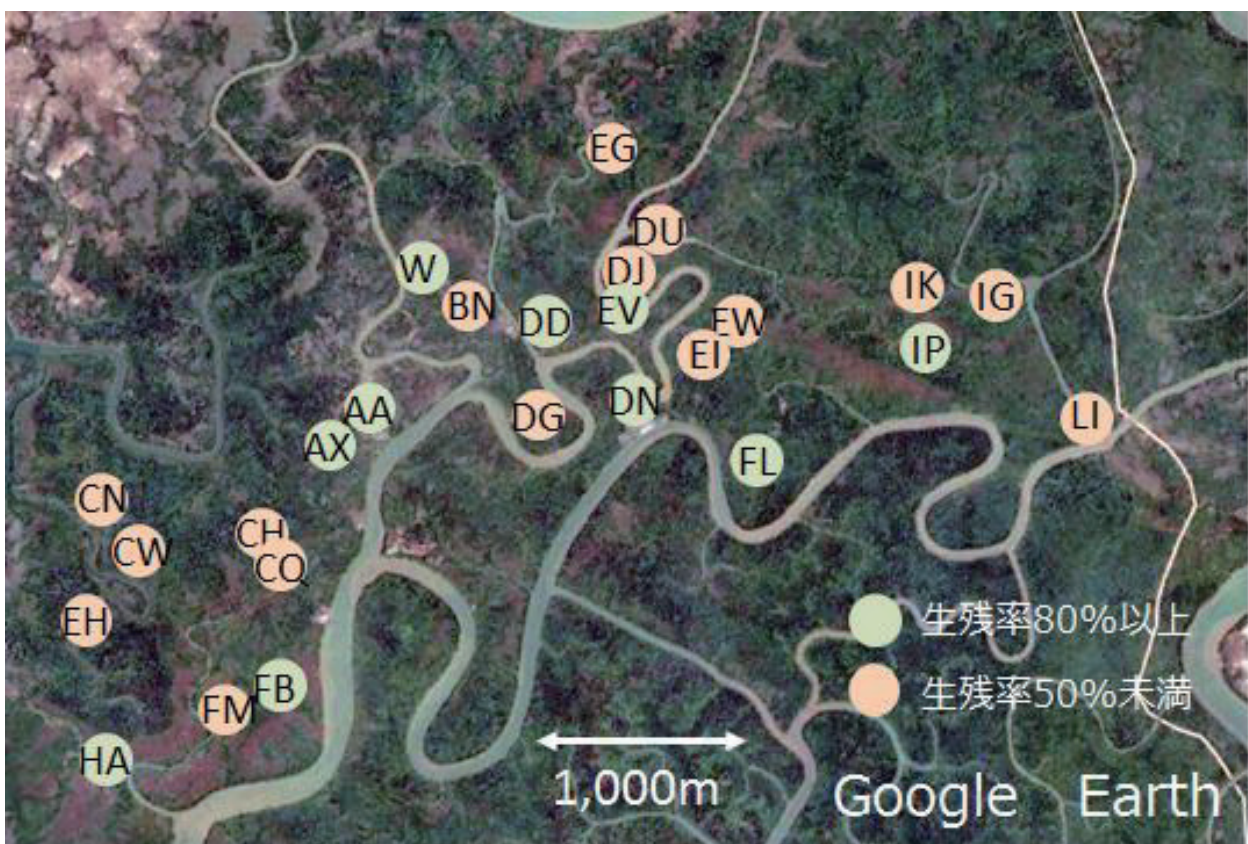


写真-4 土壌採取地点

表-2 土壌分析項目と測定方法

項目	測定方法	備考
土壌採取	ひとつのサンプルポイントにつき、表面から30cmの深さまでの土を土壌サンプリング機器により1kg採取	アメリカ材料試験規格(ASTM) イギリス規格(BS) ISO(国際標準化機構)規格 欧州規格(EN)に準拠して測定
平均硬度	山中式土壌硬度計による測定	
水分	乾燥前後の重量分析による測定	
pH	土と水を混合し、上澄液のpHをガラス電極にて測定	
EC(電気伝導率)	土と水を土:水=1:5の体積比で混合した溶液のECを導電率計で測定	
粘土分	粒径分析(ピペット法)による測定	
有機炭素	Whalkey-Black法による測定	
腐食質	有機炭素に1.74を乗じて算出。	
全窒素	Kjedahl法による測定	
CEC(陽イオン交換容量)	Schollenberger法による測定	
K ⁺ (交換性カリウム)	炎光度法による測定	
P(可給態りん酸)	Olsen法、Bray-Kurtz法による測定	

