

持続的な泥炭地管理及び保全協力に 係る情報収集・確認調査 ファイナル・レポート

2023 年 3 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

一般社団法人日本森林技術協会
日本工営株式会社

環境
J R
23-035

目 次

調査対象国位置図	(1)
泥炭地位置図 インドネシア	(1)
泥炭地位置図 コンゴ民主共和国及びコンゴ共和国	(2)
泥炭地位置図 ペルー	(2)
略語集	(3)
要約	(6)

本 編

はじめに	1
第1章 序論	2
1.1 調査実施の背景	2
1.2 業務内容	3
1.2.1 業務の目的	3
1.2.2 調査対象地域と留意事項	4
1.3 業務の実施	6
第2章 調査対象国の泥炭地管理・保全分野に係る現状の確認及び課題の特定	7
2.1 インドネシア	7
2.1.1 泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター	7
2.1.2 国レベルの政策制度	9
2.1.3 中央政府機関の体制及び取り組み状況	13
2.1.4 州政府の体制及び取り組み状況	15
2.1.5 現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況	17
2.1.6 泥炭地の環境に係る基礎情報	22
2.1.7 泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報	28
2.1.8 泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況	31
2.1.9 他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要	32
2.1.10 他ドナー・民間の今後の支援方針	36
2.1.11 実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ	36
2.2 コンゴ盆地	37
2.2.1 泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター	37
2.2.2 国レベルの政策制度	38
2.2.3 中央政府機関の体制及び取り組み状況	40
2.2.4 州政府の体制及び取り組み状況	43
2.2.5 現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況	45
2.2.6 泥炭地の環境に係る基礎情報	45
2.2.7 泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報	46
2.2.8 泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況	46
2.2.9 泥炭地の管理に係る国内・域内の法制度・関連国際条約	46
2.2.10 他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要	47
2.2.11 他ドナー・民間の今後の支援方針	48

2.2.12	実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ	48
2.3	ペルー	48
2.3.1	泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター	48
2.3.2	国レベルの政策制度	49
2.3.3	中央政府機関の体制及び取り組み状況	52
2.3.4	州政府の体制及び取り組み状況	54
2.3.5	現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況	55
2.3.6	泥炭地の環境に係る基礎情報	55
2.3.7	泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報	57
2.3.8	泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況	57
2.3.9	他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要	57
2.3.10	他ドナー・民間の今後の支援方針	59
2.3.11	実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ	59
第3章	泥炭地マッピング（ボーダリング）	61
3.1	熱帯泥炭地の泥炭地マッピング手法の情報整理	61
3.1.1	Dargie et al. (2017) によるコンゴ盆地の泥炭地マッピング手法	61
3.1.2	Dargie et al. (2017) によるマッピング手法の課題	63
3.2	本調査における熱帯泥炭地の泥炭地マッピング手法	64
3.2.1	光学衛星を主とした泥炭地マッピング	64
3.2.2	国際的な泥炭地マッピング手法との比較・検証	75
3.2.3	コンゴ共和国 Gamboma 地区及びコンゴ民主共和国 Inongo 地区における 現地検証調査	79
3.2.4	ペルーにおけるマッピングマニュアル	85
3.3	泥炭地マッピングにおける課題・教訓及びニーズ	95
第4章	高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発及び検証	96
4.1	開発するプログラムの概要	96
4.1.1	開発するプログラム	96
4.1.2	プログラム開発に係る到達点の確認	97
4.1.3	開発するモデル・マップの関係及びそのアウトプットのイメージ	98
4.1.4	プログラム開発で使用したデータ	99
4.1.5	現地調査を行ったエリア	99
4.2	高精度土壌水分マップ（土壌水分量による地下水位推計）	101
4.2.1	土壌水分マップの検討	101
4.2.2	SAR データを用いた土壌水分量の推定	110
4.3	地下水位推定モデル（マップ）	120
4.3.1	土地利用との関係式	120
4.3.2	土壌水分と地下水位との関係式	121
4.3.3	土壌水分の広域推定	122
4.4	地下水位推定モデルによる温室効果ガス（二酸化炭素）排出削減量推定モデルの 開発及び検証	126
4.4.1	文献レビュー	126
4.4.2	二酸化炭素排出量と地下水位の関係	126
4.5	地下水位推定モデルによる温室効果ガス（メタン）排出削減量推定モデルの開発	

及び検証	129
4.5.1 文献レビュー	129
4.6 地下水位推定モデルによる泥炭火災の頻度と強度予測モデルの開発及び検証	132
4.6.1 火災インデックス	132
4.6.2 地下水位と土壌水分の変動	132
4.6.3 泥炭火災インデックスの推定	134
4.6.4 火災頻度と火災インデックスとの関係	137
4.6.5 ドローンによる火災モニタリング	138
4.7 地下水位推定モデルによる泥炭マッピング	140
4.7.1 泥炭地マッピングの検証	140
4.7.2 地下水位推定モデルによる泥炭マッピング	147
4.8 地下水位推定モデルの国際的な展開に係る残課題、今後の対応	161
4.9 地下水位推定モデルの国家戦略・行動計画との関連性	162
4.10 地下水位推定モデルの社会実装に向けた提言及び実施体制（案）	165
第5章 泥炭地管理・保全事業形成対象候補地域の特定及び事業ニーズの確認	168
5.1 候補地選定プロセス及び理由	168
5.1.1 熱帯泥炭地管理に係るこれまでの JICA 事業	168
5.1.2 コンゴ盆地における泥炭地管理・保全事業の調査候補地	170
5.2 候補地と国家戦略・行動計画との関連性	173
5.3 候補地における諸条件及び候補事業	173
5.3.1 候補事業（案）及びポテンシャル分析	173
5.3.2 泥炭由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況	174
5.3.3 地下水位推定モデル適用にかかる留意点	174
5.4 外部資金を活用した泥炭地管理・保全事業の方向性（案）	175
第6章 泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針に係る提言	176
6.1 国際社会のアジェンダと泥炭地の位置づけ	176
6.2 わが国における動向と泥炭地管理の位置づけ	179
6.3 泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針を検討するうえでの留意点	180
6.4 基礎情報収集調査の成果を活かした泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針	182
巻末資料：COP26 情報発信	184

図表目次

図 1.2.1.1 インドネシア中央カリマンタンの地下水位マップ例	4
図 2.1.2.1 2015 年～2020 年の森林・土地火災面積	10
図 2.1.6.1 PRIMS で泥炭分布・泥炭深度・運河を表示した例	24
図 2.1.6.2 PRIMS で火災危険度を表示した例	24
図 2.1.7.1 部門別温室効果ガス排出量の年変化（単位：GgCO ₂ e）	29
図 2.1.7.2 2018 年の温室効果ガス排出内容	29
図 2.1.7.3 林業部門と泥炭地の排出量	30
図 2.1.7.4 泥炭火災による GHG 排出	30
図 2.3.2.1 ペルーにおける泥炭地、湿地、有機土壌の概念図	50
図 2.3.2.2 ペルーにおける自然保護区の分類（担当行政組織：環境省・SERNANP）	52

図 2.3.3.1	MINAM、MIDAGRI の組織図及び機能	53
図 2.3.3.2	MINAM の組織図及び組織の機能	54
図 3.1.1.1	コンゴ盆地の泥炭地分布	63
図 3.2.1.1	コンゴ盆地中央に位置する MBANDAKA と JARDIN BOTANIQUE D' EALA 泥炭地	64
図 3.2.1.2	GREIFSWALD MIRE CENTER 作成の MBANDAKA 近郊の泥炭地植生マップ	65
図 3.2.1.3	GREIFSWALD MIRE CENTER 作成の MBANDAKA 近郊の泥炭地植生マップと CONGO PEAT の泥炭地マップの比較	65
図 3.2.1.4	泥炭地植生 7 種類の SENTINEL-2 画像のスペクトル特性	66
図 3.2.1.5	泥炭地植生 7 種類の SENTINEL-2 画像のスペクトル特性 (ボックスプロット図)	67
図 3.2.1.6	泥炭地植生 7 種類のスペクトル特徴に基づいた泥炭地のポテンシャル分布	68
図 3.2.1.7	SENTINEL-2 画像の画像間境界の不連続	69
図 3.2.1.8	大気補正済及び大気補正未処理の SENTINEL-2 画像の 2 画像間の DN 値の変化 ...	69
図 3.2.1.9	大気補正済及び大気補正未処理 SENTINEL-2 画像における泥炭地植生の スペクトル特性	70
図 3.2.1.10	大気補正済及び大気補正未処理の SENTINEL-2 画像における泥炭地植生の マッピング結果の比較	71
図 3.2.1.11	MBANDAKA から NIOKI までを含む 2021 年 3 月 28 日に観測された SENTINEL-2 画像 ..	71
図 3.2.1.12	2021 年 3 月 28 日に観測された SENTINEL-2 画像を用いた泥炭地抽出結果	72
図 3.2.1.13	2021 年 3 月 28 日に観測された SENTINEL-2 画像を用いた赤道州泥炭地抽出結果 ..	73
図 3.2.1.14	2021 年 3 月 28 日に観測された SENTINEL-2 画像を用いた泥炭地抽出結果	73
図 3.2.1.15	MBANDAKA 周辺で観測された PALSAR 画像と周辺の降雨と水位	74
図 3.2.1.16	MBANDAKA 土地被覆図と PALSAR/FBS モード画像	75
図 3.2.2.1	MBANDAKA の泥炭地植生における PALSAR/FBS モード画像の BACKSCATTER 値	76
図 3.2.2.2	NIOKI 周辺の PALSAR/FBS モード画像	76
図 3.2.2.3	NIOKI 周辺の PALSAR/FBS モード画像と CONGOPEAT/AFRITRON 泥炭マップと BACKSCATTER 値の変動	77
図 3.2.2.4	NIOKI 周辺の泥炭分布ポテンシャル地域の現地調査(2021)	78
図 3.2.3.1	GAMBOMA 地区及び INONGO 地区位置図	79
図 3.2.3.2	GAMBOMA 地区の地形 (左図) と CONGOPEAT の泥炭分布 (右図の赤縦部)	80
図 3.2.3.3	GAMBOMA 地区 LUARA 川流域の調査地点 No. 4 の位置と踏査ルート (右図)	80
図 3.2.3.4	INONGO 地区の調査地点位置図 (左図) と標高 (右図)	81
図 3.2.3.5	INONGO 地区の調査地点 (No. 3)	82
図 3.2.3.6	INONGO 地区の調査地点 (No. 3) における植生と湿地の水の色の特徴	82
図 3.2.3.7	INONGO 地区の調査地点 (No. 3) における泥炭ボーリングの状況	82
図 3.2.3.8	INONGO 地区の調査地点 (No. 6)	83
図 3.2.3.9	INONGO 地区の調査地点 (No. 6) における植生、泥炭ボーリングの状況	84
図 3.2.3.10	INONGO 地区の調査地点 (No. 7)	85
図 3.2.3.11	INONGO 地区の調査地点 (No. 7) における植生、泥炭ボーリングの状況	85
図 3.2.4.1	YANTARO 北西地区の SENTINEL-2 (左) と PALSAR/FBS-HH (右)	86
図 3.2.4.2	YANTARO 地区の PALSAR/FBD-HH (左) 及び PALSAR/FBD-HV (右)	87
図 3.2.4.3	AGUAJE と混合林の偏波特徴	87
図 3.2.4.4	SAN FERNANDO 北東地区の浸水林における光学センサとマイクロ波の特徴	88
図 3.2.4.5	SAN FERNANDO 北東地区の PALSAR/FBD-HH 及び FBD-HV の特徴	89

図 3.2.4.6	SAN FERNANDO 北東地区の PALSAR/FBS-HH 偏波の特徴 (8 時期)	89
図 3.2.4.7	ウカヤリ州 CUNCHURI 地区の SENTINEL-2 画像 (左)、PALSAR/FBS-HH 偏波 (右) ..	90
図 3.2.4.8	サンマルチン州の PALSAR 画像解析位置.....	94
図 3.2.4.9	ウカヤリ州の PALSAR 画像解析位置.....	95
図 4.1.2.1	本調査で開発する技術要素と LULUCF 案件への引き渡し.....	97
図 4.1.3.1	想定する (高精度) 土壌水分マッピングをベースとしたプログラム開発 の概要.....	98
図 4.1.3.2	マップ表示システムのレイヤーのイメージ.....	98
図 4.1.5.1	プログラム開発の対象とした調査エリア.....	100
図 4.2.1.1	WRF シミュレーションの計算領域	102
図 4.2.1.2	2019 年 1 月 1 日 14:00 (現地時間) の WRF の結果の例 (地表から 2 層目の 土壌水分量)	103
図 4.2.1.3	2019 年 1 月 1 日 14:00 (現地時間) の WRF の結果の例 (地表から 4 層目の 土壌水分量)	103
図 4.2.1.4	2019 年 1 月 1 日 14:00 (現地時間) の WRF の結果の例 (時間雨量)	104
図 4.2.1.5	KALBAR1 地点における WRF による土壌水分量推定結果と地下水位の相関	105
図 4.2.1.6	WRF をもちいたシミュレーションによる地下水位推定の絶対係数	105
図 4.2.1.7	インドネシア全土を対象にした WRF シミュレーションによる地下水位 マップ (2018 年 11 月 16 日)	108
図 4.2.1.8	2019 年 8 月 16 日 (現地時間) の WRF 結果で得られた土壌水分量 (第 1 層目) の日平均値.....	109
図 4.2.1.9	WRF 結果で得られた 3 州を対象とした土壌水分量 (第 2 層目)	109
図 4.2.2.1	PALSAR2 による土壌水分量推定図	116
図 4.2.2.2	すべてのエリアを合わせた場合の土壌水分量の推定結果.....	117
図 4.2.2.3	SAR で推定された土壌水分量と WRF のそれとの散布図	118
図 4.2.2.4	地域ごとに分析する方法 (上記 (B)) で作成された一部地域 (ドゥマイ) の裸地における土壌水分量マップ図.....	119
図 4.2.2.5	雨季と乾季を含む 3 枚の SAR 画像について、送受信を水平偏波で行ったとき の後方散乱係数と、同じエリアにおけるドローンによるオルソモザイク画像 ..	120
図 4.3.1.1	重回帰分析の係数と土地利用の関係.....	121
図 4.3.2.1	WRF から計算された地下水位と観測値との関係の例	121
図 4.3.3.1	WRF 結果から推定された 1km メッシュ地下水位 (2019 年 8 月 16 日 (現地時間))	122
図 4.3.3.2	WRF 結果から推定された 3 州を対象とした地下水位	123
図 4.3.3.3	入手した潮汐データの時間最大値.....	123
図 4.3.3.4	潮位と地下水位の関係 (時間最大値)	124
図 4.3.3.5	潮位と地下水位の散布図 (それぞれ月最大値)	124
図 4.3.3.6	LiDAR の標高から計算された傾斜と、BRG 観測所から得られた無降水期間が 開始する前日の地下水位の関係.....	125
図 4.3.3.7	WRF 結果から推定された地下水位を補正した結果 (2019 年 8 月 16 日 (現地時間))	125
図 4.4.1.1	地下水位情報と CO2 排出量の関係図.....	126
図 4.4.2.1	生態系交換量と地下水位の月最小平均の関係 (HIRANO ET AL., 2016)	127

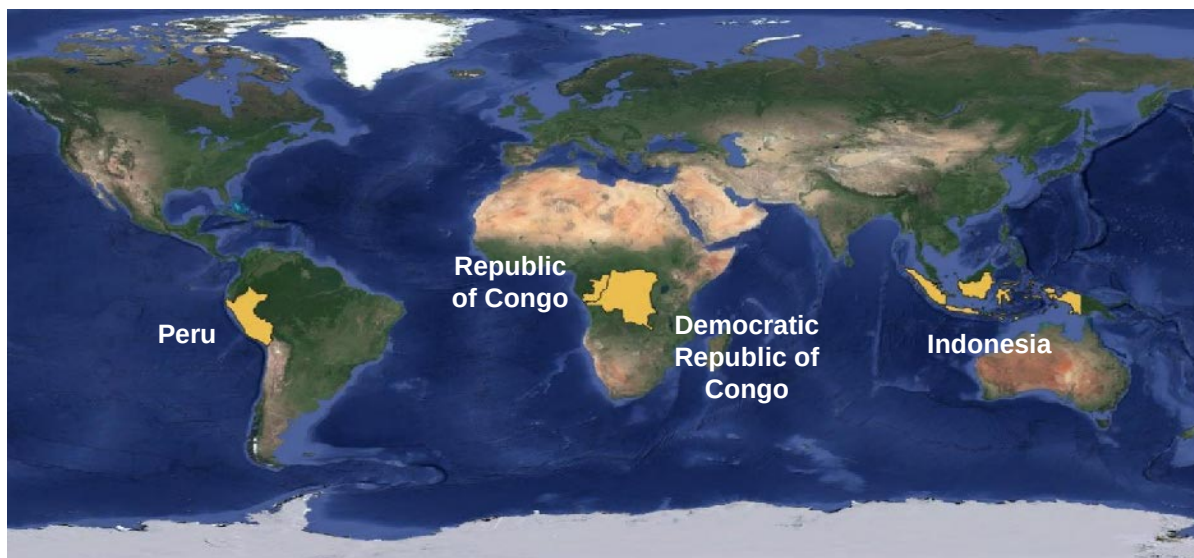
図 4.4.2.2	WRF 結果から推定された生態系交換量の推定（2019 年 8 月 16 日 （現地時間））.....	128
図 4.4.2.3	WRF 結果から推定された 3 州を対象とした生態系交換	128
図 4.5.1.1	地下水位情報と CH ₄ 排出量の関係図.....	129
図 4.5.1.2	東南アジアの熱帯泥炭地における年平均地下水位と年積算 CH ₄ フラックス （放出量）の関係.....	130
図 4.5.1.3	WRF 結果から推定されたメタン放出量（2019 年 8 月 16 日（現地時間））	131
図 4.5.1.4	WRF 結果から推定された 3 州を対象としたメタン放出量	131
図 4.6.2.1	連続無降水期間 14 日間を想定したときの地下水位減少量と減少前地下水位 ..	133
図 4.6.2.2	連続無降水期間における土壤水分量.....	133
図 4.6.3.1	火災インデックスの精度の比較.....	135
図 4.6.3.2	WRF 結果から推定された火災インデックス KBDIadj（2019 年 8 月 16 日 （現地時間））.....	136
図 4.6.3.3	WRF 結果から推定された 3 州を対象とした火災インデックス KBDIadj.....	137
図 4.6.4.1	5 つの BRG 観測所データから計算された火災インデックス（KBDIadj）と 地下水位日最大の散布図.....	138
図 4.6.5.1	リアウ東部プララワンにて空撮されたドローンの可視画像及び可視カメラ のオルソ画像を地図化した例（2022 年 8 月 18 日撮影）	139
図 4.6.5.2	熱赤外カメラのオルソ画像による解析結果及び同じ場所の可視カメラ撮影 写真の比較（2022 年 8 月 18 日撮影）	139
図 4.6.5.3	2022 年 8 月 16～18 日（UTC）における MODIS 及び VIIRS で検出された ホットスポット.....	140
図 4.7.1.1	既存のボーダリングデータの比較.....	140
図 4.7.1.2	ハンドオーバーボーリングを用いた泥炭厚さの結果と BBSDLP の泥炭地 マップでの泥炭の厚さの比較.....	141
図 4.7.1.3	ハンドオーバーボーリングを実施した場所の画像や現地画像と泥炭地 マップ（BBSDLP, 2019）	142
図 4.7.1.4	観測所 9(140806_01)における GPR の計測結果の例	147
図 4.7.2.1	中央・西部カリマンタン州における WRF/地下水位分布（-70cm、-75cm 等 深度線）	148
図 4.7.2.2	中央・西部カリマンタン州の泥炭分布と地下水位等深度線（-75cm）	149
図 4.7.2.3	中部カリマンタン州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位 頻度分布（各泥炭図ポリゴンで 3km グリッドの WRF 地下水位値を抽出した 結果）	149
図 4.7.2.4	中央カリマンタン州における地下水位等深度線（-75cm）、BBSDLP 泥炭図 （左図）及び土地被覆図（右図）	150
図 4.7.2.5	中部カリマンタン州における BBSDLP(2019)泥炭図と SRTM/DEM 標高値.....	151
図 4.7.2.6	3 州における BBSDLP(2019)泥炭図と SRTM/DEM 標高値.....	151
図 4.7.2.7	中部カリマンタン州における BBSDLP(2019)泥炭図の厚さ毎と SRTM/DEM 標高値のヒストグラム(1)	152
図 4.7.2.7	中部カリマンタン州における BBSDLP(2019)泥炭図の厚さ毎と SRTM/DEM 標高値のヒストグラム(2)	152
図 4.7.2.7	中部カリマンタン州における BBSDLP(2019)泥炭図の厚さ毎と	

	SRTM/DEM 標高値のヒストグラム(3)	153
図 4.7.2.8	地下水位等深度線 (-75cm)、BBSDLP 泥炭図、環境省 (2016&2017) の ボーリング調査による泥炭マッピング結果 (新規確認泥炭範囲は、 水色線で示される赤格子線、黄色格子線及び青格子縦線内)	154
図 4.7.2.9	中部カリマンタン州における BBSDLP (2019) 泥炭図及び環境省 ボーリングの SRTM/DEM 標高値.....	154
図 4.7.2.10	西カリマンタン州 KETAPANG 周辺の地下水位等深度線 (1cm 単位)、 BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図 (2019)	155
図 4.7.2.11	西カリマンタン州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位頻度分布 (各泥炭図ポリゴンで 3km グリッド WRF 地下水位値を抽出した結果)	156
図 4.7.2.12	西カリマンタン州における BBSDLP 泥炭図と土地被覆図 (2019) から 想定される泥炭ポテンシャル (K-1 から K-5 までがポテンシャル地区 を示す)	157
図 4.7.2.13	西カリマンタンにおける地下水位等深度線 (-75cm)、BBSDLP 泥炭図 による泥炭マッピング結果.....	158
図 4.7.2.14	リアウ州の地下水位等深度線 (10cm 単位)、BBSDLP 泥炭図	159
図 4.7.2.15	リアウ州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位頻度分布 (各泥炭図ポリゴンで 3km グリッド WRF 地下水位値を抽出した結果)	159
図 4.7.2.16	リアウ州における地下水位等深度線 (10cm 単位)、BBSDLP 泥炭図及び 土地被覆図 (2019)	160
図 4.7.2.17	リアウ州における泥炭地ポテンシャルサイト (黄色点線内の水色部)	161
図 4.9.1.1	異なるマイクロ波の植生と土壌における透過性.....	165
図 4.10.1.1	WRF のインストールに関する講習会の様子 (2022 年 5 月 13 日、 BRIN 地球システム技術センター)	166
図 4.10.1.2	インドネシア現地関係機関に設置したパソコン上での WRF のテストラン の状況.....	166
図 5.1.1.1	JICA-JST/SATREPS 「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」 プロジェクトにおける熱帯泥炭管理のための MRV システム	168
図 5.1.1.2	年間 CO2 収支の比較、地下水位 (GWL) と年間 CO2 収支の関係	169
図 5.1.1.3	住友林業(株)による FLUX タワーと気象観測機器 (SPOTEKA) の運用事例	170
図 5.1.2.1	赤道州 MBANDAKA 近郊 JARDIN BOTANIQUE D' EALA 泥炭湿地土地被覆図	171
図 5.1.2.2	赤道州 MBANDAKA 近郊 JARDIN BOTANIQUE D' EALA 泥炭湿地位置図	172
図 5.1.2.3	コンゴ民 MAI NDOMBE 州、EQUATEUR 州、TSHUAPA 州付近の泥炭地	173
図 5.3.1.1	コンゴ盆地の泥炭協力戦略(案).....	174
図 6.3.1	民間企業が泥炭地管理・保全に取り組むウィンドウ	181
図 6.4.1	本調査で試作したコンゴ盆地の泥炭分布図.....	182
図 6.4.2	本調査で試算したインドネシアにおけるメタン排出量.....	183
図 6.4.3	インドネシア及びコンゴ盆地をフィールドとした泥炭地管理・保全に 係る今後の協力方針に係るパスイ案.....	183
表 1.2.2.1	調査対象地域ごとの業務の概要.....	4
表 2.1.1.1	泥炭地の管理と保全に関連する国際的なフレームワークと条約.....	7
表 2.1.2.1	国家政策の背景.....	11

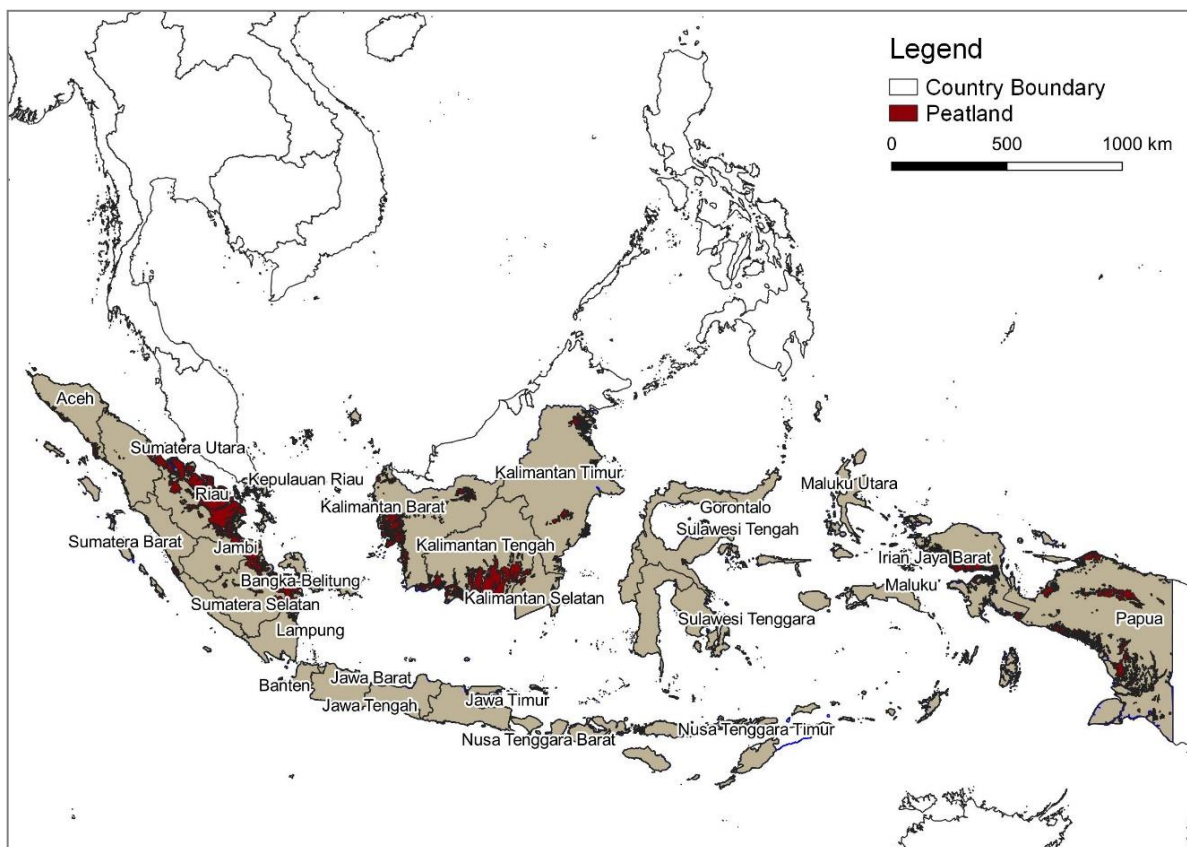
表 2.1.2.2	泥炭地の管理と保護に関連する国家政策体系	12
表 2.1.2.3	政令 No. 57/2016 の概要	13
表 2.1.3.1	泥炭地の管理と保護に関する環境林業省令	14
表 2.1.3.2	泥炭地の管理と保護に関する泥炭地回復庁令	15
表 2.1.3.3	泥炭地の管理と保護に関する農業省令	15
表 2.1.4.1	州政府令の概要	16
表 2.1.5.1	省庁・国家機関による現場レベルの泥炭地管理・保全の状況	18
表 2.1.5.2	産業植林地とアブラヤシプランテーションによる泥炭生態系の回復	22
表 2.1.6.1	島ごとの深度別の泥炭地面積 (ha) 2019 年	22
表 2.1.6.2	泥炭水文単位 (KHG) の泥炭生態系機能別面積 (ha)	23
表 2.1.6.3	被害程度ごとの泥炭面積 (ha)	23
表 2.1.6.4	インドネシアの泥炭地の自然環境情報に関するデータ・地図・WEB GIS 情報	25
表 2.1.6.5	MoEFRI の土地被覆データに基づく泥炭地の生態系の変化 (単位: 1000ha)	26
表 2.1.6.6	スマトラ・カリマンタンの泥炭地におけるアブラヤシプランテーション の総面積 (1000ha)	27
表 2.1.6.7	泥炭地からの生産物の変化	27
表 2.1.6.8	泥炭地の炭素ストック・放出量の変化 (推定)	28
表 2.1.7.1	NDC 目標に対する GHG 排出削減量 (全部門)	31
表 2.1.7.2	林業部門の GHG インベントリと BAU との比較 (単位: MtonCO ₂ e)	31
表 2.2.1.1	泥炭地の管理と保全に関連する国際的なフレームワークと条約	37
表 2.2.2.2	泥炭地の保護と管理に係る法令・政令等	39
表 2.2.3.1	泥炭地の保護・管理に係る省令	43
表 2.3.1.1	ペルーが批准する泥炭地関連の国際的な枠組み	48
表 2.3.2.1	泥炭地に直接関係する政策・法令等	49
表 2.3.2.2	泥炭の定義の事例	50
表 2.3.2.3	泥炭地に間接的に関連する政策・法令等	51
表 3.2.1.1	泥炭地植生 7 種類のスペクトル特性	66
表 3.2.1.2	大気補正未処理画像 (レベル 1C) の土地被覆別スペクトル値	70
表 3.2.2.1	NIOKI 周辺の現地調査 (2021) 地点のサンプルに係る室内分析結果概要	78
表 3.2.4.1	サンマルチン州の AGUAJE 浸水林の面積と PALSAR 画像の適用性	91
表 3.2.4.2	ウカヤリ州の Agua je 浸水林の面積と PALSAR 画像の適用性	93
表 4.1.3.1	マップ表示システムへの入力データと出力結果の関係	99
表 4.1.4.1	プログラム開発のために入手したデータ	99
表 4.1.5.1	BRG の観測所の位置情報	100
表 4.1.5.2	雨季の調査日と調査項目	100
表 4.1.5.3	乾季の調査日と調査項目	101
表 4.2.1.1	32 地点の地下水位を求めるための重回帰式	106
表 4.2.2.1	土壌水分量の推定に使用した SAR データ一覧	110
表 4.2.2.2	観測地点での重回帰式	114
表 4.2.2.3	全観測地点での重回帰式	116
表 4.3.1.1	土地利用図での土地利用区分	120
表 4.7.1.1	観測所ごとの各種画像比較	143
表 4.7.1.2	土壌水分量タイプと土地利用や地形条件との関係	145

表 4.9.1.1	インドネシアにおける既存の土壌水分マップ類.....	162
表 4.9.1.2	インドネシアにおける既存の土壌水分マップ類 PRIMS で使用している データのレイヤー.....	163
表 4.10.1.1	現地実装に必要な機材一覧.....	167

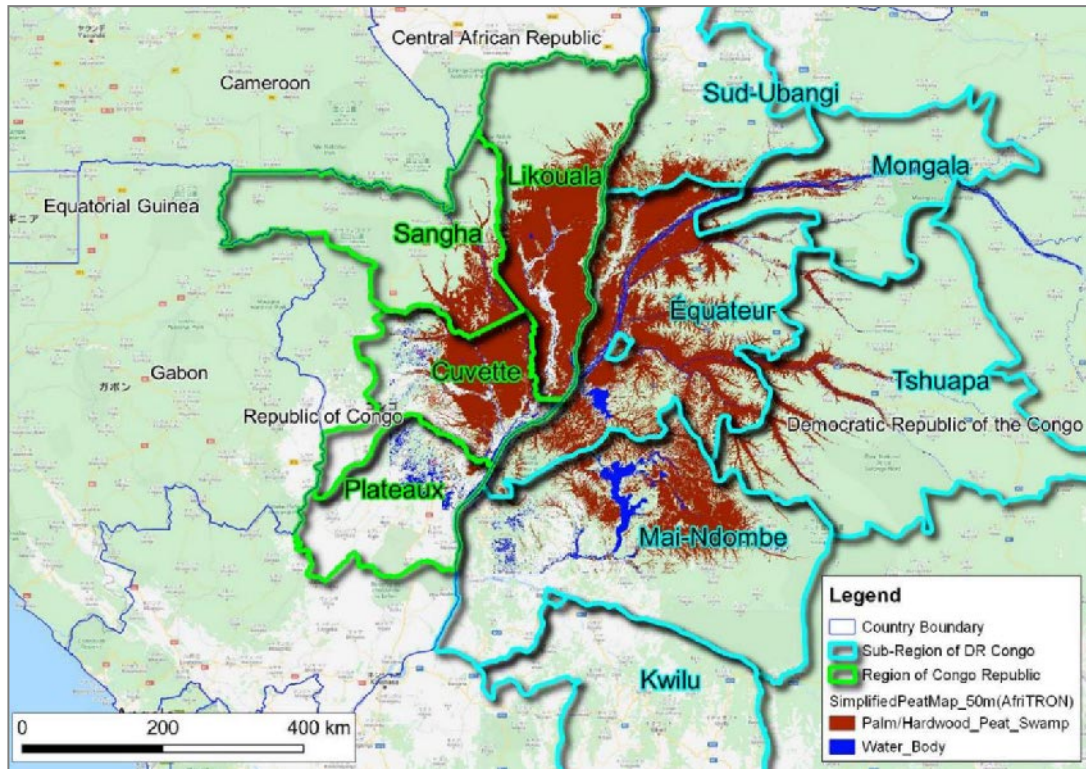
調査対象国位置図



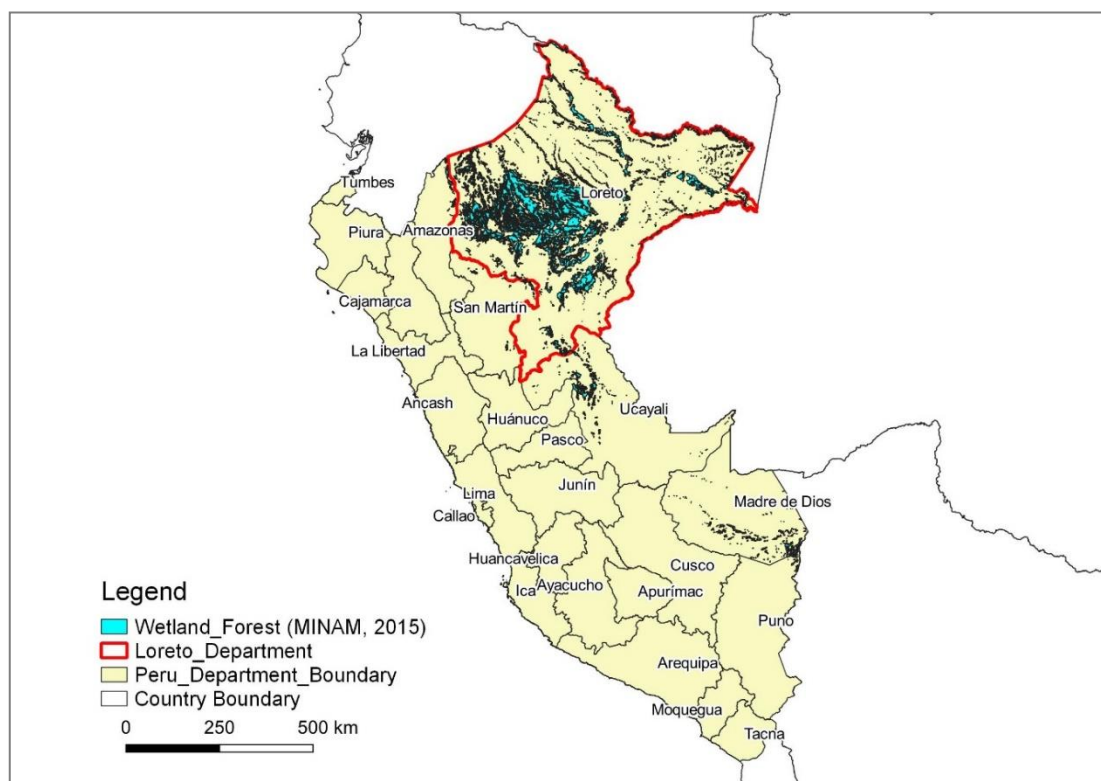
泥炭地位置図 インドネシア（持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認 調査団作成、2023）



泥炭地位置図 コンゴ民主共和国及びコンゴ共和国（持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認 調査団作成、2023）



泥炭地位置図 ペルー（持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認 調査団作成、2023）



略 語 集

略	英仏西独インドネシア語	和訳
AD	Activity Data	アクティビティデータ（森林変化データ）
AE	Accredited Entity	認証機関
Bappenas	Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas	国家開発計画省または国家開発計画局
BIG	Badan Informasi Geospasial	地理情報空間局
BBSDLP	Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian	農地資源研究開発センター
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika	気象気候地球物理庁
BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi	インドネシア 技術評価応用庁
BRGM	Badan Restorasi Gambut dan Mangrove	インドネシア 泥炭地マングローブ回復庁
BUR	Biennial Update Report	隔年更新報告書
CAFI	Central Africa Forest Initiative	中部アフリカ森林イニシアティブ
CBD	Convention on Biological Diversity	生物多様性条約
CIFOR	Center for International Forestry Research	国際林業研究センター
COP	Conference of the Parties	締約国会議
DDD	Direction Développement Durable	コンゴ民国 持続開発局
DG	Division Géomatique	コンゴ民国 地理情報課
DIAF	Direction Inventaire, Aménagement Forestier	コンゴ民国 森林インベントリー整備局
DIF	Division Inventaire Forestier	コンゴ民国 森林インベントリー課
DRC	Democratic Republic of the Congo	コンゴ民主共和国（コンゴ民国）
DTM	Digital Terrain Model	数値地形モデル
EF	Emission Factor	排出係数
ETD	Decentralized Territorial Entity	地方分権組織
ESG	Environment, Social, Governance	環境・社会・ガバナンス
F/R	Final Report	ファイナルレポート
FAO	United Nations Food & Agriculture Organization	食料農業機関
FONAREDD	Fonds National de REDD+	コンゴ民国 REDD+国家基金
FREL	Forest Reference Emission Levels	森林参照排出レベル
GCF	Green Climate Fund	緑の気候基金
GEC	Global Environmental Center	マレーシア地球環境センター
GFW	Global Forest Watch	地球森林ウォッチ

略	英仏西独インドネシア語	和訳
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH	ドイツ国際協力公社
GPI	Grobal Peatland Insitiative	世界泥炭地イニシアティブ
GSMaP	Global Satelite Mapping of Precipitation	衛星全球降水マップ
GT	Ground Truth	グラントゥールース
IP	Investment Plan of REDD+	REDD+投資計画
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	国連気候変動に関する政府間パネル
ITPC	International Tropical Peatland Center	国際熱帯泥炭地センター
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JJ-FAST	JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics	JICA-JAXA 熱帯林早期警戒システム
KBDI	Keetch-Byram Drought Index	Keetch-Byram 干ばつ指数
Kemendagri	Kementerian Dalam Negeri	内務省
KGE	Kling-Gupta Efficiency	Kling-Gupta 精度
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	インドネシア環境林業省
KATR	Kementerian Agraria dan Tata Ruang	空間土地省
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasiona	インドネシア国立航空宇宙研究所
LiDAR	light detection and ranging	光による検知と測距
LIPI	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indoneisa	インドネシア科学院
MECNDD	Ministre de l'Environnement, Conservation de la Nature et Développement Durable	コンゴ民国 環境・自然保護・持続開発省（現 MEDD の旧称）
MEDD	Ministre de l'Environnement et Développement Durable	コンゴ民国 環境・持続開発省
mKBDI	Modified Keetch-Byram Drought Index	改良型 Keetch-Byram 干ばつ指数
MRV	Measurement, Reporting and Verification	（温室効果ガス排出量の）測定、報告及び検証
NC	National Communication	国別報告書
NCAR	National Center for Atmospheric Research	米国 国立大気研究センター
NCEP	National Centers for Environmental Prediction	米国 国立環境予測センター
NDA	National Designated Authorities	国家指定機関
NDC	Nationally Determined Contributions	国別約束
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	正規化差植生指数

略	英仏西独インドネシア語	和訳
NFI	National Forest Inventory	国家森林インベントリー
NFMS	National Forest Monitoring Systems	国家森林モニタリングシステム
NICFI	Norway's International Climate and Forest Initiative	ノルウェー国際気候・森林イニシアティブ
PARSAR	Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar	フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー
PF	Plate-Forme technique de coordination	NFMS 技術調整プラットフォーム
PFVI	Peatland Fire Verification Index	泥炭火災検証指標
PRIMS	Pranata Informasi Restorasi Ekosistem Gambut	泥炭生態系回復情報システム
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	公共事業国民住宅省
Ramsar	The Ramsar Convention	ラムサール条約
REDD	Reducing Emissions from Deforestation & Forest Degradation	森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減
ROC	Republic of the Congo	コンゴ共和国
RS	Remote Sensing	リモートセンシング
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (The National Forestry and Wildlife Service)	ペルー国農村開発・灌漑省森林野生動物庁
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー
SEPAL	System for Earth Observation Data Access, Processing & Analysis for Monitoring	地球データモニタリングアクセス・加工・分析システム
SIPALAGA	Sistim Pemantauan Air Lahan Gambut	泥炭地水位モニタリングシステム
SISFO BRG	Sistim Informasi BRG	BRG 情報システム
TOR	Terms of References	業務指示書
UNEP	United Nations Environmental Programme	国連環境計画
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	気候変動枠組条約
WRF	Weather Research and Forecasting Model	領域気象モデル

要 約

第1章 序論

1.1 調査実施の背景

地球全体で深刻な課題となっている気候変動問題に関して、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）において、森林等の温室効果ガス（GHG）吸収源の保全強化の重要性とともに、森林減少・劣化からの排出を削減するための仕組みが議論されてきている。また、2018年10月にアラブ首長国連邦・ドバイにて開催されたラムサール条約第13回締約国会議では泥炭地由来の温室効果ガスの削減や沿岸地域の生態系の管理・保全が気候変動対策（緩和・適応）、防災・減災、生物多様性保全の上で極めて重要であり、早急な対応が必要との認識がされている。泥炭地は地球表面の面積の僅か3%を占めるにすぎないが¹、少なくとも世界中の森林が貯蔵する地上バイオマス炭素貯蔵の2倍近くの炭素が固定されていると推計されている。一方で、これまでに泥炭地の約15%が既に水が抜かれた結果、炭素貯蔵が放出され、これら泥炭地由来の二酸化炭素排出量は人間活動由来の排出量の5%に相当すると言われ²、泥炭地由来の温室効果ガスの排出削減の対策が喫緊の課題となっている。

最も熱帯泥炭地が多いと推定されている³、インドネシア、コンゴ民主共和国（以下、コンゴ民）／コンゴ共和国（以下、コンゴ共）、ペルーには、特に人為起源の開発によって脅威にさらされている熱帯泥炭地が広大な面積に存在し、膨大な量の炭素が蓄積している。特にインドネシアは、巨大な炭素貯蔵庫と呼ばれる熱帯泥炭地の最大の保有国であり、世界全体の泥炭地の約36%をも保有しているといわれる（1,493～2,700万ha/約570億t-CO₂eqとも予測される）。しかしながら、20世紀末の大規模なプランテーション開発のための水路掘削と熱帯泥炭林の伐採の結果、火災や微生物分解による大気中への炭素放出が急速に進んでおり、特に泥炭地火災は消火が困難であるため、長期間の延焼に伴う大量の二酸化炭素排出が危惧されている。他方で、泥炭地由来の温室効果ガス放出の適正な評価方法論は確立されていなく、また、地球全体の泥炭分布量やその炭素含有量は未だ正確に把握されていない。このため、UNFCCCに提出された森林参照排出レベル／森林参照レベル（FREL/FRL）の40か国の内（2019年時点）、泥炭由来のGHG排出量を報告しているのは2か国（インドネシア、マレーシア）に限られている。かかる状況から、国際社会では世界泥炭地イニシアティブ（GPI：Global Peatland Initiative）が泥炭地保全による温室効果ガスの排出削減を目的として、2016年11月、COP22に先立って開催された地球ランドスケープフォーラムで立ち上げられ、地球全体の泥炭分布域を把握するための泥炭マッピングが推進され始めている。

JICAは2009年12月からは4年4か月にわたり、科学技術協力（SATREPS）「インドネシア国泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト」を実施し、泥炭地管理手法の構築に向け、現場での測定やリモートセンシング、シミュレーションモデル等を活用した基礎データを蓄積し、その結果、北海道大学と京都大学と共に、土壌水分量から地下水位が推定され、それを基盤とする火災検知システムと炭素評価モデルが作られた（以下、地下水位推定モデル）。今後、適正な泥炭の管理・評価に向け、これらを活用した泥炭地からの炭素排出量評価モデルの確立及びプログラム開発、さらには国際標準化が必要である。また、こうしたJICAがインドネシアで推進してきた泥炭地保全手法及び泥炭評価手法にかかる成果を他の熱帯泥炭地へ普及してゆくために、関係アクターの動向、熱帯泥炭地保有国の政策や措置、自然環境、社会環境等に係る基礎情報を

¹ Joosten, H. (2009): The Global Peatland CO₂ Picture. Peatland status and emissions in all countries of the World. Wetlands International, Ede. 10 p.

² IPCC. (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

³ FAO. 2020. Peatlands mapping and monitoring - Recommendations and technical overview.

収集し、今後の泥炭地保全に係る協力方針の検討が求められている。

なお、本調査で地下水位の推計モデルの開発に取り組んだ理由は、学術的基盤情報として重要な水-酸素関係を評価することが泥炭地の持続的な管理において重要であると考えられるためである。酸素は水への溶解性が極めて低く(物理定数)、したがって水が多い泥炭地等の生態系では、酸素の不足が泥炭生態系の一次的律速要因となっている。つまり、水があると系は還元的(炭素放出抑制、メタン放出促進)になり、排水されると空気が入るため酸化的(炭素放出促進、メタン放出抑制)になる。したがって、水の過少は生態系の酸化還元電位に係わる重要なパラメータであるが、リモートセンシングでは、生態系の酸化還元電位が計測出来ないために、これまで酸化還元電位パラメータは全く無視されてきた(IPCC マニュアルにも記載がない)。そこで、泥炭地では、水位が高いと還元的で、水位が低いと酸化的であり、地下水位と酸化還元電位が連動していることから、地下水位の計測により、間接的に酸化還元電位を推計し、温暖化ガスの放出モデルを作成する必要がある。高次の温暖化ガス放出モデルである tier3 の作成には、低湿地生態系酸化還元電位(水の過少)のパラメーターの評価が不可欠である。

また、ペルーにおいては 2016 年より現在実施している「森林保全及び REDD+メカニズム能力強化プロジェクト」において、植生を生かした浸水林マッピング手法を提唱しており、ウカヤリ州・サンマルティン州の一部において現地調査も行っている。

このような状況から、今後の新規技術協力を見据え、国際的に重要な熱帯泥炭地を主な対象とし、泥炭の地下水位推定モデルのプログラム開発を行い重要な熱帯泥炭地の泥炭地マッピングを作成するとともに、泥炭地保全及びモニタリング・評価手法にかかる主要国の政策及び関係アクター動向等について基礎情報収集を行い、我が国による今後の泥炭地協力に関する協力ポテンシャルの検討を行う調査が計画された。

1.2 業務内容

本調査は最も熱帯泥炭量が多いとされるインドネシア、コンゴ民、コンゴ共、ペルーの 4 か国を対象とする。

泥炭に係る援助方針を検討するため、泥炭地保全・管理の効果が潜在的に高いものの、泥炭地の評価モデル及び適切な保全・管理に関する情報収集が十分ではないと思われる上記 4 か国に対し、泥炭協力案件の形成に向けた基礎情報を収集・分析することを目的として、以下の調査を行う。

- 対象国の泥炭地マップを作成する。なお、インドネシアにおいて、高精度の土壌水分マップを開発し、それをベースとした地下水位推定モデル、温室効果ガス放出量評価モデル及び泥炭火災・強度予想マップのプログラムを開発する(以下、「高精度土壌水分マッピングベースのプログラム開発」とする)。
- 対象国における泥炭地保全及び持続的管理にかかる現状の把握と課題の抽出等を行い、泥炭地保全に関する効果的な事業形態を検討し、我が国による今後の泥炭地協力に関する支援可能性の検討を目的とする。

1.3 調査対象地域と留意事項

本調査の対象国は、最も熱帯泥炭地面積が多いとされる、インドネシア、コンゴ民、コンゴ共及びペルーの 4 カ国である。各国の留意事項は、以下のとおりである。

調査対象地域ごとの業務の概要を下表に示す。

表 i 調査対象地域ごとの業務の概要

No.	主要な業務項目	インドネシア	コンゴ盆地		ペルー	備考
			コンゴ民	コンゴ共		
1	高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発 (国内再委託による)	●	-	-	-	インドネシア SATREP等の日本の知見の応用
2	泥炭マッピング (特異な植生に基づく)	-	●	●	●	ペルー REDD 協力の知見の応用
3	持続的な泥炭地管理・保全にかかる情報収集、協力ポテンシャルの分析	●	●	●	● (中間報告迄)	ペルー協力への反映、広域事業の枠組み案など
4	情報発信	●	●	●	●	COP(イギリス)

(1) インドネシア

インドネシアは、巨大な炭素貯蔵庫と呼ばれる熱帯泥炭地の最大の保有国であり、世界全体の泥炭地の 36%を保有しているといわれる⁴。JICA は 2009 年から 4 年 4 ヶ月にわたり、科学技術協力 (SATREPS) 「インドネシア国泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト」を実施し、泥炭地管理手法の構築に向け、現場での測定やリモートセンシング、シミュレーションモデル等の活用により基礎データを蓄積した。また、その基礎データに基づき、北海道大学と京都大学と共同で、土壌水分量から地下水位を推定するモデル (地下水位推定モデル)、さらに、それを基盤とする火災検知システムと炭素評価モデルを開発した。今後は、適正な泥炭の管理・評価に向け、これらを活用した泥炭地からの炭素排出量評価モデルを確立しそれを運用していくプログラム開発、さらには他国での適用をめざした国際標準化が必要である。

(2) コンゴ民主共和国及びコンゴ共和国

コンゴ盆地には全世界の熱帯泥炭地における炭素蓄積の約 30%が賦存するとされ、なかでもコンゴ河を挟んでコンゴ民とコンゴ共に存在する泥炭地は世界最大の連続した熱帯泥炭地域と言われている。この泥炭地には 3 つのラムサール湿地が含まれ、合計 1,292 百万 ha に至る世界最大級のラムサール湿地帯が広がっている。泥炭地層の厚さは中央値 2m と比較的浅いが、面積は 1,400 百万 ha 以上に至り、炭素蓄積量は 300 億 t-CO₂eq と予測されている⁵。泥炭地には、コンセッション開発計画など泥炭地に対する開発圧力が今後高まることが予想されている。このような中、コンゴ盆地の泥炭地の現状を明らかにし、保全の方向性を示すことは喫緊の課題となっている。

本調査においては、コンゴ盆地 (コンゴ民、コンゴ共) の泥炭地のマッピングや泥炭地の保全に関する基礎的情報の収集を行うとともに、その後の協力ポテンシャルの確認に向けた情報整理を行った。

⁴ Warren, M., Hergoualc'h, K., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D. & Kolka, R. 2017. An appraisal of Indonesia's immense peat carbon stock using national peatland maps: uncertainties and potential losses from conversion. Carbon balance and management, 12(1): 12-12.