表-3 植栽年, 植栽種, 生残率, 採取日および採取地点別の土壌分析値

植栽年	植栽種	土壌採取日	生残率	採取地点	平均硬度 (mm)	水分 (%)	pH	電気伝導率 (ms/cm)	粘土分 (%)	有機炭素 (%)	腐食質 (%)	全窒素 (%)	CEC(陽イオン交換容量) (meq/100g)	K ⁺ (交換性カリウム) (meq/100g)	P(可給態りん酸) (ppm)
2014	<i>Sonneratia caseolaris</i>	2016/7/22	50%未満	EI	2.6	6.54	6.06	1.54	42.1	2.64	4.61	0.26	38.21	1.64	12.69
				DG	2.1	6.99	6.27	1.43	40.3	2.12	3.65	0.21	39.76	1.57	12.27
				LI	1.4	6.02	6.07	1.14	31.8	2.47	4.25	0.22	31.67	1.18	12.35
				IK	0.0	9.08	5.85	1.12	47.05	2.88	4.96	0.19	35.61	1.52	2.6
				EG	3.1	4.27	6.68	0.43	44.6	2.02	3.47	0.18	27.68	1.26	0.63
				FM	0.0	6.55	5.88	2.32	47.9	2.28	3.93	0.23	49.59	1.64	2.21
				CQ	6.4	6.13	6.44	1.39	45.9	2.36	4.07	0.19	40.97	1.51	0.42
			80%以上	CN	2.0	11.32	6.1	1.46	41.2	2.82	4.86	0.32	44.61	1.79	0.77
				BN	5.7	5.95	6.11	1.79	38.9	2.82	4.86	0.22	41.08	1.43	6.7
				DN	0.0	9.27	6.2	1.58	42.7	3.5	6.03	0.23	45.43	1.99	1.3
				AA	2.3	7.97	5.86	2.04	37.5	2.61	4.49	0.27	45.09	1.67	0.85
				DJ	7.8	6.43	5.86	2.31	40.2	2.88	4.96	0.21	40.36	1.52	12
				DU	5.3	5.79	6.59	0.84	41.9	2.26	3.9	0.19	35.28	1.51	2.52
				EW	6.8	2.47	6.34	0.86	28.7	1.65	2.84	0.14	17.5	0.72	12.74
2015	<i>Avicennia officinalis</i>	2016/7/22	50%未満	CW	3.5	8.24	6.38	2	49.1	2.28	3.93	0.23	48.45	1.75	0.1
				CH	2.4	6.73	6.68	1.79	45.1	0.62	1.08	0.23	43.38	1.6	0.64
				EH	2.5	12.55	6.11	1.85	48.6	6.25	10.77	0.32	52.36	1.87	0.5
				JG	3.5	8.37	6.3	1.5	51.05	3.29	5.67	0.27	41.84	0.63	12.66
				FL	0.0	6.34	6.17	1.01	36.1	2.67	4.61	0.19	34.13	1.39	1.89
				IP	2.9	3.48	6.06	1.12	27.7	1.65	2.84	0.13	21.02	0.78	2.96
				DD	4.0	5.39	6.8	0.74	36.35	2.42	4.17	0.19	31.54	1.34	0.63
			80%以上	EV	5.5	5.71	6.31	1.15	39.45	1.95	3.37	0.22	33.95	1.3	0.73
				W	0.7	6.26	7.01	1.1	38.3	2.2	3.79	0.22	36.51	1.47	1.37
				AX	3.3	6.01	6.15	1.85	51.2	2.44	4.21	0.21	44.51	1.55	1.26
				FB	4.0	4.72	6.19	0.82	43.05	1.87	3.23	0.2	32.75	1.05	8.88
				HA	4.7	4.03	6.19	0.87	44.55	1.51	2.6	0.15	35	0.96	5.76