⁵ Dargie, GC, Lewis, SL, Lawson, IT et al. (2017) Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. Nature, 542 (7639). pp. 86-90.

(3) ペルー

ペルーの熱帯林は世界最大の熱帯林を有するアマゾン川流域に属し、アマゾン熱帯林の中ではブラジルに次ぐ第二位の面積を誇る。その中でペルーの熱帯泥炭林は、インドネシア、コンゴ盆地について世界で三番目に広い面積と言われている。大規模な泥炭地開発計画は未だ計画されてはいないものの、昨今の気候変動対策と泥炭地に関する国際議論の高まりを受け、ペルー政府も泥炭地保全の重要性を認識しつつある。しかし、温室効果ガスの貯蔵量や放出量とはもとより、泥炭林の分布についても未だ正確には把握できていない現状にある。JICA では2016 年より森林分野の技術協力⁶を実施しており、衛星リモートセンシング技術を用い、植生に基づく泥炭地マッピング方法論の開発も支援している。試行版の泥炭地マップをもとに、2018 年、2019 年12 月にウカヤリ州とサンマルティン州の一部で現地調査を行い、当マッピング手法の適用性について検証しただけでなく、泥炭のサンプル収集を通じて、泥炭自体の分布と一部深さに関する情報も収集した。

本調査においては、上記プロジェクトで開発した植生をベースにした泥炭地マッピング手法に関する情報の収集も行い、本調査で開発される高精度土壌水分マッピングをベースにした泥炭地マッピング手法との相違点や必要となる運用体制等を分析する。また、今後の泥炭地協力でのポテンシャル検討のための情報収集・整理を行った。

第2章 調査対象国の泥炭地管理・保全分野に係る現状の確認及び課題の特定

2.1 インドネシア

インドネシアにおける泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター、国レベルの政策制度等について取り纏めた。インドネシアは、泥炭地に関連する5つの国際的な枠組み（ラムサール条約、生物多様性条約、国連気候変動枠組条約）に批准している。また、スマトラ島とボルネオ島のASOEN-HTTFとSRFA、ASEAN地域ヘイズ行動計画、越境ヘイズ汚染に関するASEAN協定、ASEAN泥炭地管理イニシアティブ(APMI)など、地域協力の枠組みにも参加している。

インドネシア政府は、泥炭地の管理・保護を重要な国家戦略の一つとして位置付けており、泥炭地の管理・保護に係る重要な国家機関として、環境・林業省、泥炭地回復庁(BRG)／マングローブ・泥炭地回復庁(BRGM)、農業省がある。また、泥炭地回復活動のために、広大な泥炭地を持つ7州の知事に環境林業部門の一部の政務を割り当てている。泥炭保全の重点7州に含まれるのは、リアウ州、ジャンビ州、南スマトラ州、西カリマンタン州、中央カリマンタン州、南カリマンタン州、パプア州である。総面積は24百万haと推計されている。そのうち、軽度の劣化が見られる泥炭地が20.7百万ha、中度が2.5百万ha、重度の劣化が0.7haとほとんどの泥炭地に劣化が見られる。泥炭地は、インドネシアの3つの大きな島、スマトラ島、カリマンタン島、パプア島に特に広がっていることから、インドネシアの省庁や国家機関など中央政府が行っている泥炭地の管理・保護のための取り組みを実施してきた。また、コンセッション保有者は、コンセッション地域の泥炭生態系の復元や降雨モニタリングステーションの設置、固有の植物種の植栽によるリハビリテーションなどを求められることがある。インドネシア政府は、PRIMS(Pranata Informasi Restorasi)といったモニタリングシステムを開発し、泥炭に関する地図、情報がまとめられている。

泥炭地保全によるGHG排出量の削減に関し、インドネシアの強化(Enhanced)NDCは、2022年10月にUNFCCCに提出された。2030年までにGHGの排出量を、2010年のBAU比で、自国のみの努力で31.89%(無条件)、必要な国際支援を受けた場合43.20%(条件付)削減するとしている。

⁶ 森林保全及びREDD+メカニズム能力強化プロジェクト

泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論に関しては、JICA-JSTによる地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト（以下 JICA-JST SATREPS プロジェクト）」が、2009年～2014年3月までの間、インドネシア国中部カリマンタン州を対象地として実施され、特に炭素蓄積量の多い泥炭地の炭素管理に係る研究、技術開発に成果を得た。

2.2 コンゴ盆地

「地球の片肺」と呼ばれるコンゴ盆地では、南米アマゾンに次ぐ世界第2位の規模の面積の森林を有している。同盆地の泥炭湿地の植生は、森林地・湿地性ヤシ林・草本の沼地等様々な外観をしている。コンゴ盆地では約10,000種の熱帯性植物が見られ、うち30%が地域固有種である。また、マルミミゾウや西ローランドゴリラ、ボノボ、オカピ等の425種の地域固有の哺乳類の生育・生息地となっている。貴重な生態系・生物多様性を有することから、206か所の保護区域が指定されている。コンゴ盆地、とくにコンゴ民、コンゴ共にまたがって位置するTele湖及びTumba湖周辺には200万人以上が居住している。住民は魚などの水産資源を利用している他、農業を営んだり林産物の採取を行ったりしている。水産資源の利用は地域社会や周辺住民の生活を支えている他、貿易にも貢献しており、コンゴ民・コンゴ共両国の経済を支える重要な役割を担っている。また、泥炭地の周辺地域の一部の森林は信仰の対象となっている等、文化的な意味を持っている。

泥炭地保全においては、人間活動の影響により様々な脅威が存在している。森林伐採は、これまでにあまり多くの例が見られていないが、陸生・水生生物の生育・生息地の分断、破壊、喪失につながるリスクが指摘されている。森林減少・破壊については焼畑農業も原因の一つと指摘されており、山火事を誘引する要因とされている。域内では密猟が行われていることもあり、このような違法行為も泥炭地内の生態系・生物多様性の喪失につながっている。

現在、コンゴ民及びコンゴ共が批准している泥炭地の管理・保護に関連する国際的な協定・条約はラムサール条約、生物多様性条約、国連気候変動枠組条約などである。その他に、2019年3月に国連持続可能な開発会議での成果文書として採択された泥炭地保全と持続的な管理についての決議（UNEA Resolution on Conservation and Sustainable Management of Peatlands）があり、泥炭地の保全及び持続可能な管理のために地域的・国際的な協力を強化の奨励等を定めている。泥炭地に係る国際的な枠組み等としてはグローバル・ピートランド・イニシアティブ（GPI）、ブラザビル宣言やコンゴ盆地森林基金（Congo Basin Forest Fund：CBFF）が挙げられる。コンゴ盆地内のキュベット・セントラルの泥炭地は、約10,600年前から蓄積され始めたことがわかっており、最大深度は5.9m、平均深度2.0m、泥炭地面積は145,500 km²となることが推定されている。泥炭地の炭素含有量は約300億トンと推定されており、これは米国からのCO₂排出量の20年分に相当する。

GPIメンバー国は、泥炭地開発の重要性を認識しており、そのため、泥炭地の地図を作成し、炭素蓄積量を評価し、山火事や森林から保護することが必要である。コンゴ民国における泥炭地管理ユニット（PMU）は、CRGM（Centre de Recherche Géologique et Minière）が泥炭分析（泥炭サンプルの炭素含有量の定量化）に必要な装置を持っており、CRGMはすでにFAOのためにこの分析サービスを提供しているとの情報を得た。

泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況に関連しては、「コンゴ盆地中央部の泥炭地における炭素、生物多様性、土地利用」（Carbon, biodiversity and land-use in the

Central Congo Basin Peatlands⁷⁾ が参考となる。コンゴ民の現状について言えば、泥炭地の大規模な劣化は確認されておらず、したがって人為的な温室効果ガスの著しい放出もない。コンゴ民は泥炭地の包括的なマッピングを行い、コンゴ民の文脈に沿った明確な定義によって、その炭素蓄積量を推定する作業を行っている。この泥炭地の国家的定義に到達するために、コンゴ民で採用されたプロセスは 1. 共通に受け入れられる定義に到達するために、国内での意見交換や協議に必要な時間を確保すること、2. 定義の主な目的と一緒に定義すること、3. 他国での経験から学ぶことであり「最低 15cm の深さ、5%以上の有機物を含む」という重要なパラメータについて近隣諸国との共通定義を念頭に検討中である。

次にコンゴ民、コンゴ共各国の概況を示す。

2.2.1 コンゴ民主共和国

現在、コンゴ民における泥炭地の正式な定義や泥炭地の保全に関する具体的な国の政策や規定はないが、「国家泥炭地戦略」の策定に着手している。コンゴ民の国内レベルで泥炭地管理を直接または間接的に扱っている法律文書には 1) 水に関する 2015 年 12 月 31 日の法律 No. 15/026、2) 自然保護に関する 2014 年 2 月 11 日の法律 No. 014/003、3) 林業法に関する 2002 年 8 月 29 日の法律 No. 011/202、4) 環境保護に係る基本原則に関する 2011 年 7 月 9 日の法律 No. 11/009、5) 都市計画に関する 1957 年 6 月 20 日付の政令、6) コンゴ民主共和国の保護区域における生物多様性保全の国家戦略などがある。国家泥炭地戦略としてコンゴ民政府は、泥炭地に関する国家戦略、イニシアティブ、プロジェクト及びプログラムの調整と実施のためのフレームワークの開発を開始している。2019 年 7 月、初の全国泥炭地情報ワークショップが開催され、泥炭地管理の準備段階のロードマップが作成された。2020 年 8 月には、国家泥炭地戦略の作成に着手している。

中央政府機関の体制として、議会は泥炭地の保全と持続的管理を保証するための法律の策定及び改訂及び泥炭地の持続的管理に係る政府の行動について議員による管理の保証についての責任を負い、環境・持続可能開発省 (MEDD) は環境の持続的管理及び生物多様性や生態系の保全に係る国内政策の実施、政策実施のための計画の作成・調査・評価、森林・水資源・動物相及び環境資源の持続的管理等を担うため、コンゴ民の省設置に関する 2020 年 3 月 27 日付 No. 20/017 規則で設置が定められた。

州議会では泥炭地の保全を強化するため、州レベルでの法的措置を取る役割を持つ。また、泥炭地保護に関して州政府の行動を管理する役割も持ち、州知事は泥炭地の保全・管理に関して優先事項を考慮しつつ州の発展のための計画と知事令を作成する。また州計画省では州開発計画において泥炭地の保全と持続的な管理が含まれるようにし、州土地利用における整備計画担当省が泥炭地の保護と持続的な管理を統合した州開発計画の策定プロセスを開始・調整する。このほかに ACE 州支局が泥炭地への影響を及ぼす可能性のある州及び地域の土地利用計画及び影響評価の戦略的環境評価の検討と承認を担っている。

他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要をみると、グローバル・PEATランド・イニシアティブ・プロジェクト (Projet de l' Initiative Mondiale pour les Tourbières) が国の関係者を対象とした泥炭地マッピングのためのキャパシティビルディングセッションを開催している。またコンゴPEAT (Congo Peat) では泥炭サンプルを分析し、泥炭の経年変化を含むコンゴ盆地の歴史的な気候記録を復元すること、コンゴ民でのフィールドデータ収集を含むマッピング、範囲、炭素量の推定値を拡張・改良すること、さまざまな開発・攪乱シナリオをモ

⁷⁾ <https://www.unep.org/resources/publication/carbon-biodiversity-and-land-use-central-congo-basin-peatlands>

デル化し、これらの敏感な生態系における将来の潜在的な影響を推定すること等を行っている。さらに IKI プロジェクト（コンゴ盆地の泥炭地における生物多様性、炭素、水供給の保護のためのプロジェクト、Projet 《 Protéger la biodiversité, le carbone et les réserves d' eau dans les tourbières du Bassin du Congo 》）では i) 実現可能な環境、ii) 生物多様性と生育・生息地、iii) 水と気候、iv) 泥炭地と生態系、v) キャパシティビルディングと知識管理の 5 つの軸に焦点を当てている。

2.2.2 コンゴ共和国

コンゴ共における泥炭地管理と保護に関連する法令・政令等については、1) 動物相、生育・生息地及び生態系の持続的保全と管理の基本方針及び一般的条件に関する 2008 年 11 月 28 日の第 37-2008 号法律、2) 森林法（2000 年 11 月 20 日の第 16-2000 号）、3) 1991 年 4 月 23 日の第 003/91 号法律、4) 2002 年 12 月 31 日の第 2002/437 号政令、5) 水に関する 2003 年 4 月 10 日の第 13-2003 号法律、6) 漁業運営に関する 2010 年 6 月 14 日の第 3-2010 号法律などが挙げられる。

環境・持続可能開発・コンゴ盆地省はコンゴ共における気候変動対策、生物多様性及び泥炭地保全等を担当している。2021 年 5 月の内閣改造の際に観光・環境省（Ministère du Tourisme et de l' Environnement）から名称を環境・持続可能開発・コンゴ盆地省に変更し、より持続性のある課題について対応している。また森林経済省（Ministère de l' Economie forestière）はコンゴ共における森林保全・管理等に関連する課題や REDD+についても担当している。

州レベルでの体制について該当する情報は入手できていないが、州レベルでの取り組みとしてフランス開発庁（AFD）は、気候変動分野及び生態系保全分野におけるプロジェクトをコンゴ共で実施している。気候変動分野のプロジェクトはカメルーン、コンゴ民及びコンゴ共で行われており、AFD と EU によって実施されている。このプロジェクトでは、中部アフリカにおける REDD+ や森林セクターのような気候変動対策へのイニシアティブにおいて、汚職防止の政策及び実施を改善することを目的としている。

生物多様性分野においては、2020 年より北部に位置する Likouala 州にてプロジェクトが実施されている。このプロジェクトは AFD と世界的環境のためのフランス基金（Fonds français pour l' environnement mondial (FFEM) の共同出資によって実施されている。森林及び生物多様性の保全、土地の適切な整備を促進しつつ、地域レベルでの開発における戦略を支援することを目的としている。また、GPI を通じた小規模資金でレジリエンス的な活動を 2018 年から行っており、同活動ではリモートセンシング技術の能力強化に取り組んでいる。

2.3 ペルー

ペルーにおける泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター、国レベルの政策制度等について取り纏めた。ペルーは、泥炭地に関連する 4 つの国際的な枠組み（ラムサール条約、生物多様性条約、国連気候変動枠組条約、パリ協定）に批准している。それらのペルー政府フォーカルポイントは、環境省の 3 部局（環境省天然資源戦略的開発局、生物多様性総局、気候変動砂漠化総局）である。泥炭を含む調査研究活動等は、環境省・アマゾン研究所（IIAP）が実施している。また、農村開発・灌漑省森林野生動物庁（SERFOR）は、2021 年 5 月、泥炭地など多量の炭素を有する生態系の保全と持続可能な利用に係る管理を担当する機関となった。ただし、これまでペルーには泥炭地に関する定義が存在しないため、泥炭地の面積、炭素貯留量評価が難しい。しかしながら、泥炭地保全による GHG 排出量の削減は、国別 GHG 削減目標（NDC）として気候変動緩和への貢献ポテンシャルとして期待されており、近年は専門家会合の議論が活発化し、

泥炭地に関わる保全・管理方針またはガイドラインの作成など、基礎情報整備が進められている。また、実施中の協力事業では課題・教訓として、政府内で泥炭地に関する業務の人員・予算や担当者の頻繁な交代に課題があり、泥炭地に関わる業務の重要性や泥炭地保全に関わるビジョンやロードマップを示し、人員・予算を確保する必要性などが示唆されている。

一方、気候変動における議論の高まりによって、泥炭地の分布や炭素蓄積量の正確な把握が重要になってきているが、泥炭地の定義やマッピングの方法論については十分に議論が行われていないことも課題となっている。また支援ニーズとしては泥炭地マッピング、劣化修復、インベントリーなどにおいて特にニーズが高い。

第3章 泥炭地マッピング（ボーダリング）

第3章においては、泥炭地のマッピング手法開発を行った。熱帯泥炭地は、インドネシア・マレーシア、ペルー（アマゾン盆地）、コンゴ盆地に広がり、様々な泥炭地マップが作成されているが、インドネシア・マレーシアの多くの泥炭地マップは、地上ボーリング調査に基づいているため、他の地域に適用可能な衛星画像を活用したマッピング手法は少ない。ペルーやコンゴ盆地でも衛星画像を用いた泥炭地マッピングの論文が僅かに報告されているが、いずれも衛星画像の詳細な特性などが記述されておらず、他の地域に適用可能なマッピング手法は殆ど無い。そこで、本基礎調査では、無償衛星画像（Sentinel-2、PALSAR 及び SRTM/DEM）とオープンソースソフトウェアを活用し、誰でも解析が可能で、簡易かつ再現性の高いマッピング手法の開発を行った。

3.1 コンゴ盆地

これまでに、コンゴ盆地の泥炭地マップは、Dargie et al. (2017) のみが報告しているが、泥炭地における衛星画像の特徴や観測日などの詳細な記述がないため、再現性が低い。本基礎調査では、はじめに、泥炭地における Sentinel-2 のスペクトル解析を実施し、泥炭地植生を非泥炭地植生と区分した。続いて、PALSAR の後方散乱特性から、雨季の泥炭地植生を抽出した。さらに、SRTM/DEM の標高値から河川域の氾濫原を削除した。また、本手法の検証を行うため、コンゴ民のアクセスが容易な Mai Dombe 州南部 Nioki 近郊を対象に、本手法によって泥炭地のポテンシャルサイトを抽出した。2021 年 9 月に現地調査を行った結果、厚さ最大 3.5m の泥炭地が確認され、本手法の有効性が示された。

3.2 ペルー

2016 年～2021 年にペルー国サンマルチン州及びウカヤリ州で実施された、技術協力プロジェクト「ペルー森林保全及び REDD+メカニズム能力強化プロジェクト」によって、泥炭地特有の植生である“Aguaje”パーム林を抽出する手法を光学センサ（Sentinel-2 及び Landsat-8）を用いて開発した。本基礎調査では、さらに PALSAR 画像を用いて、泥炭地植生 Aguaje を高精度で抽出する手法について検討した。PALSAR/FBS-HH 及び FBD-HH、FBD-HV を用いて、次の結果が得られた。(1) Aguaje の FBS-HH 後方散乱値は、Mixed-Forest よりも相対的に低い、(2) 水平偏波 HH は、Aguaje の backscatter 値の幅が広い、(3) 水平偏波 HH とクロス偏波 HV では、Aguaje の backscatter 値の幅が狭い。一方、このような特徴は、対象とするサンマルチン州とウカヤリ州の全ての泥炭地で確認することはできなかったため、同プロジェクトで抽出された Aguaje 泥炭地について、前述の PALSAR の有効性を確認したところ、6 割程度の泥炭地で特徴が表れることが確認できた。即ち、泥炭地内の水域の範囲や Aguaje の密度等の要素により、PALSAR の有効性を確認することができた。

第4章 高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発及び検証

第4章においては、高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発及び検証を行った。これらプログラムは、以下の5つから構成される。1) 高精度の土壌水分マッピング、2) 地下水位推定モデル、3) 地下水位推定モデルによる温室効果ガス放出推定モデル（二酸化炭素及びメタン）、4) 泥炭火災の頻度及び強度予測モデル、及び5) 泥炭地ボーダリング（境界域）推計モデル。プログラム開発は、主に、国内再委託により実施され、一部は、調査団直営で実施した。対象州は、リアウ州、中央カリマンタン州及び西カリマンタン州である。プログラム開発は主に国内で実施したが、現地での実測及び検証のために、対象州の一つであるリアウ州において、雨季（2022年5月）及び乾季（2022年8月）に現地調査を実施した。

高精度の土壌水分マッピングにおいては、対象3州を対象に、領域気象モデル（以下、WRF）データを用いた土壌水分量の推定をおこなった。WRFのシミュレーションを以下の4つの領域で計算を行った。1) インドネシア全域が入るような27kmメッシュ領域、2) 主要域を9kmメッシュ、3) 3kmメッシュ、4) 詳細な検討のために主要域において1kmメッシュ。重回帰分析を行った結果、最適な窓領域かつ最適な計算日数を取った場合には、決定係数が0.6を超える地点は32点中26地点（81%）、0.7を超える地点が22地点（68%）であった。SARデータの活用を検討し、SARデータを用いた土壌水分量の推定をRiau州で代表して実施した。現地調査を実施したリアウ地域の4地点の観測データと5枚のSAR画像による重回帰分析を行った。この際、(A)すべての地域・画像を合わせた場合と、(B)地域ごとの場合の2パターンで解析を行った。その結果、(A)の場合、F値は0.0505、重相関係数は0.72となった一方、(B)の場合、F値は地域ごとにそれぞれ、①0.49、②0.12であった。WRFを基本としたSARデータの検証を行ったが、SARとWRFの関係から、土壌水分量は地域ごとの傾向が強いことが示唆された。より広範囲にSARから土壌水分量を推定する場合には、地域ごとの土壌水分量の傾向を予め把握しておき、地域ごとに重回帰式を作成する必要がある。また、ドローン画像を用いたSARデータの検証を行った結果、乾季・雨季の土壌水分量の違いがSARデータにある程度反映されていることが確認できた。

地下水位分布マップにおいては、対象3州を対象に、重回帰分析で得られた回帰式を用いて、地下水位の広域化に関し（地下水位マッピング）、土地利用の観点から検討を行った。広域での地下水位の推定を行った結果、既存の観測データとは対照的に、沿岸部において地下水位が低いエリアが見られたが、これは、WRFでは海水による地下水位の押上が考慮されていないことが原因と考えられた。そのため、少雨期の既存の観測データ（地下水位および潮汐）を基に、WRFの結果を補正し、その結果、地下水位分布域を示す式を補正した。

温室効果ガス（二酸化炭素／メタン）放出量分布マップに関しては、対象3州を対象に、二酸化炭素及びメタンに関して、分析を行った。二酸化炭素に関しては、火災があった地域はCO₂放出量も固定量も大きくなる傾向がある。火災や森林伐採など人為的改変があった地域は、CO₂収支を個別に評価する必要がある。WRFで推定された1kmグリッド地下水位の日平均値の結果を用いて生態系交換量との関係式を開発した。メタンに関しては、生態系スケールのCH₄フラックス（排出量）と地下水位の関係式を開発した。この際、二酸化炭素と同様に、WRFで推定された1kmグリッドの地下水位の日平均値の結果を用いた。

泥炭地火災の頻度・強度推計モデルに関しては、対象3州を対象に行った。様々な火災インデックスを検討した結果、泥炭火災インデックスの手法として、従来の火災インデックス修正KBDI（KBDIadj）を使用することとした。広域への適応に関しては、精度が比較的安定しているKBDIadjを用いて、GSMaPから算出することが検討された。火災頻度と火災インデックスの関係に関しては、KBDIadjが「最も高いクラス」に分類されるときには、ホットスポットも比較的検出されやすい。さらに、ドローンによる火災モニタリングに関しては、熱赤外カメラによる火災

モニタリングが有効であることが分かった。

泥炭地のボーダリング（境界域）推計モデル（泥炭地マッピング）に関しては、既存の泥炭図と現地調査の結果を基に、既存泥炭図の検証を行った。現地調査では、雨季・乾季の状況を把握し土壌特性等について理解するために、雨季（5月）と乾季（8月）にハンドオーガリング、地中レーダー（GPR）、LiDAR 標高図、水文・植生情報などの調査を実施した。その結果、既存のボーダリングデータは解像度の低さによって、局所的な泥炭厚さの変動が反映されないことが明らかになった。また、泥炭の境界部分や傾斜部分が表現されない傾向があった。さらに泥炭土壌の保水性を確認するために植生情報も用いて説明づけることができることが明らかとなった。

コンゴ盆地やペルーと異なり、インドネシアの泥炭地では、衛星画像に特徴があらわれやすい植生（例えば、ペルーの Aguaje パームやコンゴ盆地の Raphia パーム等）が存在しないため、地上データに基づく泥炭地マップがこれまでに作成されてきた。一方、本基礎調査では、気象モデル WRF から求められた土壌水分量から地下水位を推定するモデルが開発された。泥炭地の地下水位は、周辺の土地に比べて地下水位は高い特徴があるため、WRF で推定された地下水位と泥炭地の境界には密接な関係があることが考えられる。本基礎調査では、WRF で推定された地下水位情報から泥炭地の境界を推定する“泥炭地ボーダリング”手法について、中部カリマンタン州、西カリマンタン州及びリアウ州を対象に検討を行った。使用した情報は、①WRF 地下水位データ（2019年8月16日）、②BBSDL（2019）の泥炭地マップ、③土地被覆図（2019）、④SRTM/DEM 及び⑤2016年～2017年に実施された環境省推進費のボーリングデータである。BBSDL（2019）泥炭地マップと各種データを比較検討した結果、（1）BBSDL（2019）泥炭図の泥炭地における WRF 地下水位は、-90cm～-50cm 程度、（2）SRTM/DEM 標高値は 80m 以下、（3）土地被覆図（2019）における泥炭地の種類は、03_Primary Swamp Forest または 04_Secondary Swamp であった。即ち、（1）～（3）の条件を設定することで、既存泥炭地周辺また未確認地域における泥炭地の境界を評価することが可能になった。

最後に、社会実装の一環として、開発したプログラムをインドネシアの関係機関を対象として、プログラムの試行を行った。具体的には、データ及びプログラムをクラウド経由などで現地関係機関（BRIN: Badan Riset dan Inovasi Nasional）と共有し、オンライン及び対面での説明を通じてインストールを行った。また、操作方法などについて、オンライン講習会の中で説明を行い、プログラムを試行的に稼働させた。

第5章 泥炭地管理・保全事業形成対象候補地域の特定及び事業ニーズの確認

5.1 熱帯泥炭地管理に係るこれまでの JICA 事業

JICA は 2008 年から 2013 年に、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」を、世界の熱帯泥炭面積の半分以上を占めるインドネシア・中央カリマンタン州で実施した。本研究は、熱帯泥炭地の包括的管理、炭素の放出抑制や炭素管理を目的とするシステムを構築し、地上と衛星の双方のデータを融合することで泥炭地からの炭素放出量を正確に把握する世界で唯一の MRV システムを提案した。この MRV システムでは、泥炭地の炭素動態を包括的に把握するため、8 つのモニタリングターゲットを選定し、地上計測や衛星データを活用した CO₂ 放出量の定量化等に関わる技術開発が行われた。

CO₂ 放出量については、攪乱程度の異なる 3 種類の生態系（未排水の熱帯泥炭湿地林（UF）、排水された熱帯泥炭湿地林（DF）、排水後に焼失した森林跡地（DB））において、生態系と大気との間の CO₂ 交換量（フラックス）及び蒸発散量の連続観測データや気象、土壌、地下水位などの環境データの蓄積が進められ、1）未排水の湿地林（UF）においても正味で CO₂ の排出源となっていること、2）CO₂ 排出量は環境攪乱が進むにしたがって大きくなること（4 年間（2004

～2008 年)の平均で DB (4.99 tC ha⁻¹ y⁻¹) > DF (3.28 tC ha⁻¹ y⁻¹) > UF (1.72 tC ha⁻¹ y⁻¹)), 3) エルニーニョ年には CO₂ 排出量が大きくなること、などを世界で初めて実証した。

上記システムと類似する泥炭管理システムについては、現在も住友林業㈱が西カリマンタンの泥炭地で運用中である。住友林業㈱のモニタリングシステムでは、CO₂ 放出量は上記と同様に渦相関法にて計測しているが、地下水位や気象データについては、完全遠隔操作が可能な「sPOTELKA」を使用している。住友林業㈱は、15 万ヘクタールの泥炭地の管理を行っており、sPOTELKA では、その内約 4000 ヘクタールの範囲を対象に、CO₂ フラックス、気象データや地下水位を観測している。取得されたデータは衛星通信を使って転送が行われ、地下水位が常に一定レベルとなるよう管理されている。一方、このようなインドネシアを対象とした泥炭地管理システムは、泥炭地の形成過程が異なるコンゴ盆地に適用することは難しいと考えられているが、コンゴ盆地ではこれまでに Flux タワーや気象観測計を活用した CO₂ 放出のモデルは構築されていない。しかし、地球規模でカーボンニュートラルの議論が行われている中、膨大な炭素 (30.6 ギガトン) が蓄積されているコンゴ盆地の CO₂ 放出メカニズムを明らかにすることは、今後益々重要となる。

5.2 コンゴ盆地における泥炭地管理・保全事業の調査候補地

コンゴ民赤道州の候補地について言えば、コンゴ盆地では、これまでに英国研究者らによってコンゴ共において泥炭調査が行われているが、コンゴ民での調査は殆ど行われていない。CO₂ 放出メカニズムを明らかにするための既存情報 (土地被覆図、地形図等) が殆ど存在しないが、赤道州 Mbandaka 近郊の Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地には、Greifswald Mire Centre (GMC) が作成した土地被覆図が存在する。Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地は、Mbandaka の東方約 2km に位置し、泥炭地へのアクセスが極めて良い。また、GMC による土地被覆図が利用可能なため、気象計測機器や地下水位計測機器の設置場所を検討することが、他の場所にくらべると容易である。さらに、都市部へのアクセスが容易であるため、機器の故障などに迅速に対応できるメリットがある。仮に、Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地を含む 10km 四方の泥炭地をモニタリングする場合、CO₂ 計測機器と sPOTELKA 親機を設置できる泥炭地は、南方約 10km 圏内に存在する。候補となる泥炭地の Sentinel-2 画像には、攪乱された形跡は認められず、今後、泥炭地管理・保全事業のための調査地として適当であると考えられる。なお、コンゴ盆地の泥炭地から東方約 600km の Yangambi では、2020 年から CO₂ フラックスが計測されている。ただし、泥炭地ではないため、熱帯林のみの CO₂ 放出量が計測されている。

他方、コンゴ民赤道州以外の候補地についてみると、Mbandaka 近郊 Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地以外には、既存情報が入手できないこと、調査地までのアクセスが悪いことから、泥炭地管理・保全事業のための候補地としては慎重な検討が必要となる。赤道州 Mbandaka 以外で検討する場合、キンシャサからのアクセスと、泥炭地の分布を考慮すれば、MaiNdombe 州となる。CongoPeat によれば、MaiNdombe 州の泥炭地は、中央から北部にかけた範囲に広がる。基礎調査によって、Nioki 南東部において泥炭地を確認しているが、その分布は限られているため、Flux タワーの建設地としては適さない。

コンゴ民における本件の展開に際しては、先方政府への丁寧な説明と巻き込みを図ることで成果品となる地図や地上データを高度に利活用してもらうことに留意した。このことは他ドナーが行った過去の支援に関連し、政府機関への説明不足から最終成果の利用が進んでいないという経験を踏まえた措置である。

以上の候補地における諸条件及び候補事業に係り、環境省次官から JICA コンゴ民事務所長宛てに今後の泥炭分野支援に係る要請レター(2021 年 8 月 3 日付け)に関連して、パイロット的に泥炭地で Flux タワー、気象・地下水観測機器等を設置することを含む日本の無償資金協力(デジタ

ル無償)要請の準備が始まり、JICA コンゴ民事務所でも泥炭地に関する技術協力の要望調査を行うことの検討が始まった。本技術協力の実現については 2023 年現在検討中というステータスになるものの、必要な戦略について、将来、コンゴ盆地の泥炭地保全管理へ民間資金が投入される環境条件の整備も目指し、コンゴ盆地の泥炭地マッピングと泥炭地からの GHG 排出のモニタリング制度構築と泥炭コンポーネントがコンゴ両国の NDC 達成へ貢献する政策展開を支援する構想が考えられる。

5.3 外部資金を活用した泥炭地管理・保全事業の方向性

JICA は CAFI より LOI1 によるクウィル州での統合 REDD+(PIREDD)プログラム実施を受託している。2022 年 5 月 CAFI の LOI2 によるコンゴ民での開始が公表され、現在、関心表明の募集中である。LOI2 では泥炭地プログラムも検討されており、キンシャサなど大都市への物流供給圏を核とした広域化も目指している。CAFI 資金を活用した泥炭地管理・保全事業の方向性の検討にあたっては、こうした LOI2 に関する他ドナーの動きに留意することが重要である。

第6章 泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針に関する提言

6.1 国際社会のアジェンダと泥炭地の位置づけ

泥炭地保全・管理に係る今後の協力方針の提言に際して、国際社会で議論されているアジェンダと泥炭地の位置づけについて概観した。

国連環境計画における議論では第 4 回国連環境総会を 2019 年 3 月ナイロビにて開催したが、その際に 16 の決議文書を採択し、4 番目の決議として「Conservation and sustainable management of peatlands」が明記されている。この決議のうち、着目すべきパラグラフとして、国際社会が泥炭地管理について何等かのアクション（介入）を行う際に、可能な限り正確なインベントリーデータが必要不可欠であることを意味しており、研究分野からの取り組みの重要性が示唆された。泥炭地は様々な生態系サービスを提供するコベネフィット型のランドスケープと解されるが、同時に自然に根差した社会課題の解決策(Nature-based Solution:NbS)としても理解することができる。また、2022 年ナイロビで開催された第 5 回国連環境総会では NbS の重要性や各国による活動促進などが決議され泥炭地保全を含めた生態系の保全が欠かせないことが強く認識された。加えて NbS の文脈においても科学的な根拠や方法論などがあってこそ、泥炭地管理を含めた NbS 促進計画が効率的かつ効果的に実施されることが明示された。

また、2021 年 11 月グラスゴーにて開催された国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議 (COP26) では、温室効果ガス削減効果が高い「メタンの排出削減」に注目が集まり、このような背景のもと COP26 に向けて米国および EU 欧州委員会の共同提案としてグローバルメタンプレッジ (GMP) が表明された⁸。これは 2030 年までに 2020 年比でメタンを 30%以上削減することを約束するものであり、この目標を達成すれば 2040 年までの温暖化を 0.3 度分低くできるという。30%削減のセクター別内訳は示されていないが、泥炭地からのメタン排出削減は土地セクターのなかでも最も重要な取り組みであることは明らかである。

更に 2022 年 12 月にカナダのモントリオールで開催された生物多様性条約第 15 回締約国会議 (CBD-COP15) では、2020 年までの世界目標であった「愛知目標」に代わる「ポスト 2020 生物多様性枠組」の策定が主な議題として取り扱われ 23 の具体的な目標のうち、ターゲット 11「生態系調整機能・サービスを、自然または生態系ベースのアプローチにより維持、回復、強化」が最も泥炭地に関係する決議である。そこには NbS を通じた取り組みを行うことを目標として掲げて

⁸ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_21_5206

いる。またターゲット 15 では民間企業の活動を展開する際に自然資源へのリスクや影響に留意しなければならないことを明示している。

他の国際機関について言えば FAO や GPI が泥炭地に係る活動を展開しており、2020 年に FAO から発行された⁹ “Peatland mapping and monitoring - Recommendations and technical overview-”や、GPI から “Global peatland assessments” が 2022 年 11 月に発行¹⁰されるなど具体的な成果が国際議論をリードしている。

このほかにも Wetland International, The International Peatland Society など国際的な機関があるものの JICA の活動のうち特に泥炭地モニタリングや管理といった活動と連携しやすい機関は FAO と GPI である。これらの機関で活動する研究者には IPCC のガイドライン作成に携わる関係者も多く、JICA の取り組みを国際的に発信するうえで重要な連携先と考えられる。

6.2 わが国における動向と泥炭地管理の位置づけ

我が国は、2030 年までに温室効果ガスの排出量を 26%削減するという目標を国連に提出しており、より長期的な目標としては、第 4 次環境基本計画において、2050 年までに 80%削減することを目指すとしている。これに連動して民間企業による排出削減の取り組みが加速しつつあり、特にカーボンプライシングや GX リーグといった構想が動き出している。GX リーグでは①未来社会像対話の場合、② 市場ルール形成の場合、③ 自主的な排出量取引の場合を通じて、「先駆的取組を主導する事業者間での対話を通じた政策形成」を行うものである。特に③ 自主的な排出量取引の場合では、高い排出量削減目標を自主的に掲げ、その達成に向けた取組の推進・開示と、カーボン・クレジット市場を通じた自主的な排出量取引を行うことから、排出削減クレジットの需要増加が見込まれる。先に述べたように国際社会では泥炭地管理から生じる温室効果ガス排出削減は効果の高い取り組みとして認識されており、民間企業が必要とする排出削減クレジット需要に応えるうえで一定の役割を果たすことが期待される。特に Verra が運営する the Verified Carbon Standard (VCS) Program においては干上がった泥炭地への再灌漑を通じた温室効果ガス削減活動が取り上げられおり、今後は泥炭地における森林火災予防や保全活動に係る方法論が提案されることで排出削減クレジットが活発化すると推察される。

一方、2019 年 1 月の世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）にて、資金の流れを自然保全・回復への活動に向けるため自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD：Taskforce on Nature-related Financial Disclosures）が構想され、既に多くの企業に取り組んでいるサステナビリティ関連情報開示フレームワークの一つとして位置づけられており、ESG 投資とも密接に関連している。TNFD では情報開示に向けたガイダンスなどを規定したベータ版フレームワーク v0.3 では、組織が自然に関連する依存関係、影響、リスク、機会をどのように特定し、評価し、管理しているかを開示するよう求めている。泥炭地はパームオイル生産や植林活動など様々な企業が経済活動の場として利用されており、企業活動と自然資源の依存度が極めて高いランドスケープである。そのことから活動を展開する企業は TNFD の開示要求に従い泥炭地の特定や評価などが求められる。TNFD を通じた情報開示は ESG 投資を得る上でも重要な活動になることが予想され、TNFD ガイダンス案に示されたように泥炭地管理・保全に向けた定量的な評価手法が必要である。

⁹ <https://www.fao.org/3/CA8200EN/CA8200EN.pdf>

¹⁰ <https://globalpeatlands.org/resource-library/global-peatlands-assessment-state-worlds-peatlands-main-report>

6.3 泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針を検討するうえでの留意点

泥炭地管理の重要性については国際社会が強く認識しているものの、持続的な活動のためには民間資金の動員を欠かすことはできず、国内動向に後押しされた泥炭地への民間資金流入が期待される。

また国内の動向をみると、民間企業の視点では効果の高い温室効果ガス排出削減クレジット創出の場としての泥炭地、自社企業の経済活動の場として活用しつつ ESG 投資の促進を期待する機会としての泥炭地が伺える。

ここで民間資金が導入される際の留意点についてポイントを挙げる。

- ・信頼性の高いクレジット創出

温室効果ガス排出削減クレジットについては、期待度が高いもののその信頼性に十分留意することが重要であり、近年グリーンウォッシュを通じた批判がこれの対象になりかねない。排出削減クレジットについて言えば、標準化されていない評価手法の不確かさや定量化の際の高い不確実性などがこれに該当する可能性があることから、泥炭地の管理に際して必要な基礎データや評価手法については可能な限り透明性を確保しつつ得うる最新の知見を以て頑健な方法で取り込まなければならない。その意味では様々な手法やデータについて IPCC のガイドラインにおいて 2 取り込まれることが最も望ましい方法であろう。

- ・民間の検討スピードに合わせた取り組み

我が国における動向で整理したように、民間企業からの温室効果ガス排出削減クレジットの需要は加速度を増している状況にある。他方、上記で述べたように見せかけの環境配慮とならないように国際機関による泥炭地の管理手法のガイドライン化が必要であるものの、IPCC でのガイドライン開発と合意にはこれまでの経験を踏まえるとかなりの時間を必要とするであろう。この取り組みに必要な時間的ギャップを埋めるためには、方法論や基礎的データのすべてを完成させるまで待つのではなく、得られた成果や知見から順次公表していくようなステップワイズアプローチが重要である。具体的には IPCC が管理している排出量原単位データベース¹¹へのプロジェクト成果の登録などが挙げられ、そのためには論文化などの作業が必須であることに留意が必要である。

6.4 基礎情報収集調査の成果を活かした泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針

本基礎調査では衛星データを用いた泥炭地分布の推定並びに気象モデルを用いた泥炭地からの温室効果ガス (CO₂, CH₄) 吸排出量の推計に取り組み、基礎的情報の精緻化に関する技術開発を行った。これらの取り組みは国際社会が求める方法論や基礎情報への貢献や、民間企業参入を促すための泥炭評価の標準化という意味合いにおいて大きな貢献を果たしたと言える。

このことを踏まえつつ熱帯泥炭地にはピートドームを形成するものや、河川からのミネラル供給があるケースなど地域性を有していることを考慮して、それぞれのシード技術を用いた今後の泥炭地管理・保全に係る方針を 2 つのパスウェイとして提言する。

① 衛星データと Flux タワーを組み合わせた泥炭地からの吸排出量の精緻化と方法論の国際化

コンゴ盆地周辺においては、衛星技術を用いた泥炭地分布の推定に取り組み、コンゴ民 (赤道州)、コンゴ共 (ガンボマ周辺) の泥炭地分布を明らかにした。この地域での取り組みでは、他の国際機関が先行する泥炭地分布図の作成プロジェクトに対して、追加的な衛星データを用いることの有効性を示すことができた。この成果に引き続き、わが国政府はコンゴ民における Flux タワーの設置について、ノンプロ無償資金スキームを使い 2023 年から実施していくこととして

¹¹ <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

いる。この活動を通じて泥炭地分布図と Flux タワーから得られる詳細のパラメータを組み合わせることで、泥炭地からの CO₂ や CH₄ の吸排出量を把握することが期待される。また、場合によっては ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサー (HISUI) のデータを補完的に用い、精度向上に資する取り組みも考えられる。

これらの活動成果を最大限活かし国際社会に貢献するためには、様々なステークホルダーとの連携が重要である。具体的には Global Peatland Initiative (GPI) など国際的に活躍している機関との情報共有や方法論の共有は、JICA が開発した技術を国際化するうえで効率的かつ効果的な取り組みである。

技術の国際化という視点では、開発した方法論が IPCC ガイドラインに掲載され、他国での利活用が促進されるという道筋が理想的であるため、左記に述べたような著名な国際機関との連携がここでも重要になる。

② WRF モデルを用いた泥炭地における CO₂、CH₄ 吸排出量算定の社会実装

インドネシアにおいては、WRF モデルを用いた土壌水分や地下水位の推定に取り組み、そのパラメータを用いて泥炭地における CO₂、CH₄ 吸排出量を試算することができた。特に泥炭地からの温室効果ガス排出量について気象データを用いて広域に試算した取り組みはこれまでに行われておらず、今後の泥炭地管理に大きな貢献を果たすものである。次のステップとしては、インドネシア政府職員による開発モデルの維持管理を促し、泥炭地からの CO₂、CH₄ 吸排出量を経時的に試算していく取り組みが重要である。その過程において現地検証のためのボーリング調査や Flux タワーからの基礎的情報を得つつ、WRF モデルの更なる精緻化が欠かせない。

その上で、インドネシア政府内における認知度や信頼度を高め、最終目標としては GHG インベントリーへの組み込みや NDC 改定における貢献などが期待される。

本 編

はじめに

本報告書は「全世界持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認調査」の業務結果のうち、2021年1月から2023年2月について報告するものである。

第1章 序論

1.1 調査実施の背景

地球全体で深刻な課題となっている気候変動問題に関して、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）において、森林等の温室効果ガス（GHG）吸収源の保全強化の重要性とともに、森林減少・劣化からの排出を削減するための仕組みが議論されてきている。また、2018年10月にアラブ首長国連邦・ドバイにて開催されたラムサール条約第13回締約国会議では泥炭地由来の温室効果ガスの削減や沿岸地域の生態系の管理・保全が気候変動対策（緩和・適応）、防災・減災、生物多様性保全の上で極めて重要であり、早急な対応が必要との認識がされている。泥炭地は地球表面の面積の僅か3%を占めるにすぎないが¹²、少なくとも世界中の森林が貯蔵する地上バイオマス炭素貯蔵の2倍近くの炭素が固定されていると推計されている。一方で、これまでに泥炭の約15%が既に水が抜かれた結果、炭素貯蔵が放出され、これら泥炭地由来の二酸化炭素排出量は人間活動由来の排出量の5%に相当すると言われ¹³、泥炭地由来の温室効果ガスの排出削減の対策が喫緊の課題となっている。

最も熱帯泥炭地が多いと推定されている¹⁴、インドネシア、コンゴ民主共和国（以下、コンゴ民）／コンゴ共和国（以下、コンゴ共）、ペルーには、特に人為起源の開発によって脅威にさらされている熱帯泥炭地が広大な面積に存在し、膨大な量の炭素が蓄積している。特にインドネシアは、巨大な炭素貯蔵庫と呼ばれる熱帯泥炭地の最大の保有国であり、世界全体の泥炭地の約36%をも保有しているといわれる（1,493～2,700万ha/約570億t-CO₂eqとも予測される）。しかしながら、20世紀末の大規模なプランテーション開発のための水路掘削と熱帯泥炭林の伐採の結果、火災や微生物分解による大気中への炭素放出が急速に進んでおり、特に泥炭地火災は消火が困難であるため、長期間の延焼に伴う大量の二酸化炭素排出が危惧されている。他方で、泥炭地由来の温室効果ガス放出の適正な評価方法論は確立されていなく、また、地球全体の泥炭分布量やその炭素含有量は未だ正確に把握されていない。このため、UNFCCCに提出された森林参照排出レベル／森林参照レベル（FREL/FRL）の40か国の内（2019年時点）、泥炭由来のGHG排出量を報告しているのは2か国（インドネシア、マレーシア）に限られている。かかる状況から、国際社会では世界泥炭地イニシアティブ（GPI：Global Peatland Initiative）が泥炭地保全による温室効果ガスの排出削減を目的として、2016年11月、COP22に先立って開催された地球ランドスケープフォーラムで立ち上げられ、地球全体の泥炭分布域を把握するための泥炭マッピングが推進され始めている。

JICAは2009年12月からは4年4か月にわたり、科学技術協力（SATREPS）「インドネシア国泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト」を実施し、泥炭地管理手法の構築に向け、現場での測定やリモートセンシング、シミュレーションモデル等を活用した基礎データを蓄積し、その結果、北海道大学と京都大学と共に、土壌水分量から地下水位が推定され、それを基盤とする火災検知システムと炭素評価モデルが作られた（以下、地下水位推定モデル）。今後、適正な泥炭の管理・評価に向け、これらを活用した泥炭地からの炭素排出量評価モデルの確立及びプログラム開発、さらには国際標準化が必要である。また、こうしたJICAがインドネシアで推進し

¹² Joosten, H. (2009): The Global Peatland CO₂ Picture. Peatland status and emissions in all countries of the World. Wetlands International, Ede. 10 p.

¹³ IPCC. (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

¹⁴ FAO. 2020. Peatlands mapping and monitoring - Recommendations and technical overview.