を測定した。土壌採取の方法、分析項目および測定方法を表-2に示す。また2017年1月(乾季)にはいくつかの地点において土壌を採取し、雨季と水分の相違などを明らかにするために分析項目の一部を測定した。これらの分析結果から生残率と土壌指標との相関を判別分析により評価した。

4. 結果と考察

表-3に植栽年、植栽種、土壌採取日、生残率および採取地点別の土壌分析結果を示す。これをもとに、2014年に植栽したScと2015年に植栽したAoそれぞれについて、

生残率を目的変数(80%以上と50%未満の2つのカテゴリーデータ)、土壌指標を説明変数(11個の数量データ)として目的変数と説明変数との関係性を求めるために判別分析を行なった(表-4)。初めに目的変数と各土壌指標

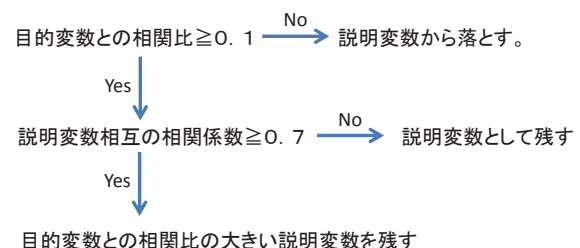


図-4 判別分析における各説明変数の選別方法¹⁾

表-4 判別分析における説明変数と目的変数

変数名	データの種類	データ数	データ名
目的変数	カテゴリー	2	生残率80%以上, 生残率50%未満
説明変数	数値	11	平均硬度, 水分, pH, 電気伝導率, 粘土分, 有機炭素, 腐食質, 全窒素, CEC(陽イオン交換容量), K ⁺ (交換性カリウム), P(可給態りん酸)