てきた泥炭地保全手法及び泥炭評価手法にかかる成果を他の熱帯泥炭地へ普及してゆくために、関係アクターの動向、熱帯泥炭地保有国の政策や措置、自然環境、社会環境等に係る基礎情報を収集し、今後の泥炭地保全に係る協力方針の検討が求められている。

なお、本調査で地下水位の推計モデルの開発に取り組んだ理由は、学術的基盤情報として重要な水-酸素関係を評価することが泥炭地の持続的な管理において重要であると考えられるためである。酸素は水への溶解性が極めて低く(物理定数)、したがって水が多い泥炭地等の生態系では、酸素の不足が泥炭生態系の一次的律速要因となっている。つまり、水があると系は還元的(炭素放出抑制、メタン放出促進)になり、排水されると空気が入るため酸化的(炭素放出促進、メタン放出抑制)になる。したがって、水の過少は生態系の酸化還元電位に係わる重要なパラメータであるが、リモートセンシングでは、生態系の酸化還元電位が計測出来ないために、これまで酸化還元電位パラメータは全く無視されてきた(IPCC マニュアルにも記載がない)。そこで、泥炭地では、水位が高いと還元的で、水位が低いと酸化的であり、地下水位と酸化還元電位が連動していることから、地下水位の計測により、間接的に酸化還元電位を推計し、温暖化ガスの放出モデルを作成する必要がある。高次の温暖化ガス放出モデルである tier3 の作成には、低湿地生態系酸化還元電位(水の過少)のパラメーターの評価が不可欠である。

また、ペルーにおいては 2016 年より現在実施している「森林保全及び REDD+メカニズム能力強化プロジェクト」において、植生を生かした浸水林マッピング手法を提唱しており、ウカヤリ州・サンマルティン州の一部において現地調査も行っている。

このような状況から、今後の新規技術協力を見据え、国際的に重要な熱帯泥炭地を主な対象とし、泥炭の地下水位推定モデルのプログラム開発を行い重要な熱帯泥炭地の泥炭地マッピングを作成するとともに、泥炭地保全及びモニタリング・評価手法にかかる主要国の政策及び関係アクター動向等について基礎情報収集を行い、我が国による今後の泥炭地協力に関する協力ポテンシャルの検討を行う調査が計画された。

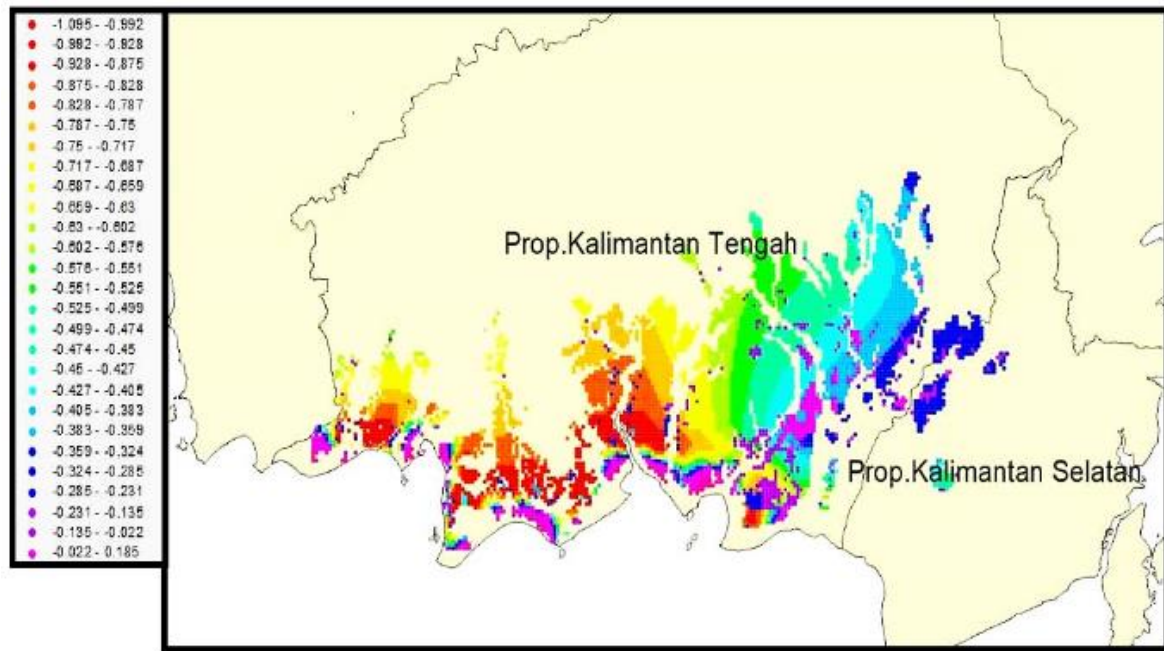
1.2 業務内容

1.2.1 業務の目的

本調査は最も熱帯泥炭量が多いとされるインドネシア、コンゴ民、コンゴ共、ペルーの 4 か国を対象とする。

泥炭に係る援助方針を検討するため、泥炭地保全・管理の効果が潜在的に高いものの、泥炭地の評価モデル及び適切な保全・管理に関する情報収集が十分ではないと思われる上記 4 か国に対し、泥炭協力案件の形成に向けた基礎情報を収集・分析することを目的として、以下の調査を行う。

- 1) 対象国の泥炭地マップを作成する。なお、インドネシアにおいて、高精度の土壌水分マップを開発し、それをベースとした地下水位推定モデル(図 1.2.1.1)、温室効果ガス放出量評価モデル及び泥炭火災・強度予想マップのプログラムを開発する(以下、「高精度土壌水分マッピングベースのプログラム開発」とする)。
- 2) 対象国における泥炭地保全及び持続的管理にかかる現状の把握と課題の抽出等を行い、泥炭地保全に関する効果的な事業形態を検討し、我が国による今後の泥炭地協力に関する支援可能性の検討を目的とする。

図 1.2.1.1 インドネシア中央カリマンタンの地下水位マップ例¹⁵

1.2.2 調査対象地域と留意事項

本調査の対象国は、最も熱帯泥炭地面積が多いとされる、インドネシア、コンゴ民、コンゴ共和国及びペルーの4カ国である(巻頭地図を参照)。各国の留意事項は、以下のとおりである。

調査対象地域ごとの業務の概要を下表に示す。

表 1.2.2.1 調査対象地域ごとの業務の概要

No.	主要な業務項目	インドネシア	コンゴ盆地		ペルー	備考
			コンゴ民	コンゴ共		
1	高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発 (国内再委託による)	●	-	-	-	インドネシア SATREP等の日本の知見の応用
2	泥炭マッピング (特異な植生に基づく)	-	●	●	●	ペルーREDD協力の知見の応用
3	持続的な泥炭地管理・保全にかかる情報収集、協力ポテンシャルの分析	●	●	●	● (中間報告迄)	ペルー協力への反映、広域事業の枠組み案など
4	情報発信	●	●	●	●	COP(イギリス)

(1) インドネシア

インドネシアは、巨大な炭素貯蔵庫と呼ばれる熱帯泥炭地の最大の保有国であり、世界全体の

¹⁵ 出典：JICA. 2018. インドネシア国泥炭地回復緊急支援にかかる委託業務 業務完了報告書

泥炭地の36%を保有しているといわれる¹⁶。JICAは2009年から4年4ヵ月にわたり、科学技術協力（SATREPS）「インドネシア国泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト」を実施し、泥炭地管理手法の構築に向け、現場での測定やリモートセンシング、シミュレーションモデル等の活用により基礎データを蓄積した。また、その基礎データに基づき、北海道大学と京都大学と共同で、土壌水分量から地下水位を推定するモデル（地下水位推定モデル）、さらに、それを基盤とする火災検知システムと炭素評価モデルを開発した。今後は、適正な泥炭の管理・評価に向け、これらを活用した泥炭地からの炭素排出量評価モデルを確立しそれを運用していくプログラム開発、さらには他国での適用をめざした国際標準化が必要である。

本調査の成果は、2020年度以降に形成する二つの新規技術協力事業¹⁷において有効活用され、相乗効果を生むことが期待されている。これら2案件の長期専門家から情報収集を行うと共に、先方政府関係者との意見交換の調整を図る。

(2) コンゴ民主共和国及びコンゴ共和国

コンゴ盆地には全世界の熱帯泥炭地における炭素蓄積の約30%が賦存するとされ、なかでもコンゴ河を挟んでコンゴ民とコンゴ共に存在する泥炭地は世界最大の連続した熱帯泥炭地域と言われている。この泥炭地には3つのラムサール湿地が含まれ、合計1,292百万haに至る世界最大級のラムサール湿地帯が広がっている。泥炭地層の厚さは中央値2mと比較的浅いが、面積は1,400百万ha以上に至り、炭素蓄積量は300億t-CO₂eqと予測されている¹⁸。泥炭地には、コンセッション開発計画など泥炭地に対する開発圧力が今後高まることが予想されている。このような中、コンゴ盆地の泥炭地の現状を明らかにし、保全の方向性を示すことは喫緊の課題となっている。JICAは2018年よりコンゴ民へ「森林・気候変動対策政策アドバイザー」を派遣開始し、同専門家の活動の一環として、コンゴ民で初めてとなる泥炭地保全ワークショップを2019年7月に開催した（コンゴ共からも参加）。

本調査においては、コンゴ盆地（コンゴ民、コンゴ共）の泥炭地のマッピングや泥炭地の保全に関する基礎的情報の収集を行うとともに、関係アクターへの聞き取りを通じたステークホルダー分析・課題の抽出を行い、その後の協力ポテンシャルの確認に向けた情報整理を行うものである。

(3) ペルー

ペルーの熱帯林は世界最大の熱帯林を有するアマゾン川流域に属し、アマゾン熱帯林の中ではブラジルに次ぐ第二位の面積を誇る。その中でペルーの熱帯泥炭林は、インドネシア、コンゴ盆地について世界で三番目に広い面積と言われている。大規模な泥炭地開発計画は未だ計画されてはいないものの、昨今の気候変動対策と泥炭地に関する国際議論の高まりを受け、ペルー政府も泥炭地保全の重要性を認識しつつある。しかし、温室効果ガスの貯蔵量や放出量とはもとより、泥炭林の分布についても未だ正確には把握できていない現状にある。JICAでは2016年より森林分野の技術協力¹⁹を実施しており、衛星リモートセンシング技術を用い、植生に基づく泥炭地マッピング方法論の開発も支援している。試行版の泥炭地マップをもとに、2018年、2019年12月

¹⁶ Warren, M., Hergoualc'h, K., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D. & Kolka, R. 2017. An appraisal of Indonesia's immense peat carbon stock using national peatland maps: uncertainties and potential losses from conversion. Carbon balance and management, 12(1): 12-12.

¹⁷ 「森林土地火災予防のためのコミュニティ運動プログラム実施体制強化プロジェクト」
「インドネシア-JICA 気候変動 LULUCF セクター緩和プロジェクト」

¹⁸ Dargie, GC, Lewis, SL, Lawson, IT et al. (2017) Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. Nature, 542 (7639). pp. 86-90.

¹⁹ 森林保全及び REDD+メカニズム能力強化プロジェクト

にウカヤリ州とサンマルティン州の一部で現地調査を行い、当マッピング手法の適用性について検証しただけでなく、泥炭のサンプル収集を通じて、泥炭自体の分布と一部深さに関する情報も収集した。

本調査においては、上記プロジェクトで開発した植生をベースにした泥炭地マッピング手法に関する情報の収集も行い、本調査で開発される高精度土壌水分マッピングをベースにした泥炭地マッピング手法との相違点や必要となる運用体制等を分析する。また、今後の泥炭地協力でのポテンシャル検討のための情報収集・整理を行う。なお、今後のペルーの泥炭に資する案件形成や現案件との連携の可能性の観点から、可能な限りペルー部分に関する情報収集は前半に集中して行い、月報等に記載していくこととした。

1.3 業務の実施

2020年3月18日更新のJICA調達部文書「新型コロナウイルスの感染拡大を受けた当機構の対応について」により、当面の間、渡航の見合わせにもとづき、ペルー及びインドネシアに係る渡航団員はない。一方、コンゴ民についてはボーリング調査実施に伴う準備や先方政府との協議のため、2021年8月から派遣を開始した。また、12月の新型コロナウイルスのオミクロン株の感染拡大の影響に伴い12月に計画されていたコンゴ共調査は中止した。

その後、2022年5月からコンゴ共調査、コンゴ民の国家泥炭会議における成果発表、コンゴ民現地調査を行った。また、同様に、5月にインドネシアについて国内再委託先による現地検証等が行われ、8月には国内再委託先のインドネシア側パートナーが主体となって乾期における補足調査も行われた。その他、国内業務により行った。

第2章 調査対象国の泥炭地管理・保全分野に係る現状の確認及び課題の特定

2.1 インドネシア

2.1.1 泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター

2.1.1.1 関連国際条約等

現在インドネシアは、表 2.1.1.1 に示すように、泥炭地の管理・保護に関連する国際的な協定・条約に批准している。

表2.1.1.1 泥炭地の管理と保全に関連する国際的なフレームワークと条約²⁰

No.	条 約	署名された日付・場所	批准日	法律	承認日
1.	特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約(ラムサール条約)	1971年2月2日、イラン・ラムサールにて	1991年10月19日	大統領令第48号/ 1991	インドネシア大統領 スハルト氏 (1968年～1998年)
2.	生物多様性に関する国際連合条約	1992年6月5日、ブラジル・リオデジャネイロにて	1994年8月1日	1994年法律第5号	インドネシア大統領 スハルト氏 (1968年～1998年)
3.	国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) について	1992年6月5日、ブラジル・リオデジャネイロにて	1994年8月1日	1994年法律第6号	インドネシア大統領 スハルト氏 (1968年～1998年)
4.	国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) 京都議定書	1997年12月11日、日本、京都にて	2005年2月16日	The Law No. 17/2004	メガワティ・スカルノプトリ インドネシア大統領 (2001-2004)
5.	国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) における「パリ協定」について	2016年4月22日、アメリカ・ニューヨークにて	2016年10月24日	The Law No. 16/ 2016	ジョコ・ウィドド氏 (インドネシア大統領) (2014-2024年)

インドネシアの気候変動抑制への取り組みと、国連気候変動枠組条約の締約国会議への参加のフォローアップとして、インドネシアはいくつかの協定を批准しており、最も新しい協定は法律 no. 16/2016 によるパリ協定であった。インドネシアは、パリ協定へのコミットメントとして、UNFCCC 事務局に NDC 文書を提出し、インドネシアの NDC 目標は、2030 年までに BAU から 29%、国際的な支援があれば 41%の排出量を削減するとしている²¹。この取り組みは、特に林業セクター、エネルギー、廃棄物、工業、農業によって達成される。

²⁰ 出典:Hukum Online, 2021

²¹ Enhanced Nationally Determined Contribution of Republic of Indonesia
([https://cop23.unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced NDC Indonesia.pdf](https://cop23.unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf))

2.1.1.2 インドネシアの泥炭地の管理と保護に関する地域協力²²

(1) ASEANの制度的枠組み

1) スマトラ島とボルネオ島のASOEN-HTTFとSRFA

アセアン環境上級実務者会議（ASOEN）の下部組織として、1995年にアセアン10カ国の上級実務者で構成されるASOEN-Haze技術タスクフォース（ASOENH-TTF）が設立された。ASOEN-HTTFはインドネシアが議長を務め、ヘイズに関するASEAN閣僚会議（AMMH）に報告された。ASOEN-HTTFは、特定の地域における火災管理に焦点を当てる必要性を認識し、1998年4月にスマトラ島とボルネオ島のサブリージョンを対象とした2つのワーキンググループ、すなわち、スマトラ島サブリージョン火災対策アレンジメント（SRFA Sumatra）とボルネオ島サブリージョン火災対策アレンジメント（SRFA-Borneo）を設立。また、ASOENH-TTFの下には、法律や法執行に関する事項を扱う「SRFA Legal Group and Law Enforcement」と、気候や気象条件に関する事項を扱う「Sub-Regional Climate Review meeting」という2つの補助機関がある。2002年には、SRFAの評価、監視、共同緊急対応のための標準作業手順を作成し、SRFAシミュレーション演習の詳細を準備するために、「SRFA火災・ヘイズ災害シミュレーション演習のためのアドホック・シミュレーション組織委員会」が設立された。2003年の「国境を越えたヘイズ汚染に関するASEAN協定（AATHP）」の発効に伴い、AMMHとその補助機関に代わり、同協定に基づいて設立されたAATHP締約国会議が設置された。

越境ヘイズ汚染に関するサブリージョン閣僚運営委員会（MSC）及び越境ヘイズ汚染に関する技術作業部会（TWG）がある。越境ヘイズ汚染に関するサブリージョン閣僚運営委員会（MSC）は、短期・中期・長期的に地域のヘイズ問題に効果的に取り組むための行動計画（PoA）の実施を監督するため、2006年11月に設立。MSCのメンバーは、ブルネイ・ダルサラーム国、インドネシア、マレーシア、シンガポール、タイ。MSCは、技術作業部会（TWG）の支援を受け、MSCの指示に従ってプログラムを実施。MSCのプログラムや活動には、ヘイズ対策、早期警報・監視、火災予防・消火能力の強化、二国間協力、地域ヘイズ研修ネットワークなどがある。

2) ASEAN地域ヘイズ行動計画

地域ヘイズ行動計画（RHAP）は、猛烈な火災と越境ヘイズ汚染が発生していた1997年12月に、ASEAN環境大臣によって承認された。RHAPには3つの主要な目的がある。すなわち、(i)より良い管理政策と実施による土地と森林の火災の防止、(ii)土地と森林の火災を監視するための運用メカニズムの確立、(iii)他の緩和策による地域の土地と森林の火災対策能力の強化である。マレーシアは予防を、インドネシアは緩和を、シンガポールは火災やヘイズの監視を担当している。

3) 越境ヘイズ汚染に関するASEAN協定

2002年6月10日、マレーシアのクアラルンプールで、10カ国によって「越境ヘイズ汚染に関するASEAN協定」が締結された。この協定には、監視・評価・防止、技術協力・科学研究、調整のためのメカニズム等が含まれる。また、国境を越えたヘイズ汚染対策のためのASEAN調整センターの設置についても規定されている。

4) ASEAN泥炭地管理イニシアティブ（APMI）

APMIは、2003年2月にフィリピンのマニラで開催された第20回ASOEN-HTTF会議で、2003年から2005年までの作業計画とともに採択された。APMIの目的は、ASEAN地域における泥炭地の

²² 出典：SEA Peat, 2018

持続可能な管理を、集団行動と協力関係の強化を通じて推進し、地域の生活を支え、維持し、火災やそれに伴う地域ヘイズのリスクを軽減し、地球環境管理に貢献することである。

2.1.2 国レベルの政策制度

2.1.2.1 インドネシアの森林土地火災の状況と対策²³

インドネシアでは、1982年と1997年に森林火災が発生し、世界的に注目を集めたが、2007、2012、2015年にも大規模な森林火災が発生し、ASEAN地域における越境ヘイズ汚染の原因となった。森林火災や土地火災の問題は拡大し続けているため、1999年からエシュロン2 (Directorate) レベルで火災に対処する特別な機関が設立された。2002年には、さらなる森林・土地火災対策のために「Daops Manggala Agni」というプログラムが開発された。これは、地方レベルで森林・土地火災を制御することを目的とした機関である。国境を越えたヘイズ汚染を軽減するためのコミットメントとして、2014年地域レベルでの森林・土地火災の管理のための枠組みを提供する「国境を越えたヘイズ汚染に関するASEAN協定(AATHP)」を批准した。

森林・土地火災を管理するために、国や地方のプログラムも展開されており、次のことを目的としている。

- 森林・土地火災が特に発生しやすい地域に焦点を当てながら、泥炭地を効果的に管理すること
- 森林・土地火災管理プログラムの主流化
- これらのプログラムへのすべての利害関係者の積極的な参加を確保すること
- 管理措置を実施するための十分なリードタイムを提供する早期警報システムを開発すること
- リスクの高い地域、特に泥炭地での土地を整地するための焼畑行為を排除・禁止すること。

インドネシアでは1984年から森林・土地火災のモニタリングを行っている。初期は、全国各地の政府機関からの火災の発生状況や焼失面積の推定値などの報告に基づいていた。1997年から2006年にはJICAと協力し、NOAAの衛星を使ったホットスポットの監視システムを開発したが、観測範囲はインドネシアの西部と中央部に限られていた。

2007年からはオーストラリアの協力で、熱センサー搭載のTerra/Aqua(MODIS)衛星を使ってホットスポットを監視するシステムを開発し、インドネシアの全地域をカバーしている。2015年3月には、環境林業省は、NOAA、Terra/Aqua、SNPPのホットスポットデータと、地方自治体のフィールドデータを組み合わせて、ホットスポット情報をリアルタイムに近い形で提供する統合システム「SIPONGI」を立ち上げた。

インドネシアでは2015年から本格的に焼失面積の算出が始まっている。この取り組みは、森林や土地の火災を抑制する現場活動を支援するために使用されている。焼失面積は、衛星画像データ、ホットスポットデータ、地上でのチェックレポート、森林・土地火災の鎮圧活動からの報告などを用いて算出される。

また、2018年から15の火災の多い場所に、赤外線CCTVを使ったモニタリングシステムが追加されている。このプログラムは、特定の地域でのモニタリングシステムの信頼性を高め、地上でのチェックをより迅速に行えるようにすることを目的としている。これに伴い、環境林業省は、ホットスポットでの地上チェックのための標準作業手順(SOP)と地上からのすべての関連情報に関する規則 (No P.8 / MENLHK / SETJEN / KUM.1 / 3 / 2018) を発行した。

²³ 出典: The State of Indonesia's Forests 2020

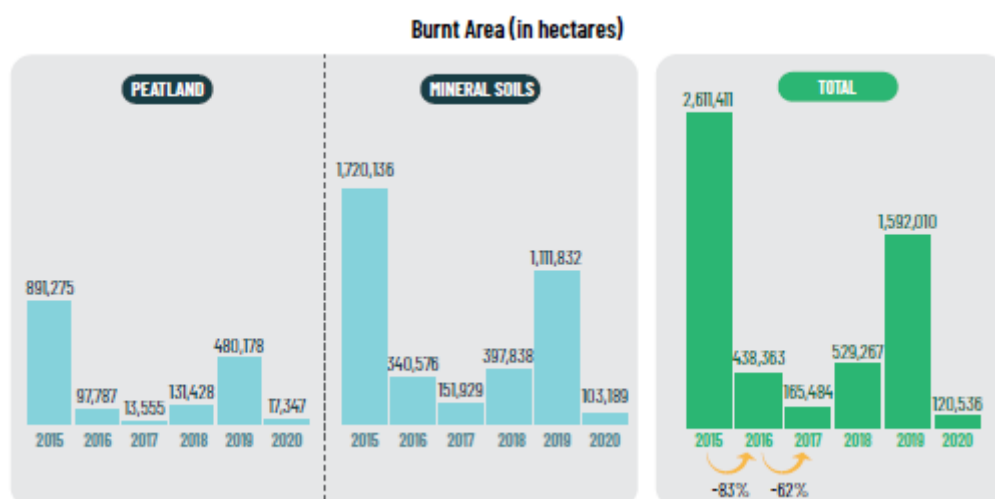


図 2.1.2.1 2015 年～2020 年の森林・土地火災面積

インドネシアの森林火災や土地火災は 天候や気候にも強く影響される。インドネシアでは通常、毎年 7 月から 10 月にかけて発生するが、2019 年の火災は 2019 年 1 月に始まり、年末まで続いた。これは、2018 より平均気温が高く、例年より雨季の到来が遅れ、雨の降らない日が様々な地域で 150 日にも及んだことや、世界的な気候の変化の影響を受けたためである。

インドネシアでは、2020 年から乾季のピーク前にクラウドシーディング（雲の凝結や降水を助ける物質を空気中に分散させることで、雲から降る降水の量や種類を変えることを目的とした気象改変の一種）を実施している。これは特に、リアウ州、南スマトラ州、ジャンビ州など、火災が発生しやすい州で行われている。この取組には、環境林業省をはじめ、気象・気候・地球物理庁（BMKG、技術評価・応用庁（BPPT）、インドネシア軍（TNI）、国家防災庁（BNPB）など、さまざまな政府機関が参加している。クラウドシーディングによる気象改変は主に泥炭地がある地域や、深刻な干ばつが予測される地域で実施される。

今後のインドネシアの森林・土地火災対策活動の重点分野は以下の通り。

- 森林・土地火災の予防を優先する
- 農業、産業用木材プランテーション、鉱業の分野において、森林・土地火災への影響を考慮して、ビジネス関係者の積極的な参加を促進すること。
- 特に火災多発地域では、独立したパトロールと統合されたパトロールを強化
- キャンペーンや出版物、オンラインメディアやソーシャルメディア、教育機関や宗教団体、社会団体との連携により、森林火災対策に対するコミュニティの意識向上と参加を促進する。
- 省・管区・市政府に対し、より迅速な森林・土地火災警報システムに予算を割り当て、DBH-DR（森林再生基金の地方負担分）の使用を最適化し、森林・土地火災の制御の最適化を奨励。
- Manggala Agni の能力を強化し、森林・土地火災の消防士としての MPA の役割を強化する。
- 森林・土地火災の早期警戒・早期発見のための技術力の向上。
- 林業・プランテーション部門のビジネス関係者の活動について、コミュニティや市民社会によるモニタリングやオンライン報告を <http://sipongi.menlhk.go.id> で行う。

2.1.2.2 泥炭地に関する政策

インドネシア政府による泥炭地の利用と栽培の規制に関連する政策は、50年以上前に国家の食糧需要を満たすために最初の議論がなされた。近年は泥炭生態系の管理と保護というパラダイムにシフトし始めている。これは、土地・森林火災、天然資源の枯渇、気候変動などの問題が多発していることに加え、世界的な環境保護運動の高まりと民主化の動きにより、政府と民間組織（NGO）との連携が変化していることに影響されている（Situmorang 2013; Ardhian et al. 2016 in Baskoro et al.）

1990年から2017年までの泥炭の管理と保全・再生に関する政策は、2007年以前、2007年から2014年、2014年から2017年の3つの期間に分けられる。

表2.1.2.1 国家政策の背景²⁴

状況の背景	ナショナルポリシー
国内消費と輸出のための食料と農産物の高い需要（Osaki et al. 2016 in Baskoro et al.）宅地化や都市開発などによる農地の減少。	大統領令No. 32/1990 大統領令No. 82/1995 大統領令No. 74/1998 大統領令No. 133/1998 大統領令No. 80/1999
インドネシアがUNFCCCのCOP13をバリで開催し、バリ・ロードマップを作成したことで、気候変動が重要な問題となってきた。その後、コペンハーゲンのCOP15、カンクンのCOP16、そして2009年のG8の結果を受け、インドネシアは気候変動問題に積極的に取り組んでいる。2016年にインドネシアは、2030年までに温室効果ガスの排出量を自国の努力で26%、国際協力で41%（BAU比）削減することを約束した。 外国投資に開放的な体制となったため、外部（国際）からの働きかけが強まり、例えば、2006年に発生した大規模な森林・土地火災に際しての民衆からの抗議への対応に見られるように、政府は環境問題への対応をより真剣に行うようになった。	大統領令No. 2/2007 The Law No. 26/2007 政令No. 26/2008 法律No. 32/2009 農林水産大臣令 No. 14/2009 環境大臣令 No. 10/2010 大統領の規則 No. 61/2011 2011年10月の大統領令（2年ごとに更新、現在に至る）
政治的機会の構造がよりオープンになる。選挙後の政治構造の変化、エリート市民運動の政府構造への参入。 2015年の大規模な森林・土地火災。	政令No. 71/2014 政令No. 57/2016 政令No. 1/2016

政府は、下記に示すような泥炭地の管理と保護に関する政策制度を発表している。

²⁴ 出典：Analisis Kebijakan Pengelolaan and Budidaya Ekosistem Gambut di Indonesia - Penerapan Pendekatan Advocacy Coalition Framework, 2018.

表2.1.2.2 泥炭地の管理と保護に関連する国家政策体系²⁵

政策体系	概要
法律 No. 5/1990	生物資源とその生態系のバランスの保全を実現することで、地域社会の福祉と人間の生活の質を向上させる努力を支えることを目的としている。
大統領令第32号/ 1990	環境劣化を防止するための保護地域の管理に関し。泥炭地域を保全すべき地域とし、水の受け皿として、地域の水位管理により洪水を防止するとともに、当該地域の固有の生態系を保護することを目的としている。泥炭地域の基準は、河川や沼地の土流に位置する厚さ3m以上の泥炭土壌とする。
大統領令第82/1995号から大統領令第74/1998号に変更され、大統領令第80/1999号に変更された。	中央カリマンタンにおける100万ヘクタールの泥炭地開発プロジェクト（PLG）の基盤となる「中央カリマンタンにおける地域計画及び管理泥炭地開発のための一般ガイドライン」について
法律第41/1999号	林業経営の目標として、十分な面積とバランスのとれた森林の存在を確保し、保全機能、保護機能、生産機能を含む様々な森林機能を最適化して、バランスのとれた持続可能な環境的、社会的、文化的、経済的利益を達成することなどが挙げられている。
法律No. 150/2000	バイオマス生産のための土壌被害対策を目的としている。
人民諮問会議令第IX/MPR/2001号	農地改革と天然資源管理について：土地、海、宇宙に含まれる天然資源の管理が、最適で、公正で、持続可能で、環境に優しい形で行われること。
政府規制No. 4/2001	森林火災及び土地火災に係る泥炭土の被害に関する標準的な一般基準を定める規定があります。
大統領令第2/2007	中央カリマンタンにおける泥炭地開発地域の復旧・再生の加速について。
法律 No. 26/2007	空間計画について：泥炭地が保護された地域であること。
法律 No. 32/2009	環境保護・管理について：泥炭地の生態系は、環境機能の保全を維持し、人間の行為による環境の悪化や損傷を防止するための天然資源の保護である。
法律No. 41/2009	持続可能な食料農業のための地域と土地を保護し、持続可能な農地の確保などを目的としている。
政府規制No. 37/2012	流域管理について：流域のインベントリー、流域境界の決定プロセス、流域分類などについて説明している。
大統領令第6/2013	一次天然林・泥炭地のガバナンス向上及び新規ライセンスの付与について：森林破壊・森林劣化による排出量の削減に向けた森林・泥炭地管理の継続的なガバナンス向上のための様々な取り組み。
政府規制No. 73/2013	泥炭地の指定・管理・情報システム、認可と監督、コミュニティのエンパワメントについて規定している。
法律 No. 37/2014	水と土壌の保全について：バランスのとれた持続可能な方法で経済的、社会的、環境的利益を実現するために、土地の利用区分を最適化することを目的としている。泥炭地は保護地域とする。
法律 No. 39/2014	すべてのプランテーション事業者が、環境影響の分析や環境管理、環境モニタリングの取り組みを行うことで、環境機能を維持することが義務付けられる。
大統領令第8/ 2015	森林破壊及び森林劣化に由来する排出量の削減に向けた取り組みとして、一次天然林及び泥炭地の新規使用許可発行の延期及びガバナンスの改善に関すること。
政令第28/11を政令第108/2015に変更	自然地域と自然保護地域の管理について：泥炭地は保護されなければならない重要な生態系の地域であるとしている。
政令第71/2014を政令第57/2016に変更	泥炭地生態系の保護と管理について：泥炭地生態系の保護と管理の定義、泥炭地生態系の保護と管理の利用、泥炭地生態系の保護と管理の計画、泥炭地生態系の被害防止、泥炭地生態系の維持、泥炭地生態系の保護と管理の監督、行政処分、泥炭地生態系の管理の経過規定。

²⁵ 出典：BPK RI, 2021; Hukum Online, 2021

政策体系	概 要
政令no. 26/2008を政令no. 13/2017に変更。	国土空間計画について：泥炭地とは、その地域の下にあるものを保護するための地域であり、次の基準による地域である。河川上流や沼地にあるドーム状で泥炭の厚さが3メートル以上であることを基準とする。泥炭地のゾーニング規制は次の通り。景観を変えることなく、自然観光、研究開発、科学知識、環境サービスのために空間を利用すること。水系や生態系を独自に変化させる可能性のあるすべての活動を禁止する。水域を通じて泥炭地に流入する土砂を管理、泥炭生態系の損傷への対策をおこなう。
政府規制No. 22/2021	政府や地方自治体が環境の状況や状態に関する情報報告システムについて。その中に泥炭の生態系の質に関するものがある。
政令No. 44/2004から政令No. 23/2021に変更。	森林や土地の再生、泥炭地の生態系の回復を支援する林業の実施について。

2015年に森林・土地火災による大きな被害を受けたため、泥炭生態系の保護・管理のための集中的な取り組みの必要性を考慮し、泥炭生態系の保護・管理に関する政令 No. 57/2016 が発行された。

表2.1.2.3 政令No. 57/2016の概要²⁶

政令の条項	概 要
第9条 「泥炭地の保護機能地域の指定」	大臣は、少なくとも泥炭水文単位の総面積の30%を、泥炭ドームの頂上から外に向かって、保護機能地域に指定する義務がある。また、次の条件を含む泥炭地域も保護対象とする：厚さ3メートル以上の泥炭、固有の遺伝資源、法令に基づく保護種、地域空間計画に規定された保護区、保護林区及び保全林区に位置する。
第17条「泥炭地生態系の保護・管理計画」	生態系機能の物理的・生物物理的特性の多様性、潜在的な天然資源の分布、気候変動、人口分布、地域文化、地域社会の要望、空間計画、泥炭地生態系へのダメージを回復するための努力などに注意を払わなければならない。
第26条「泥炭地利用の禁止」	すべての人は、保護機能地域のゾーニングが決定されるまでの間、新たな開墾、泥炭地生態系エリアでの特定の植物の栽培、泥炭の乾燥を引き起こす排水路の形成、泥炭地の焼却及び／または焼却を許可すること、またその他の損害の基準を超える結果となる活動を行うことを禁止する。

2.1.3 中央政府機関の体制及び取り組み状況

泥炭地の管理・保護に係る重要な国家機関として、環境・林業省、泥炭地回復庁（BRG）／マングローブ・泥炭地回復庁（BRGM）、農業省がある。

2.1.3.1 環境林業省

環境林業省は、環境省、林業省、気候変動に関する国家評議会（Dewan Nasional Perubahan Iklim：DNPI）、森林減少・森林劣化からの排出量削減管理機関（Badan Pengelola Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Deforestasi, Degradasi Hutan dan Lahan Gambut：BP REDD+）という、以前は別々だった4つの組織が統合されたもの。インドネシア共和国大統領規則No. 92/2020によると、環境林業省は大統領の下で責任を負い、下記の機能を果たしている。

- 1) 持続可能な方法での森林地域の安定化と環境管理の実施、天然資源とその生態系の保全管理、流域の環境収容力の向上と森林の再生、持続可能な森林管理、林産物一次産業の競争力向上、汚染と環境破壊の抑制、廃棄物・有害物質・有害廃棄物の管理、気候変動の抑制、森林・土地火災の抑制、社会的林業と環境パートナーシップ、環境・林業分野の法執行などの分野における政策の策定、規定、実施。

²⁶ 出典：BPK RI, 2021; Hukum Online, 2021

- 2) 持続可能な環境管理、流域の環境収容力の向上と森林の再生、汚染と環境破壊の防止、廃棄物・有害物質・有害廃棄物の管理、気候変動対策、森林・土地の火災対策、環境パートナーシップ、環境・林業分野の法執行などの分野における政策実施の調整と同期化。
- 3) 環境・林業省内のすべての組織要素のタスク実施の調整、育成、及び管理上のサポートを行う。
- 4) 環境・林業省の責任である国有財産の管理。
- 5) 環境・林業省内のタスクの実施を監督する。
- 6) 地域における環境・林業省の事務の実施に関する技術指導・監督の実施、及び
- 7) 環境・林業省内のすべての組織要素に対する実質的な支援の実施

泥炭地の管理・保護活動において、環境・林業省は表 2.1.5 に示すようないくつかの政令を発行している。

表2.1.3.1 泥炭地の管理と保護に関する環境林業省令²⁷

政策体系	概 要
林業大臣令 No. P. 3/ Menhut-II/2008	木材林産物利用のための植林事業許可地域の画定について：維持すべき自然林地域の基準に、河川上流の泥炭林地域と厚さ3m以上の沼地が含まれていること。
環境・林業大臣令 No. 10/2010	森林・土地火災に関連する汚染・被害防止メカニズム環境について、泥炭地を利用する事業・活動の責任者が行うべきこと：標準的な水管理技術を適用すること、及び年間作業計画を持つこと。
環境・林業大臣令 No. P. 12/ Menlhk-Ii/ 2015	産業人工林の開発について：環境と社会のバランスを考慮しながら、河川や沼地のの上流にある厚さ3m以上の泥炭林地域の生産機能を最適化する
環境・林業大臣令 No. P. 15/Menhk/Setjen/ Kum. 1/2017	泥炭生態系のコンプライアンス・ポイントにおける地下水位測定手順：泥炭生態系の地下水位は、コンプライアンス・ポイントと呼ばれる監視制御点で測定。主要な作物区画または生産ブロックの中央に位置させ、総数の少なくとも15%に設定する。
環境林業大臣令 No. P. 16/ Menhk/Setjen/ Kum. 1/2017	泥炭の生態系機能回復のための技術指針について
環境林業大臣令 No. P. 97/ Menhk/Setjen/ Kum. 1/11/2018	恒久的森林と恒久的生産林の交換森林面積について。
環境・林業大臣令 No. P. 60/Menlhk/Setjen/Kum. 1/10/2019	泥炭地生態系保護・管理計画の作成、泥炭地生態系保護・管理計画の決定、泥炭地生態系保護・管理計画の変更、監視・評価、資金調達に関すること。
環境・林業大臣令 No. SK. 246/Menlhk/Setjen/Kum. 1/6/2020	泥炭生態系の機能を保全し、泥炭生態系の破壊を防止するための国家泥炭地生態系保護管理計画で、30年（2020年～2049年）の期間内に計画的かつ統合的に実施されるものについて。
環境・林業大臣令第2/2021号	2021年度の泥炭再生活動における7知事への環境・林業分野の一部行政事務の割り当てについて。

2.1.3.2 泥炭地回復庁（BRG）／マングローブ・泥炭地回復庁（BRGM）

泥炭地回復庁（BRG）は2016年にインドネシア共和国大統領規則 No. 1/2016により、大統領の下に設立された機関である。BRGは、リアウ州、ジャンビ州、スマトラ州南、西カリマンタン州、中央カリマンタン州、南カリマンタン州、パプア州の泥炭地回復作業地域における泥炭地復元実施の加速とコミュニティ福祉の改善努力を促進する。

2020年には、インドネシア共和国大統領規則 No. 120/2020により、泥炭地修復庁（BRG）は泥炭地・マングローブ回復庁（BRGM）となり、BRGと同じ任務に加えてマングローブの修復のため

²⁷ 出典：環境・林業省、2021年

の任務が加わった。2021年から2024年までのBRGMの任務は、120万ヘクタールの泥炭地の修復を継続することと、劣化したマングローブを60万ヘクタール修復することである。

BRGMは、泥炭地の修復の実施、泥炭地の修復の計画・管理・評価、泥炭地とその周辺の最湿地化インフラの建設・運営・維持、泥炭地の修復に伴うコミュニティの組織強化、泥炭地の修復の社会化と教育、泥炭地における人々の生活の向上の実施、行政支援の提供などの機能を果たしている。

泥炭地の管理・保護活動において、BRGMは、表2.1.3.2に示すようないくつかの政令を出している。

表2.1.3.2 泥炭地の管理・保護に関する泥炭地回復庁令²⁸

決 定	概 要
泥炭地回復庁長官令No. P. 1/BRG-KB/2017	地方公共団体又は地域社会に対する政府支援の配分に関する技術指針について 地方公共団体又は地域社会に対する泥炭地の再湿地化インフラを含む泥炭地回復庁の範囲について
泥炭地回復庁長官令 No. SK. 15/BRG/KPTS/2018	泥炭地回復庁の主なパフォーマンス指標について：計画と協力、劣化した泥炭地の修復、教育、アウトリーチ、参加、パートナーシップ、研究開発、泥炭地の修復管理と運営の支援等。
泥炭地回復庁長官令 No. SK. 17/BRG/KPTS/2018	泥炭地回復情報・監視システムについて：計画の実施、泥炭地クリアランスインフラの開発、参加、パートナーシップ、研究開発の監視、「泥炭地水監視システム」による泥炭地の水位などの指標の監視を行う「泥炭地生態系回復監視システム」の構築について

2.1.3.3 農業省

泥炭地の管理と保護に関連する農業省令を下記に示す。

表2.1.3.3 泥炭地の管理と保護に関する農業省令²⁹

政策体系	概要
農業大臣令 No. 09/Permentan/OT. 140/3/2006	湿地農業研究センターの組織と作業手順について：湿地農業研究センターは農業のための湿地研究を任務とする。
農業大臣令 14/Permentan/PL. 110/2/2009	アブラヤシ栽培のための泥炭地の利用に関する規制の範囲が含まれている。泥炭地の基準、利用方法、指導・監督について。
農業大臣令 No. 81/Permentan/OT. 140/8/2013	持続可能な食料農地の機能移転の手続きの技術指針について。泥炭地の転換の申請者は、土地所有者が要求する代替地が法令に基づいて履行された後に、泥炭地の転換を行うことができる。
農業大臣令 No. 40. 1/Permentan/RC. 010/10/2018	2019年の農家の福祉を目的とした泥炭地保全プログラムのガイドラインについて
農業大臣令 03/Kpts/RC. 210/B/02/2019	2019年度のSERASI (Selamatkan Rawa Sejahterakan Petani / Save the Swamp Prosper the Farmers) 活動を支援するための泥炭地最適化の技術ガイドラインについて。土地最適化活動の目的は、泥炭地の水管理と土地管理を改善することで、泥炭地の機能を生産性の高い農地に最適化し、それによって作付指数 (IP) 及び／または生産性を向上させることであるとしている。

2.1.4 州政府の体制及び取り組み状況

インドネシア共和国環境林業大臣令 P. 8/MENLHK/Setjen/KUM. 1/2/2020 に基づき、泥炭地回復活動のために、広大な泥炭地を持つ7州の知事に環境林業部門の一部の政務を割り当てられてお

²⁸ 出典：BRGM、2021年

²⁹ 出典：インドネシア会計検査院 JDIH(法的情報・文書ネットワーク)、2021年

り、知事は地域の泥炭地回復促進活動の実施を支援し、地域の泥炭地回復庁の義務と機能の実施を支援する地域泥炭地回復チームを編成する任務がある。泥炭保全の重点7州に含まれるのは、リアウ州、ジャンビ州、南スマトラ州、西カリマンタン州、中央カリマンタン州、南カリマンタン州、パプア州である。

重点7州では、温室効果ガスの削減、森林火災の制御、森林伐採の規制、違反があった場合の制裁に関連する法制度などの取り組みも行われており、下記のような取り組みが行われている。

表2.1.4.1 州政府令の概要³⁰

州	政令	概要
ジャンビ	ジャンビ州知事令 No. 36/2012	ジャンビ州の温室効果ガス排出削減のための地域行動計画について：「泥炭地の温室効果ガス排出削減のための地域行動計画のための政策と戦略」を含む。
	ジャンビ州規則No. 2/2016	森林・土地火災の予防と制御に関して、以下の内容が含まれる。森林・土地火災の予防、森林・土地火災の抑制、地域社会の参加、資金調達、調査、行政の監督と制裁、刑事上の規定。
	ジャンビ州知事令 No. 31/2016	森林と土地の火災の予防と制御に関して、以下の内容が含まれる。森林・土地火災対策本部の義務、権限、責任の確立」「森林・土地火災の予防と制御のための十分な施設とインフラ」「森林・土地火災の状況を判断するための基準と手順」「コミュニティの参加」。
	ジャンビ州規則 No. 6/2017	環境保護・管理について
	ジャンビ州規則 No. 1/2020	泥炭地のガバナンスについて
南スマトラ	南スマトラ州知事令 No. 68/2018	州内の泥炭地生態系管理機関の義務、権限、責任を明確にするための「泥炭地生態系の制度的保護と管理」について
	南スマトラ州知事令 No. 69/2018	泥炭地の生態系の保護と管理におけるコミュニティのエンパワーメントについて：泥炭地の保護と管理の取り組みを支援するための知識、態度、行動、能力、意識を高め、コミュニティの自立と福祉を発展させる。
	南スマトラ州知事令 No. 70/2018	より公平で責任ある泥炭地再生管理の枠組みの中で、関係者の参加を増やすための取り組みとして、「泥炭地生態系の保護及び管理におけるインセンティブ及びディスインセンティブの提供に関する事項」を策定。
	南スマトラ州知事令 71/2018	「泥炭地の生態系保護と管理における協力のパターンについて」は、利害関係者が州政府と協力するための能力を開発し、アクセスを提供するための取り組みにおけるガイドラインまたは参考資料として活用されている。
	南スマトラ州知事令第554号/KPTS/DLHP/2018年	泥炭地の生態系の保護と管理のための制度設計開発チームについて
	南スマトラ州知事令第555号/KPTS/DLHP/2018年	Peatland Ecosystems Protection and ManagementにおけるCommunity Empowermentを起草するためのチームの結成について。
	南スマトラ州知事令第556号/KPTS/DLHP/2018年	泥炭地の生態系の保護と管理のためのインセンティブを起草するためのチームの結成について。
	南スマトラ州知事令第573号/KPTS/DLHP/2018年	泥炭地の生態系の保護と管理のための協力計画を起草するためのチームについて。
	南スマトラ州規則 No. 1/2018	泥炭地の生態系の保護と管理について
リアウ	リアウ州規則 No. 12/2017	2005年から2025年までのリアウ州の長期地域開発計画に関する地域規則2009年第9号の修正について
	リアウ州規則 No. 1/2019	森林・土地の防火管理に関する技術指針について
西カリマンタン	西カリマンタン州規則 No. 4/2012	鉱山事業用地と他セクターの事業用地との同期化について
	西カリマンタン州規則 No. 6/2018	持続可能な土地利用型ビジネス経営について

³⁰ 出典：インドネシア会計検査院 JDIH(法的情報・文書ネットワーク) 2021

州	政令	概要
	西カリマンタン州知事令 No. 103/2020	地域の知恵を活かした農地の開拓について
中央カリマンタン	中央カリマンタン州知事令 No. 15/2010	中央カリマンタンのコミュニティのための土地開拓のガイドラインについて：制御された燃焼によって土地を開拓する者は、Regent/Mayorの許可を得なければならないこと。
	中央カリマンタン州知事令 no. 36/2012	温室効果ガス排出量の分析、泥炭地における温室効果ガス排出量削減のための地域行動計画の実施に関する戦略を含む、中央カリマンタン州における温室効果ガス排出量削減のための地域行動計画について。
	中央カリマンタン州プラン・ピサウ県規則 No. 1/2019	2019年～2039年のPulang Pisau Regency Spatial Planについて：保護された森林と泥炭地の保護地域の管理について。
	中央カリマンタン州規則 No. 1/2020	陸上火災対策について
南カリマンタン	南カリマンタン、Hulu Sungai Utaraのリージェントの決定 No. 188. 45/228/KUM/2019	2019年のHulu Sungai Utara Regencyの泥炭地生態系に基づくアグロミナポリヤン地域の農村開発のための調整チームの結成について。
	南カリマンタン州規則 No. 7/2017	クリティカルランドのリハビリテーションについて
	南カリマンタン州規則 No. 2/2013	持続可能な植林活動について
	南カリマンタン州バリト・クアラ・リージェンシーの地域規則 No. 3/2019	森林火災の制御及び予防について
西パプア	西パプア州知事令 No. 10/2019	西パプアの森林火災管理システムについて

2.1.5 現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況

2.1.5.1 政府による取り組み

泥炭地は、インドネシアの3つの大きな島、スマトラ島、カリマンタン島、パプア島に特に広がっている。インドネシアの省庁や国家機関など中央政府が行っている泥炭地の管理・保護のための取り組みを以下に紹介する。

表2.1.5.1 省庁・国家機関による現場レベルの泥炭地管理・保全の状況³¹

省/機関	パートナー	期間	プロジェクトと目標	実施州	状況
環境林業省 (KLHK) ^a	ドイツ国際協力 機構 (GIZ)	2020年6月～ 2021年12月	Propeatプロジェクトは、泥炭地や湿地の生態系における、より生態学的に持続可能な土地管理を目的とする。この技術活動の実施の達成度を示す指標は、「泥炭地生態系の保護と持続可能な管理のための計画」の策定、少なくとも既存の研究結果からまとめられたバックアップと利用に関するガイドラインの作成である。ガイドラインは、統合的な土地利用に関するもので、現場で実施する際の参考となるもの。その他の達成指標としては、木材や非木材のために泥炭地を持続的かつ統合的に管理した3つの経験が挙げられる。さらに、北カリマンタンの泥炭地を対象とした5つの社会林業計画をすすめる、森林管理ユニットなど3つの林業機関を強化するとともに、持続可能で統合的な泥炭地利用の計画・実施プロセスにおけるジェンダー主流化ガイドラインの実施を目指している。	北カリマンタン	完了
		2009年～現在	環境品質指数の測定（泥炭土と鉱物土）。80の河川で2020年の達成率が53.53%の水質指数、500の地区で達成率が87.21%の大気質指数、59.54%の土地被覆品質指数と土地品質指数。	インドネシア	進行中
	BRGM	2015年～現在	泥炭生態系の修復（2015年～2020年）。泥炭地の湿潤化 397万ha、コミュニティの土地での運河の遮断：1,308ユニット、コンセッションの土地での運河の遮断：29,260ユニット、コミュニティの土地の回復。46,554.7ha、コンセッション地の回復。3,643,799.26ha；泥炭の村。127村、KHGインベントリー：207KHG	北スマトラ、南スマトラ、中央カリマンタン、パプア	進行中
		2020年～現在	4つの目標を掲げた泥炭地での食糧文明の創造：森林地域から食糧のための土地を提供すること、泥炭ドームとパルディカルチャー（再湿地化した泥炭地における農業や林業）の適用を研究すること、泥炭生態系を復元し、泥炭地での食糧栽培のための農場を開発すること、泥炭地の主要な野生生物の生存を保証するために動物の回廊を配置すること、食糧貯蔵地域、生産的な経済活動に対するコミュニティの能力と介入を高めること。	北スマトラ、南スマトラ、中央カリマンタン、パプア	進行中
	Bappenas, KATR, PUPR, Kemendagri, 地 方政府	2016年～現在	泥炭生態系保護・管理計画（RPPEG）は、泥炭生態系を管理する上での是正措置である。RPPEG は、良好な泥炭生態系管理により、泥炭生態系へのダメージを防ぐことができると期待されている。泥炭生態系の保護・管理を、長期開発計画（RPJP）、中期開発計画（RPJM）、地域空間計画（RTRW）、レベル林業計画国家（RKTN）などの他の様々な開発計画や、中央・地域レベルの他の戦略的・部門的計画と、体系的・調和的・相乗的に実施するよう指示している。	インドネシア	進行中
泥炭地回復庁 (BRG) / マン グローブ・泥炭	KLHK	2017-現在	ピート・ケアリング・ビレッジ・プログラム（DPG）。支援に成功したDPGの数は計640DPGで、リアウ州153DPG、南スマトラ州88DPG、西カリマンタン州109DPG、南カリマンタン州38DPG、ジャンビ州53DPG、中央カリマンタン州181DPG、パプア州	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリ	進行中

³¹ 出典：(a) 環境林業省、2020b、2021b、2021c、(b) BRG、2020、(c) Balittra、2021、(d) BBSLDP、2017、2018、2019、(e) PUPR、2021