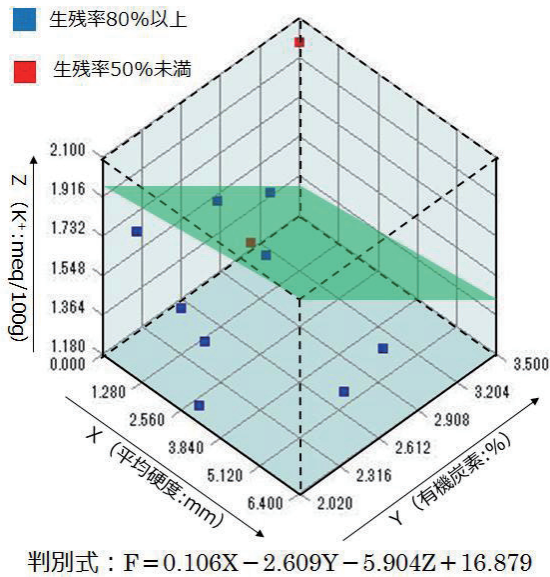


図-5 2014年Scの生残率(F)と土壌指標(X, Y, Z)の関係を表す判別平面

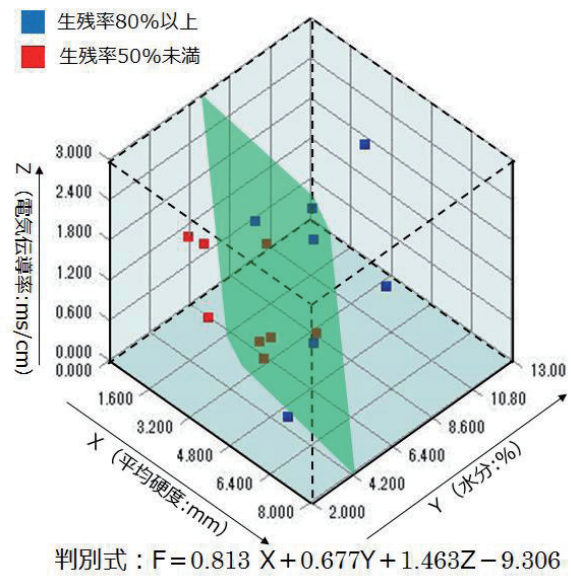


図-6 2015年Aoの生残率(F)と土壌指標(X, Y, Z)の関係を表す判別平面

との相関比をもとめ、相関比が0.1未満の説明変数(土壌指標)を重要度が低いものとして落とした。次に残った説明変数相互間の組み合わせからそれぞれの相関係数を求めた。この値が0.7以上の場合、2つの説明変数うち目的変数との相関比が高い方の説明変数を予測に使えるものとした。こうした説明変数の選択方法(図-4)により最終的な説明変数が、2014年に植栽したScと2015年に植栽したAoそれぞれについて3つに絞られた。それぞれの判別式を以下に示す。

2014年度のSc：
 $F = 0.106 \times X(\text{平均硬度}) - 2.609 \times Y(\text{有機炭素}) - 5.904 \times Z(\text{交換性カリウム}(K^+)) + 16.879$
 (誤判別確率=0.173) (1)

2015年度のAo：
 $F = 0.813 \times X(\text{平均硬度}) + 0.677 \times Y(\text{水分}) + 1.463 \times Z(\text{電気伝導率}) - 9.306$ (誤判別確率=0.184) (2)
 ここで式(1)、(2)において $F \geq 0$ 以上ならば、50%

未満の生残率、 $F < 0$ ならば、80%以上の生残率と予測される。これらの関係を判別平面により3次元で表すとそれぞれ図-5、図-6のようになる。

生残率に比較的大きな影響を与える土壌指標は平均硬度、有機炭素、交換性カリウム(K^+)、水分、電気伝導率の5つであった。判別式(1)、(2)の各説明変数の標準化係数の大小から目的変数である生残率への影響の大きさを評価できる。(1)式の標準化係数の大きさは平均硬度<有機炭素<交換性カリウム(K^+)の順であったことから交換性カリウム(K^+)が生残率に最も大きな影響を与えている。また(2)式の標準化係数の大きさからは、平均硬度が生残率に最も大きな影響を与えていることが示唆された。さらに2014年のSc、2015年のAoの生残率に共通して影響を与える土壌指標は平均硬度であった。生残率に影響を及ぼす要因としては、植栽種や先述した捕食・踏害など複合的な要因が考えられるが、いくつかの土壌指標も影響を及ぼすことが示唆された。これらのことからマングロー

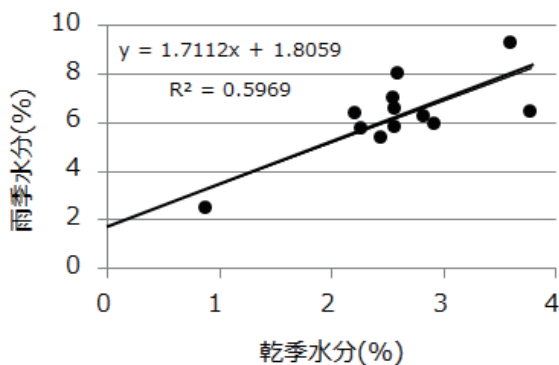


図-7 雨季と乾季における同一地点の土壌水分の相関

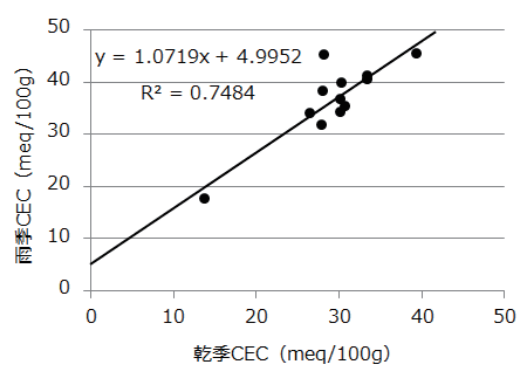


図-8 雨季と乾季における同一地点のCEC(陽イオン交換容量)の相関

ブの植林計画における適地選定において平均硬度を初めとする土壌指標を調査する必要性は高いと思われる。

また雨季（2016年7月）と乾季（2018年1月）における同一地点の土壌水分の相関図を図-7に示す。雨季は乾季より各地点において1.7倍ほど水分が高く、雨季に水分が高い地点は乾季も同様に高いことがわかる。次に同一地点のCEC（陽イオン交換容量）の雨季と乾季の相関を図-8に示す。CECは、植物に必要な養分を吸着できる土の能力である。雨季には乾季より各地点においてCECが5meq/100gほど上昇していることから、土壌の保持できる陽イオンが乾季より雨季で増大していることがわかる。この雨季のCECの上昇は土壌水分の上昇によるものと考えられる。これらのことは、雨季に育苗や苗の植栽を行う理由を裏付けている。