省/機関	パートナー	期間	プロジェクトと目標	実施州	状況
地回復庁 (BRGM) ^b			18DPG。 全村の泥炭地面積は460万haで、内訳は耕作泥炭地面積622,876ha、水路のない泥炭地1,701,663ha、水路のある保護泥炭地1,671,441ha、火災跡地（2015-2017）面積640,173ha、未定義8,487haとなっている。 泥炭地回復目標に含まれる泥炭地の面積は、伐採許可地772,772ha、無許可地518,950 ha、保全地136,723 haの合計140万ha。	マントラン、南カリマ ンタン、パプア	
		2017-現在	2017年末に開始された「泥炭地農家のフィールドスクール」（SLPG）は、2018年から広く展開され、現在1,455校ある。このプログラムの目的は、農民や農民グループに、有機肥料、土壌改良剤、自然農薬の作り方を実践するための知識を提供するとともに、農民グループの組織構築能力を育成することである。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ ンタン、パプア	進行中
		2017-現在	燃やさない泥炭地管理（PLTB）や環境にやさしい自然農業の方法を、農家や研究者の様々な工夫から収集し、SLPGで開発する。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ ンタン、パプア	進行中
		2017-2020	インドネシア・イスラム学者評議会、国家農業開発庁、ナフラトゥル・ウラマ、ムハマディヤ中央指導部、インドネシア教会連盟との協力により、548人のデーアイ幹部と130人の牧師が泥炭地に関心を持つようになった。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ ンタン、パプア	完了
		2016年～現在	乾燥泥炭地の湿地化は、6,947個の運河ブロック、427個の運河堤防、15,594個の掘削井戸を建設することによって行われる。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ ンタン、パプア	進行中
		2016-現在	泥炭地、特に火災焼失した地域に様々な適切な植物を植えることで緑化を行う。現在（2016-2020年）、30の緑化パッケージがあり、その総面積は1,709.35ヘクタールに及ぶ。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ ンタン、パプア	進行中
		2016-現在	コミュニティ経済の向上のために、コミュニティの生計手段を再活性化させる活動。活性化には、土地を利用したもの、水や漁業資源を利用したもの、環境サービスを利用したものの3つの活動がある。このプログラムは、食料安全保障を向上させるための国のプログラムと一致している。	リアウ、ジャンビ、 南スマトラ、西カリ マントラン、中央カリ マントラン、南カリマ	進行中

省/機関	パートナー	期間	プロジェクトと目標	実施州	状況
				ンタン、パプア	
		2016-2020	デモファーム (Demfarm) は、泥炭の厚さが3メートル以下の火災跡地や、泥炭地の耕作可能地にある。当初、この土地は火災の影響を受けやすいため、コミュニティでは利用されていなかった。デモファームの開発では、新たな泥炭地を開拓するのではなく、既存の水田を活性化させる。農業が泥炭地の生態系にダメージを与えないように、水システムの改善が行われている。	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン、南カリマンタン、パプア	進行中
		2016-2020	より詳細なデータや情報を得るために、5つの州にまたがる8つの泥炭地水文単位 (KHG) で、LiDARを用いたマッピングが行われた。この詳細情報には、泥炭地の修復計画を実施する際に使用できる、現場の物理的条件、土地被覆、地形・水文条件などが含まれる。	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン	完了
	BPPT、BMKG、LIPI、FAO、UNDP、UNOPS、WRIインドネシア、そしてパートナーシップ。	2016-現在	泥炭地生態系修復情報システム (PRIMS) は、インドネシアの泥炭地の状態や、BRGや修復パートナーが実施した泥炭地の修復の進捗状況などの情報を空間的に提供するオンラインプラットフォーム。PRIMSのモニタリングページは、 https://prims.brg.go.id 、BRG情報システム (SISFO BRG) のモバイルアプリケーションからアクセスできる。	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン、南カリマンタン、パプア	進行中
	BPPTと北海道大学	2016-現在	泥炭地水位モニタリングシステム (SIPALAGA) をリアルタイムで使用している。2016年から2020年までに、BRG作業地域の7つの州に154台の地下水位監視装置が設置された。リアウ州 (52台)、ジャンビ州 (16台)、南スマトラ州 (14台)、西カリマンタン州 (20台)、中央カリマンタン州 (41台)、南カリマンタン州 (9台)、パプア州 (2台)。SIPALAGA のページは https://sipalaga.brg.go.id からアクセスできる。	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン、南カリマンタン、パプア	進行中
		2016-現在	SEPAL (System for Earth Observation Data Access, Processing & Analysis for Monitoring) は、土壌水分モニタリングシステムをベースとしたほぼリアルタイムのリモートセンシングで、5～10日ごとに更新される。リモートセンシングに基づいて、SEPALは7つの州の土壌水分を監視することができる。SEPALはFAOと協力している。これら2つのシステム (SIPALAGAとSEPAL) を統合することで、土壌水分のモニタリング結果と地下水位の間に関係があることがわかった。泥炭の土壌水分をモニタリングすることは、修復の効果を測る指標として、また火災の危険性を早期に警告する指標として重要である。衛星画像による土壌水分の予測にSEPALを使用する場合、水位モニター (SIPALAGA) を適用すると、より正確となる。SIPALAGA-SEPALガイドは、正確かつ迅速に土壌水分を読み取り、広い範囲をカバーすることができる。	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン、南カリマンタン、パプア	進行中

省/機関	パートナー	期間	プロジェクトと目標	実施州	状況
農業省 ^o (湿地農業研究会)。	-	2019-2020	唐辛子とエシャロットのための環境に優しい統合泥炭地管理モデル。本研究は、これまでの研究(2017年、2018年)から、唐辛子とエシャロットのための環境に優しい統合的泥炭地管理モデルを検証することを目的としている。先行研究の結果から得られた成果や提言を実施する形で研究を進めている。	カリマンタン	完了
	-	2019	南カリマンタンにおける湿地タイプマップの検証。この地図には、土地の累計区分、オーバーフローのタイプ、浸水のタイプなど、湿地の特徴に関する情報が含まれている。利用可能な湿地類型図は、一般的に縮尺が大きく(1:250,000)、一部の地区ではより小さい縮尺や操作用の縮尺(1:50,000)があるが、特定の目的や特別な用途のためのものである。この研究活動は、実際の土地資源に関するデータや情報を再定義することで、地形や水文学に基づいた湿地のマッピングの手順や方法論を開発することを目的としている。この地図更新活動の主な成果は、南カリマンタンの13地区で更新された、潮の満ち引きのタイプと低地のタイプに基づく湿地の地図である。この更新地図では、干潮時と低潮時、潮越タイプと低地タイプの間で沼地の境界にいくつかの変化や移動が見られるため、干潮時と低潮時の各沼地類型の面積に補正を表示している。	南カリマンタン	完了
農業省 (インドネシア農地資源研究開発センター)	LAPAN	2017-2019	インドネシアの泥炭地マッピング2017年、2018年、2019年の各年度において、インドネシア農地資源研究開発センター(ICALRRD / BBSDLP)の研究チームは、研究活動「Identification of Peatlands Supports One Map Policy(泥炭地の特定がワンマップ政策を支える)」のために、現地で泥炭地を特定し、その特徴を明らかにしてきました。本研究は、ワンマップ政策を支援するために、地区/都市エリアに基づいた1:50,000スケールの泥炭地分布図の形で、地理空間データ/情報を提供することを目的としている。	インドネシア	完了
公共事業・国民住宅省 (PUPR) ^o	BRG	2015	2015年に発生した森林・土地火災による被害地回復や泥炭の水文学的機能回復を加速させる取り組みとしての泥炭復元の加速	リアウ、ジャンビ、南スマトラ、西カリマンタン、中央カリマンタン、南カリマンタン、パプア	完了
		2016年～現在	インドネシアの泥炭湿地における農業開発のための水管理。洪水、干ばつ、火災、温室効果ガス(GHG)の排出、生物多様性や経済的価値の損失を抑制する、持続可能な泥炭管理の実施を目指している。	インドネシア	進行中

2.1.5.2 コンセSSION地域における泥炭生態系の回復

コンセSSION保有者は、コンセSSION地域の泥炭生態系の復元、水位監視ポイント（手動または自動で水深を測定する場所）の設置、降雨モニタリングステーションの設置、運河の遮断（放水路の有無を問わず）、水門や貯水池の設置、固有の植物種の植栽によるリハビリテーション、自然遷移の再導入などを求められることがある。水位監視点の設置や監視点での水深の測定に関する規則は、環境林業省が定めている。2019年12月現在、産業植林やアブラヤシプランテーションによる泥炭生態系の修復は、以下の表のように行われている。

表 2.1.5.2 産業植林地とアブラヤシプランテーションによる泥炭生態系の回復³²

	産業植林	アブラヤシプランテーション
企業数	68 企業	212 企業
RPEG を作成した企業数	59 企業	202 企業
コンセSSIONエリア内泥炭生態系		
・保護すべき泥炭 (FLEG)	1,303,133.3 ha	599,912.68 ha
・耕作可能な泥炭 (FBEG)	923,646.64 ha	647,995.10 ha
影響を受ける泥炭水文単位 (KHG) 数	87 KHG	170 KHG
ブロックする運河の数(2017 - 2026)	8,180	19,709
水位遵守ポイントの数 (TPTMAT)	5,071	4,507
設置されるデータロガー装置の数	597	515
構築される降雨モニタリングステーションの数	265	530
リハビリテーションエリア:		
・植生のリハビリテーション	4,438.70 ha	
・植栽と自然遷移の再導入	306,112 ha	

2.1.6 泥炭地の環境に係る基礎情報

2.1.6.1 泥炭地の分布・面積

インドネシアの泥炭地は、2つの川の間や川と海の間で発達し、中央部ほど泥炭の厚いドーム構造が発達している。特にスマトラ島の北側、カリマンタン島の南側、パプアの西端に広がっている。

表 2.1.6.1 島ごとの深度別の泥炭地面積 (ha) 2019 年³³

島／深度	D1 50 - 100cm	D2 100-200cm	D3 200-300cm	D4 300-500cm	D5 500-700cm	D6 >700 cm	Total (ha)
Sumatera	660,011	1,352,069	1,016,955	1,494,099	782,590	544,838	5,850,561
Kalimantan	672,525	1,332,268	1,199,923	789,175	507,398	42,072	4,543,362
Sulawesi	2,606	11,885	8,506	1,687	99	-	24,783
Papua	1,831,405	740,690	395,740	39,312	4,664	-	3,011,811
Total	3,166,547	3,436,912	2,621,124	2,324,273	1,294,751	586,910	13,430,517

³² 出典: KLHK, 2019 in The State of Indonesia Forest, 2020a

³³ 出典: Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed mapping, extent and depth distribution assessment, 2021.

インドネシア政府は、持続可能な土地管理のために、2つの川の間、川と海の間、及び/または沼地に位置する泥炭生態系である泥炭水文単位（KHG）を設定している（政令 No. 71, 2014）。全国泥炭生態系機能マップの決定に関する環境林業大臣令 No. SK. 130/MENLHK/SETJEN/PKL. 0/2/2017に基づき、インドネシアには総面積 24,667,804ha の 865 の泥炭水文単位（KHG）があり、泥炭生態系保護機能 12,398,482 ha と、泥炭生態系涵養機能 12,268,321ha に分けられている。

表 2.1.6.2 泥炭水文単位（KHG）の泥炭生態系機能別面積（ha）³⁴

島	KHG 数	保護機能面積	涵養機能面積	小計
Sumatera	207	4,985,913	4,618,616	9,604,529
Kalimantan	190	4,094,203	4,310,614	8,404,818
Sulawesi	3	28,305	34,985	63,290
Papua	465	3,290,061	3,305,106	6,595,167
Indonesia 計	865	12,398,482	12,269,321	24,667,804

2.1.6.2 劣化した泥炭地

2018 年、環境林業省は劣化した泥炭地の範囲を決定し、その回復を促進するための活動を開始した。国内の泥炭地生態系のほぼ全てに当たる約 2,396 万ヘクタールが劣化していると言える。

表 2.1.6.3 劣化の程度ごとの泥炭面積（ha）³⁵

劣化度 州	被害なし	軽度	中度	重度	非常に重度	計（ha）
Sumatera	34,261	6,917,767	1,617,199	574,762	16,124	9,160,113
Kalimantan	52,883	7,402,969	762,219	165,449	7,411	8,390,931
Sulawesi	268	42,411	14,908	2,573	0	60,160
Papua	93,730	6,405,442	23,274	2,939	80	6,525,465
計（ha）	18,142	20,768,589	2,417,600	745,723	23,615	24,136,669

環境林業省の決定第 130/Menlhk/Setjen/PKL. 0/2/2017 「全国泥炭生態系機能マップの決定（Fungsi Ekosistem Gambut, FEG）」政府によって、2,492,527 ヘクタールの泥炭生態系が、2020 年までの修復対象となっている。これには、保護区（Fungsi Lindung Ekosistem Gambut, FLEG）の 684,638 ヘクタール、許可育成区（Fungsi Budidaya Ekosistem Gambut, FBEG）の 1,410,943 ヘクタール、コミュニティ育成区（FBEG にもある）の 396,943 ヘクタールが含まれる。産業地の泥炭生態系の復元は、泥炭生態系復元計画を起草して行われる。コミュニティ栽培ゾーンの修復は、コミュニティの独自プログラムによって行われる。

2.1.6.3 泥炭マッピング

PRIMS (Pranata Informasi Restorasi Ekosistem):Ecosystem Restoration Information System のサイト (<https://en.primis.brg.go.id/map>) に、泥炭に関する地図、情報がまとめられており、GIS 情報を選択して表示することができる。情報内容は、準備中のものを含め 25 種（泥炭地の分布、泥炭深度、泥炭地内の運河、森林、コンセプションエリア、復旧の方向性、実施済みの修復建設、実施済みの復旧作業、非建設作業、研究プロット、泥炭復元の実施部隊、焼け跡面積、

³⁴ 出典：Source: Ministry of Environment and Forestry, 2017a

³⁵ 出典：The State of Indonesia Forest, 2020

森林被覆の減少、ホットスポット、火災危険度評価、植生水分指数-獲得量と喪失量、地下水位、土壌水分量、河川等）がある。

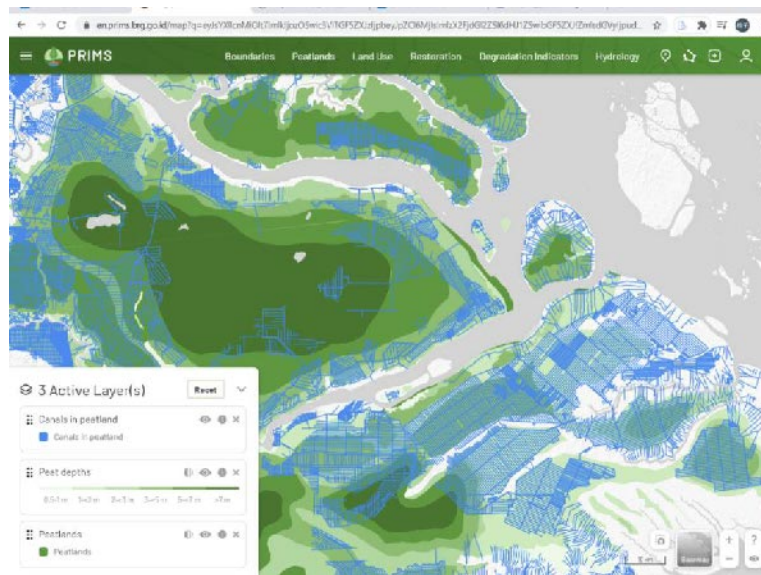


図 2.1.6.1 PRIMS で泥炭分布・泥炭深度・運河を表示した例³⁶
 〈注記〉：以降特段の脚注が無い限り図表は持続的な泥炭地管理及び
 保全協力に係る情報収集・確認調査団の作成による。

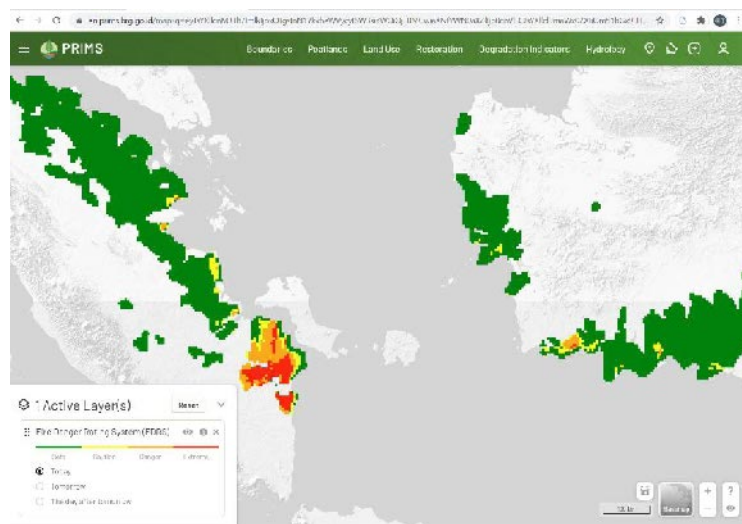


図 2.1.6.2 PRIMS で火災危険度を表示した例

泥炭地の複雑な環境条件は、アクセス可能ないくつかのウェブ GIS 及びデータの情報の形で提示されている。BRGM、ICALRRD、ESDM、Indonesian Geospatial Portal、BMKG、WRI などの中央政府が提供している情報の一部を以下に紹介する。

³⁶ 出典：持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認調査団 作成

表2.1.6.4 インドネシアの泥炭地の自然環境情報に関するデータ・地図・Web GIS情報

No.	マップ	機関	ソース/コンタクト	タイプ
1.	泥炭水文単位（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
2.	泥炭地の生態系機能	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
3.	泥炭地の分布	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
4.	泥炭地の深さ分布	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
5.	泥炭地の運河	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
6.	森林面積（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
7.	森と泥炭地のモラトリウム（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
8.	コンセッションエリア（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
9.	復元の日安	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
10.	実施済み 復旧工事	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
11.	実施済み 修復 非建設	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
12.	ビートケアビレッジ	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
13.	研究プロット	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
14.	泥炭復元の実行部隊	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
15.	修復・パートナー	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
16.	焼失跡エリア（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
17.	泥炭地における森林被覆の減少（進行中）	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
18.	ホットスポット	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
19.	火災危険度評価システム	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
20.	植生の水分指数 -ゲインとロス	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
21.	地下水位	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
22.	土壌の水分	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
23.	修復インパクト研究	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
24.	水文学のモデリングシナリオ、ベースライン、差異、泥炭の再湿潤化インフラ	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
25.	河川	BRGM	https://en.primis.brg.go.id/map	Web GIS
26.	泥炭地分布図	ICALRRD	pusdatin@pertanian.go.id	ソフトウェア
27.	土壌の分布図	ICALRRD	pusdatin@pertanian.go.id	ソフトウェア
28.	地質図（地盤構造とリトロジー）	ESDM	helpdesk.onemap@esdm.go.id https://onemap.esdm.go.id/map/geologi.html	ソフトウェア
29.	林業マップ	BRGM	tukabad@brg.go.id	ソフトウェア
30.	地形図（シームレスなデジタル標高モデルと全国の水深図）	インドネシア地理空間ポータル	info@big.go.id https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/	ソフトウェア
31.	降雨データ	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア
32.	温度データ最大、最小、平均	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア
33.	平均湿度データ	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア
34.	風速データ。最大値と平均値	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア
35.	風向データ。最速・最大速度時	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア
36.	日照時間データ	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/	ソフトウェア

No.	マップ	機関	ソース/コンタクト	タイプ
37.	コンセSSIONエリアマップ	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS
38.	ホットスポット (VIIRS) マップ	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS
39.	修復・マップ。政府（進行中）	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS
40.	修復用マップ wwf, wii, wri, mca-i, ipb, ugm	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS
41.	修復活動計画	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS
42.	修復活動検証マップ。リアウ州、南カリマンタン州、中央カリマンタン州	WRI	http://www.pantagambut.id/peta-restorasi	Web GIS

2.1.6.4 スマトラ島とカリマンタン島の生態系・土地利用の変化

世界銀行による WAVES プロジェクト (Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands) の報告書、Indonesia: Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands (2019) によれば、カリマンタンとスマトラでは、1990 年から 2015 年までに、泥炭地の 52%が他の土地被覆に転換された。スマトラ島とカリマンタンのアブラヤシ及びパルプ用樹種のプランテーションと農業用地は、1990 年から 2015 年にかけて急激に拡大した。

1990 年にはスマトラの泥炭地の 73%が森林に覆われていたが、2014/2015 年には、森林として残っている泥炭地は 22%であった。

カリマンタンの泥炭地は、1990 年には自然林が約 80%を占めていたが、2014/2015 年までに 32% (1,5Mha) が転換された。2015 年では、スマトラでは、泥炭地の 48%がアブラヤシ及びパルプ用樹種のプランテーション及び農業用地に転換されているが、カリマンタンでは、16%程度しか転換されていない（プランテーション (7%) と農地 (8%)）。そのため、カリマンタンでは土地被覆の変化はまだ続いている。

表 2.1.6.5 MoEFRI の土地被覆データに基づく泥炭地の生態系の変化 (単位: 1000ha) ³⁷

スマトラ島	1990 年	1996 年	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
破壊されていない森林	481	450	378	402	281	225
攪乱された森林	4159	3824	2659	2081	1642	1257
劣化した泥炭地	768	829	1447	1468	1720	1394
裸地	33	96	213	466	355	380
森林プランテーション	7	32	48	262	420	864
多年性作物	378	535	941	1007	1211	1398
カリマンタン島	1990 年	1996 年	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
破壊されていない森林	113	80	68	62	58	50
攪乱された森林	3790	3234	2978	2799	2565	2308

³⁷ 出典: Indonesia: Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands (2019)

劣化した泥炭地	589	1083	1335	1432	1500	1532
裸地	27	44	44	62	94	203
プランテーション林	0	1	0	0	1	300
多年性作物	59	73	83	131	256	336

注：破壊されていない森林：一次林及びしっかり保全されている二次林、攪乱された森林：荒廃した二次林、劣化した泥炭地：ブッシュ（乾燥灌木林）、湿地性灌木林（湿性灌木林）、サバンナ、草地、裸地：木本・草本類の生えていない土地、プランテーション林：主にパルプ材生産用の産業植林やアブラヤシなどのプランテーション、多年性作物：多年生作物を生産する農地、果樹園

プランテーションの面積は 2000 年から劇的に拡大し、2014 年にはスマトラとカリマンタンの泥炭地全体の 22%と 10%を占めた。

表 2.1.6.6 スマトラ・カリマンタンの泥炭地におけるプランテーションの総面積（1000ha）³⁸

	2000 年	2005/6 年	2009/10 年	2014/15 年
スマトラ島	621	1007	1210	1414
カリマンタン	1	131	256	480

表 2.1.6.7 泥炭地からの生産物の変化³⁹

スマトラ島	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
木材生産（1000m ³ ）	1893	1482	1094	777
アブラヤシの生産（1000t）	10389	16837	20242	23635
パルプ用バイオマス生産（1000t）	620	625	627	561
カリマンタン島	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
木材生産（1000m ³ ）	794	741	666	576
アブラヤシの生産（1000t）	14	2185	4282	8022
パルプ用バイオマス生産（1000t）	0	2	24	624

³⁸ 出典：Indonesia: Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands (2019)

³⁹ 出典：Indonesia: Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands (2019)

表 2.1.6.8 泥炭地の炭素ストック・放出量の変化（推定）⁴⁰

スマトラ島	1990 年	1996 年	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
炭素ストック（1000t）	2707	2585	2148	1980	1819	1770
酸化による CO2 排出（1000t）	131	146	178	195	225	272
火災による CO2 排出（1000t）				183	318	286
カリマンタン島	1990 年	1996 年	2000 年	2006 年	2009 年	2014 年
炭素ストック（1000t）	2107	1862	1759	1702	1628	1533
酸化による CO2 排出（1000t）	91	94	95	99	108	115
火災による CO2 排出（1000t）				386	325	324

2.1.7 泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報

2.1.7.1 林業部門の NDC

インドネシアの強化（Enhanced）NDC は、2022 年 10 月に UNFCCC に提出され、2030 年までに温室効果ガスの排出量を、2010 年の BAU 比で、自国のみの努力で 31.89%（無条件）、必要な国際支援を受けた場合 43.20%（条件付）削減するとしている。

2013 年から 2020 年のインドネシアの BAU シナリオで想定される森林減少率は、REDD+のための森林参照排出レベル（FREL）に沿ったもので、森林減少は年間約 92 万 ha としている。インドネシアは年間の森林破壊を平均して 45 万 ha に抑えることを目標としている。2013 年から 4 年間の森林減少は、このレベルに近いものであったが、次の 2 年間はこのレベルを超えていた。6 年間の年間森林減少量は、平均して 1 年あたり 58 万 ha となる。現在後 2021 年～2030 年の 10 年間では、森林減少の平均（BAU）は年間 82 万 ha と予測されている。インドネシアは現在後 10 年間の森林減少率を年平均 32.5 万 ha まで下げることを目指している。

2.1.7.2 温室効果ガス排出量

(1) 全国温室効果ガスインベントリー

1) 全部門の排出量

インドネシアは、図 2.1.7.1 に示すように国の温室効果ガス排出量は年による変動が大きい、泥炭火災と FOLU（森林土地部門：泥炭地分解による排出を含む）が大きな割合を占めている。

2018 年の実排出量は 1.64GtonCO₂e、NDC に基づくベースライン排出量は 1.86GtonCO₂e であるので、ベースラインより排出量は 22600 万 tonCO₂e 削減となっている。

⁴⁰ 出典：Indonesia: Pilot Ecosystem Account for Indonesian Peatlands Sumatera and Kalimantan Islands (2019)