Matsui²⁾はタイのマングローブでの調査結果から、マングローブの樹高が土壌硬度や有機炭素などの様々な物理・化学的な指標と相関関係にあることを指摘している。このことは今回の結果とともにマングローブの健全な生育に土壌指標が影響を及ぼしていることを示唆する。マングローブの生育に適した環境条件としては、土壌のほかに潮位、冠水日数など様々な要因が複合している。植林計画における適地選定においてはそれらを含めて総合的に考慮する必要がある。

5. おわりに

本調査では調査区域においてUAV（無人航空機）による空撮調査も実施した。これより3Dモデル（図-9）を作成し、生残率の高低による地形や植生の状況も確認している。

マングローブの大規模な植林は通常の陸域での植林と比較して事例も少なく、不明な点もまだ多い。これまでに例を見ない規模で行われた今回のマングローブ植林は、今後の「グリーンインフラ」の先駆的事業として位置づけら

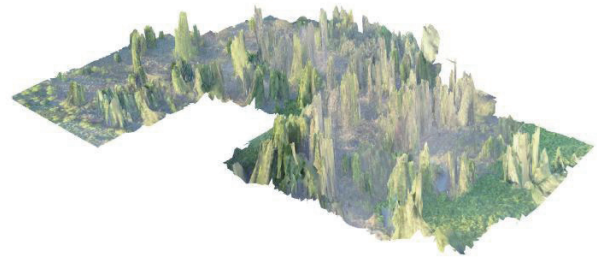


図-9 3Dモデルの例（生残率80%以上のAA地点）

れる。ミャンマー政府高官が植林区域に視察に来るなど、同国政府の期待も大きかった。今後「生態系を活用した防災・減災への取組み」として類似の植林が東南アジアを中心に展開されていくものと考えられる。今回の土壌指標の調査は、試行的なものであるが、今後の植林計画における適地選定の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 独立行政法人国際協力機構（JICA），国際航業株式会社，ミャンマー連邦共和国 沿岸部防災機能強化のためのマングローブ植林計画準備調査（その2）報告書，2012
- 2) N.Matsui, J.Suekuni, S.Havanond, A.Nishimiya, J.Yanai, T.Kosaki, Determination of soil-related factors controlling initial mangrove (*Rhizophora apiculata* BL.) growth in an abandoned shrimp pond, Soil Science and Plant Nutrition, Vol.54, p.301-309, 2008
- 3) 池田穰，松下知照，ミャンマーにおける世界最大規模のマングローブ植林，土木学会第72回年次学術講演会概要集，V-577，2017土木学会全国大会
- 4) 統計分析研究所 株式会社アイスタット，多変量解析の手法別解説，判別分析，https://istat.co.jp/ta_commentary/discriminant_analysis (2017年11月)

Physical and Chemical Characteristics of Soil for Mangrove Transplantation in Myanmar

Yutaka IKEDA, Tomoteru MATSUSHITA

In Myanmar, mangrove afforestation was conducted over a large area, i.e. 1,154 ha from 2013 to 2017 in order to protect the coastal functions as part of Japanese Official Development Assurance (ODA). Two species of mangrove were planted: *Sonneratia caseolaris* and *Avicennia officinalis*; because they take root and grow quickly, and there was a good supply of seeds. In the one to two years after planting, however, there were variations in the survival rates among the mangroves. To elucidate the differences, the physical and chemical factors of the soils were examined. As a result, five soil factors that affect the survival rates were estimated. These findings may contribute to selecting suitable places for future mangrove afforestation.