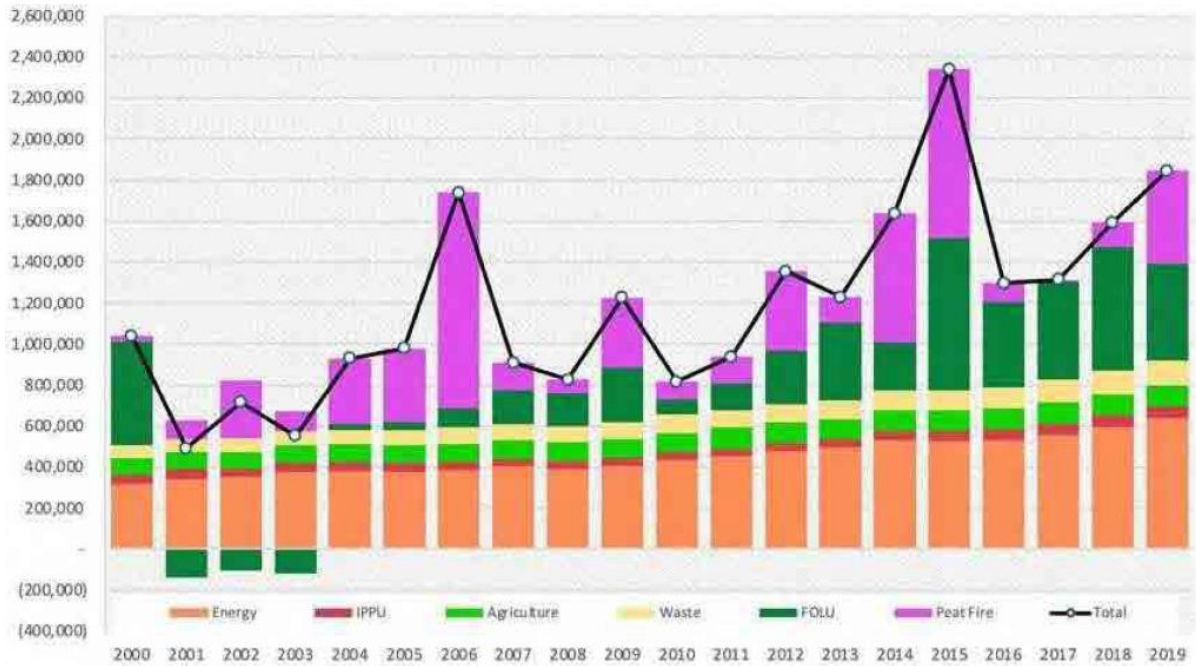


図 2.1.7.1 部門別温室効果ガス排出量の年変化（単位：GgCO₂e）⁴¹

林業部門の排出はエネルギー部門を上回り、農業林業を合わせると総排出量の過半を占める。

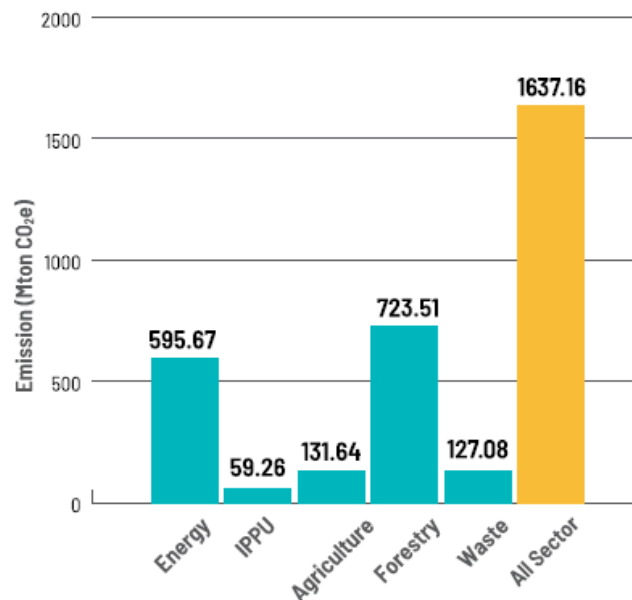


図 2.1.7.2 2018 年の温室効果ガス排出内容⁴²

⁴¹ 出典：IndonesiaBUR3

⁴² 出典：KLHK, 2020

2) 林業部門と泥炭地からの排出量

林業部門と泥炭地からの排出量は、2000 年から 2018 年までの期間、年間平均で 439.8 MtonCO₂e であった。図 2.1.7.3 に示すように、林業部門と泥炭地からの排出量を示している。年による変動が大きい、泥炭地の分解と泥炭火災からの排出が過半を占めている。

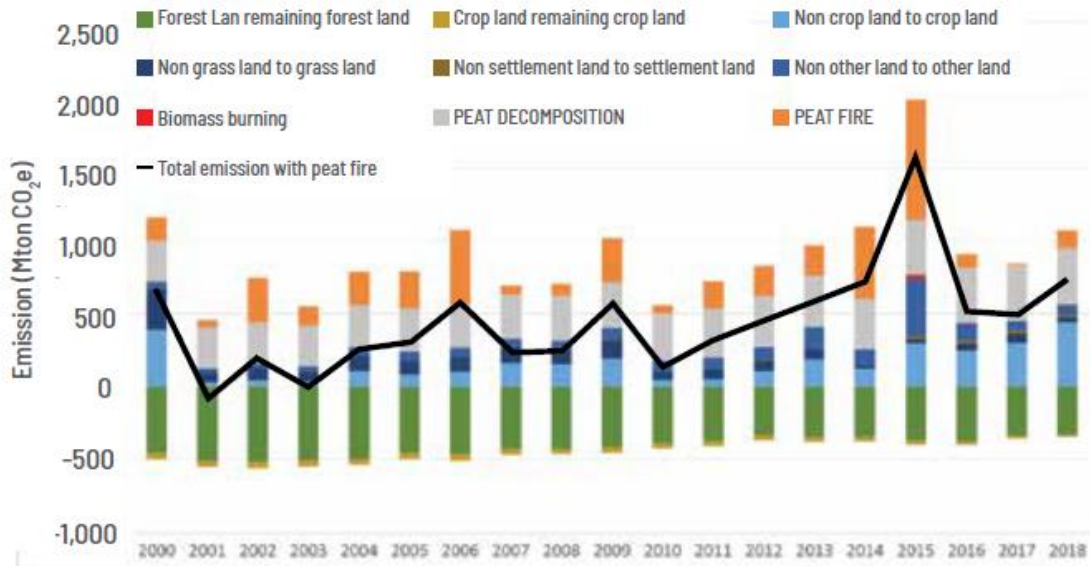


図 2.1.7.3 林業部門と泥炭地の排出量⁴³

泥炭火災による排出量は、年による変動が大きい、2015 年は 822.7 MtonCO₂e、2016 年は 90.27 MtonCO₂e、2017 年は 12.5 MtonCO₂e、2018 年は 121.32Mton CO₂e であった。(図 2.2.7 参照)

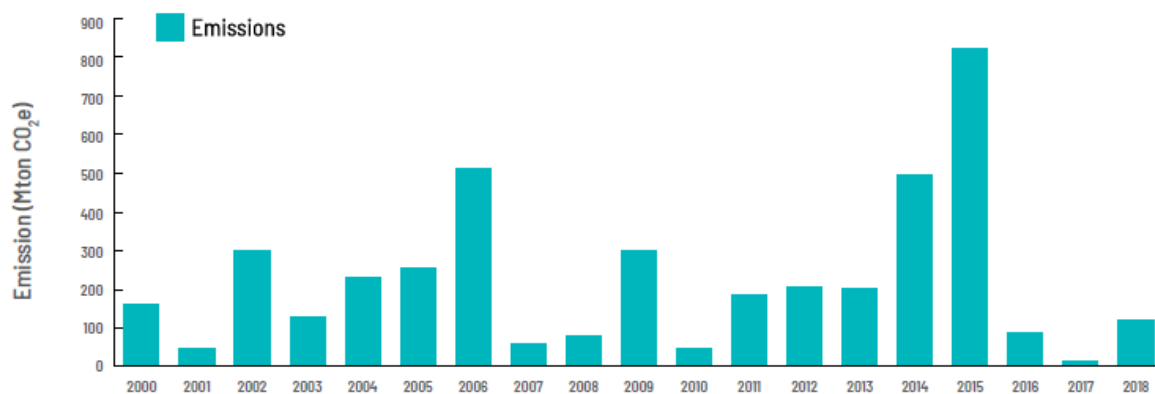


図 2.1.7.4 泥炭火災による GHG 排出⁴⁴

NDC 目標に対しては、表 2.1.7.1 に示すように、2010 年以降おおむね目標を達成してきたが、2015 年は大規模な泥炭火災により目標を達成できなかった。

⁴³ 出典：KLHK 2020

⁴⁴ 出典：KLHK, 2020d

表 2.1.7.1 NDC 目標に対する GHG 排出削減量（全部門）⁴⁵

年	GHG排出量 (Mton CO ₂ e)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ベースライン (BAU)	1,334	1,520	1,569	1,611	1,671	1,702	1,769	1,860	1,863
インベントリー	810	1,054	1,245	1,331	1,509	2,374	1,336	1,354	1,637
年間排出削減量	524	466	325	280	162	-672	433	507	226
2030NDC貢献度(%)	18.22	16.20	11.29	9.73	5.63	-23.37	15.07	17.62	7.85

表 2.1.7.2 林業部門の GHG インベントリと BAU との比較（単位：Mton CO₂e）⁴⁶

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
インベントリ (実排出)	124.73	311.44	456.49	582.82	714.71	1,565.58	507.65	488.52	723.51
ベースライン (BAU)	646.55	769.25	770.84	767.69	766.42	765.09	763.70	801.26	760.76
年間排出削減量	521.82	457.81	314.35	184.87	51.71	-800.49	256.05	312.74	37.25
2030年NDCへの貢献度(%)	18.06	15.84	10.88	6.40	1.79	-27.70	8.86	10.82	1.29

2.1.8 泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況

JICA-JST による地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)「泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト (以下 JICA-JST SATREPS プロジェクト)」が、2009 年～2014 年 3 月までの間、インドネシア国中央カリマンタン州を対象地として実施され、特に炭素蓄積量の多い泥炭地の炭素管理に係る研究、技術開発に成果を得た。その成果の一つとして、二酸化炭素放出量に関しては、平野ほか (2016) は、泥炭分解に伴う年間 CO₂ 排出量と地下水位との関係 (平野モデル) を示した。ここでは、攪乱の有無に応じた 3 つの泥炭地タイプ (未排水の泥炭林 UF・排水された泥炭林 DF・排水された火災跡地 DB) において、1 年間の正味生態系 CO₂ 交換量 (Net Ecosystem Exchange, NEE)⁴⁷が、地下水位の年間月平均最低値と高い相関関係にあることを示した。この研究成果により、JICA-JST SATREPS プロジェクトを通じて開発したモデルを用いて推定した地下水位の分布から、中央カリマンタン州内の泥炭地における泥炭分解に伴う CO₂ 排出量を推定することが可能となった。

メタン (CH₄) は二酸化炭素に次いで温暖化に強く寄与する温室効果ガスであるが、生態系からの放出量に関する不確実性が大きい (Saunois et al., 2020)。有機物が還元条件で嫌気分解され、最終的にメタン生成菌によって CH₄ が合成される。そのため、生態系における主な発生源は淡水湿地、泥炭地や水田である。熱帯泥炭地は湿地林 (泥炭林) と共存して泥炭を蓄積してきたが、近年、森林伐採や排水をとまなう農地転換が進んでいる。また、熱帯泥炭地からの年間 CH₄ 排出量は、寒帯や温帯、亜熱帯にある湿地からの放出量に比べて少ないことが報告されている (Sakabe et al., 2018)。

地球環境 (2021) では、ボルネオ島の 4 サイト (Sakabe et al., 2018; Wong et al., 2020) とスマトラ島の 2 サイト (Deshmukh et al., 2020) の地下水位と CH₄ 放出量の関係性に注目した。ボルネオ島の 1 サイト (インドネシア中央カリマンタン州, PUF) を除いて、攪乱の程度や地理的分布に関係なく、地下水位によって CH₄ 放出量のサイト間差が説明できる。CH₄ の放出においては、土壌からの放出に加えて、林床部に点在する水たまりやプランテーション内の水路か

⁴⁵ 出典：KLHK, 2020d

⁴⁶ 出典：KLHK, 2020d

⁴⁷ 年間の光合成による CO₂ 吸収と、生態系呼吸 (植物呼吸 + 泥炭の好氣的分解) による CO₂ 放出との差し引き

らの放出、また、泥炭林の樹木の幹から放出される CH₄ も考慮する必要があるとされている (Pangala et al., 2013)。

2.1.9 他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要

インドネシアの泥炭地の保全・管理のために政府を支援している国際機関や組織を以下に紹介する。

1) ドイツ国際協力機構 (GIZ) ドイツ

- a. 2020年6月～2021年12月 北カリマンタンの泥炭地生態系の保護と管理のためのPropeatプロジェクト、環境林業省との共同プロジェクト。ドナー：ドイツ、3,000,000ユーロ

2) 世界資源研究所 (WRI) インドネシア

- a. 2021年8月～2021年10月。泥炭地復元実施Eラーニングモジュール 持続可能な土地利用管理と森林ガバナンスの改善を通じたインドネシアにおける低排出開発の加速化。ドナー：WRI、550,000,000 IDR。
- b. 2020年8月～2021年1月。独立した泥炭地モニタリングのための、泥炭地における持続可能な商品の評価。評価の結果は、泥炭地に優しい商品への需要と投資を増やす目的で、プラットフォーム www.pantaugambut.id に組み込まれる。ドナー：WRI、\$ 25,000。
- c. 2020年7月～2020年12月。2020年7月～2020年12月：パプアにおける泥炭地管理・保護活動のモニタリング。ドナー：WRI、\$ 25,000。

3) グローバル・グリーン・グロース・インスティテュート (GGGI)

- a. 2020年10月～2022年9月30日：グリーン成長プログラム第3期ランドスケープ (GGP3ランドスケープ)。ステークホルダー間のランドスケープ管理の統合と調整を改善し、インドネシアの特定地域で持続可能なランドスケープ管理アプローチを実証する。パートナー：国家開発計画省、財務省、泥炭・マングローブ回復庁、環境基金管理庁、中央カリマンタン、南カリマンタン、東カリマンタン、北カリマンタン、西パプア、パプアの各州政府。ドナー：NICFI (ノルウェー)、\$ 10,000,000。

4) 国際連合 (UN)：国際連合開発計画 (UNDP) /国際連合食糧農業機関 (FAO) 等

- a. 2017年12月～2025年12月。The Strengthening Forest Area Planning and Management in Kalimantan (KalFor) プロジェクト。目的：ボルネオ島中心部 (HoB) において、生物多様性の保全、持続可能な土地利用、GHG排出量の緩和。ドナー：GEF \$ 6,190,000。
- b. 2016年5月～2019年11月：泥炭地回復庁の支援ファシリティ。ドナー：UNDPとノルウェー政府、\$ 12,513,119。
- c. 2016年1月～2021年12月。FAO-EU FLEGT (Forest Law Enforcement, Governance, and Trade) フェーズ 3 プログラム。目的：森林劣化や森林破壊の主要な原因である違法伐採や木材生産を削減する。ドナー：EU、DFID、SIDA、FAO \$ 2,400,000。
- d. 2019年11月～2021年12月。気候行動のためのインドネシアの森林と土地のモニタリングの強化。国家森林インベントリシステム (NFI) の下、リモートセンシングと地上での測定を組み合わせた林業省の森林モニタリングシステム。ドナー：ノルウェー2,080,000米ドル。
- e. 2019年半ば～2021年12月。世界泥炭地イニシアティブ (GPI)。FAOはGPIの創設メンバー。GPIは泥炭地を保護することで温室効果ガス排出を防ぐことを目的に、2016年11月にUNFCCC (COP22) で立ち上げられた。28以上の当局や機関で構成。ドナー：ドイツIKI 約50万米ドル。
- f. 2021年1月～2021年12月。インドネシアに対する UN-REDD 技術支援。ドナー：ノルウェー約 400,000 米ドル

- g. 2018年7月～2020年12月。革新的な泥炭地モニタリングシステムの開発（SEPAL）。泥炭地モニタリングシステムと、温室効果ガス（GHG）排出量の報告のためのプロジェクトレベルの推定値の改善に成功。パートナー：国連プロジェクト・サービス機関（UNOPS）、BRGM。ドナー：UNOPS、1,670,000米ドル。
- h. 2015年12月～2018年10月 森林に依存するコミュニティのための土地保有権の確保。CIFOR（MSP）。目的：土地保有権の保障、生活、持続可能な森林管理を支援する政策やプロジェクトを開発・実施するために十分な知識を得られるようにする。ドナー：GEF信託基金 2,000,000米ドル

5) 国際林業研究センター(CIFOR)

- a. 2021年2月～2026年1月：気候変動に強いランドスケープへの移行（Transitions to Climate Resilient Landscapes）。目的：持続可能な農村生活のための、北方林及び熱帯林の森林火災の削減と緩和。地域における火災やヘイズの社会的・経済的促進要因と影響を正確に推定し、地域の森林火災の削減・軽減計画を策定する。日本の農林水産省及びCIFORの専門家と、ロシア極東及びインドネシアの国内パートナーが参加する学際的な研究チームによって実施。
- b. 2019年4月～2024年6月。Measurable Action for Haze-Free Southeast Asia (MAHFSA) ASECとIFADの共同イニシアティブ。目的：ハザードフリー農業と泥炭地の持続可能な管理を促進するための地域調整プラットフォーム構築。パートナー：ASECとIFAD。
- c. 2021年3月～2023年3月。世界泥炭地イニシアティブ（GPI）。UNEPとCIFORの間の覚書の枠組みの下、泥炭地に関する対話セッションや資料を通じて、GPIパートナーシップを紹介・促進する。パートナー：UNEP。
- d. 2019年8月～2022年12月：インドネシアの泥炭・マングローブ生態系における持続可能な生計を通じた緩和と適応。泥炭地とマングローブの生態系諮問委員会（PME-AC）を設立。
- e. 2020年10月～2022年9月：森林景観ガバナンスに関する東南アジアの大学の研究能力の開発（Developing Research Capacity of Universities in Southeast Asia on Forest Landscape Governance）。パートナー：RECOFTCとSIDA。
- f. 2020年12月～2022年5月：適応統合型緩和のための沿岸景観の回復（ReCLAIM）。目的：気候変動の緩和と適応のためにブルーカーボン生態系の可能性を評価すること、生態系復元による地域社会の生計と栄養上の利益を定量化、知識啓蒙による地方政府と地域社会の適応能力強化。パートナー：デビッド・アンド・ルシル・パッカード財団
- g. 2019年12月～2021年10月：湿地帯におけるGHG会計の精緻化と知識管理を通じたインドネシアの森林基準排出レベル（FREL）の改善。パートナー：ノルウェー外務省(MFA)
- h. 2019年10月～2020年11月。乾燥熱帯地域に焦点を当てた火災管理の支援：景観決定とNDCへの火災の主流化。パートナー：USAID。
- i. 2019年10月～2021年9月。湿地を気候アジェンダに主流化する、A multi-level approach (SWAMP-II)。持続可能な湿地適応・緩和プログラム（SWAMP）とその前身である「気候適応・緩和のための湿地イニシアティブ」プログラムは10年前から実施され、政策コミュニティやその他の意思決定機関に提供するための知識を生み出している。パートナー：USAID（米国国際開発庁）。
- j. 2019年7月～2020年7月。A Participatory Action Research to Community-Based Business Model (CBBM) Development in Selected Integrated Forest and Farming System (IFFS/DMPA) Villages. 統合林業・農業システム（Fire Caring Villages、DMPA）は、2015年12月にパリのCOP15において、アジア・パルプ・アンド・ペーパー

(APP) によって開始された。火災を防ぎ、地域の生活を向上させるための民間企業の取り組み。世界アグロフォレストリーとCIFORは、2018年にAPPと協力して、APPの植林コンセッション内のDMPA村の類型化を行い、優れたDMPAの基準とDMPAを拡大するための方針を策定（フェーズ1）。2019年から2020年のフェーズ2でも継続。リアウ州のDMPA村のビジネスモデル開発に焦点を当てている。

- k. 2019年1月～2020年3月 インドネシアにおける開発のための持続可能な低地農業（SLADI）。ランドスケープ・アプローチを通じて、焼畑技術の代替手段を特定し、零細農家がより持続可能な活動を行うためのインセンティブを特定し、国や地方行政レベルでの土地管理をめぐるガバナンスとインセンティブの改革を提案することを目的としている。パートナー：ICRAF、世界銀行。
- l. 2018年12月～2019年1月：ガンブットプロジェクト。バリト・セラタン州ドゥスン・ヒリルにおける再湿潤化と緑化による火災予防。目的：1) CIFORの科学者とムハマディヤ・パラカラヤ大学（UMP）研究者との間での技術移転と能力開発、2) 劣化した泥炭地の修復活動の支援、3) バイオエネルギー種の研究の発展。パートナー：ムハマディヤ・パラカラヤ大学 と UNOPS
- m. 2018年10月～2019年10月：持続可能な湿地適応・緩和プログラム（SWAMP）2019。共同実施者である米国森林局とCIFORは、炭素と温室効果ガス（熱帯湿地におけるダイナミクス）のデータギャップに対処することで、USAIDのGlobal Climate Change Sustainable Landscapesプログラムの目標に貢献。湿地の管理とモニタリングのための能力を構築。持続可能な湿地管理を支援するツールの開発を促進し、湿地を国家及び国際的な気候変動計画に組み込むのを支援する。パートナー：USAID

6) 国際気候イニシアチブ（IKI）International Climate Initiative

IKI はドイツ連邦環境省（BMU）の助成金により、途上国の気候・生物多様性対策に資金提供。

- a. 2020年1月～2023年12月。インドネシアにおける泥炭地の管理と利害関係者の能力の向上（Peat - IMPACTS Indonesia）。泥炭地管理を広範なランドスケープ管理に統合するための支援。小規模農家を対象にパルディカルチャーの管理に関するスキルトレーニングも実施。得られた教訓を全国的に共有。実施機関：ICRAF、政治的パートナー：KLHK、BRG、BAPPENAS。実施パートナー：FOERDIA、ICALRRD。4,062,457ユーロ。
- b. 2019年4月～2023年5月。インドネシアの泥炭地とマングローブの生態系における保全と持続可能な生活を通じた緩和と適応。西パプアと北スマトラにおける泥炭地とマングローブ生態系の広範な保全と効果的管理を支援。エビ漁、非木材製品、湿地帯の農業利用など、住民の代替生計手段の確立にも貢献。実施団体：コンサベーション・インターナショナル 政治的パートナー：KLHK、海洋水産省、BAPPENAS 実施パートナー：CIFOR、Wetland International。3,967,440ユーロ。
- c. 2018年10月～2021年7月。インドネシアにおける緩和行動のためのモニタリング、報告、検証（MRV）システム。このプロジェクトでは、国やサブナショナルなステークホルダーが既存のPEPツールを新しいソリューションに統合するのを支援することで、政府のシステム開発をサポートする。また、「緩和に関する国家行動計画の事務局」がデータを収集し、データ管理システムを立ち上げることも支援。緩和策の報告に関する国や地方のパートナーの能力開発を強化するとともに、ガイドライン、規制、トレーニング資料、コミュニケーション製品を開発し、対策が幅広い影響を達成するようにしている。実施団体 実施機関：GIZ GmbH。政治的パートナー：BAPPENAS 実施パートナー：KLHK、BAPPENAS、ICRAF。€1,960,000。

- d. 2018年2月～2023年6月。The Global Peatlands Initiative (GPI 世界泥炭地イニシアティブ)。GPIは、世界中の泥炭地の状態と、地球の炭素循環の中で泥炭地が果たす役割の分析を目的としている。また、研究者、政策立案者、その他の利害関係者のネットワーク化を促進。実施機関：国連環境計画 政治的パートナー：KLHK及びBRG、実施パートナー：FAO。1,999,567ユーロ。
- e. 2018年6月～2024年1月。持続可能な泥炭地管理に関する地域の経験の強化 (ASEAN - REPEAT)。持続可能な泥炭地管理に成功したアプローチに資金を提供し、これらを地域的に拡大するもの。このプロジェクトでは、インドネシアとマレーシアのパイロット地域におけるアプローチを、その有効性と財政的な実行可能性の観点から評価し、具体的な融資スキーム、ビジネスモデル、財政政策の提言をしている。政治的パートナー：ASEAN 実施パートナー：ASEAN事務局、KLHK。4,000,000ユーロ。

7) ノルウェー国際気候・森林イニシアチブ (NICFI)

- a. 2019年5月～2023年5月。東部インドネシア森林ファシリティ。目的：東部インドネシアにおける生物多様性、森林の生態系サービス、先住民や森林に依存する人々・コミュニティの人権を守る。助成金：最大132,910,000ノルウェークローネ。
- b. 2020年10月～2022年9月：Global Green Growth Institute Indonesia Country Program - phase III. 組織：GGGI。グラント：最大で95,000,000ノルウェークローネ。
- c. 2016年6月～2021年5月。持続可能な土地利用管理を通じたインドネシアにおける低排出開発の加速化。組織：WRI。本プロジェクトはUSAIDとの共同出資である。グラント。最大で227,175,000ノルウェークローネ。
- d. 2018年3月～2020年12月。UNOPSを通じたBRG支援で、政府規則57/2016に基づく、土地利用によるGHG排出量の削減と泥炭地からの生物多様性保全の促進を支援する。団体。UNOPS。助成金：最大で345,000,000ノルウェークローネ。
- e. 2017年11月～2019年10月：インドネシアのグリーン成長政策レビュー。ノルウェーは複数のドナーの一つ、ノルウェーの拠出額：1,000,000ノルウェークローネ。
- f. 2018年5月～2019年6月：Global Yield Gap Atlas Palm Oil. 列島の最も脆弱な地域で新しい土地への農業拡大の圧力を緩和するための農業強化についての理解を深めるためのプロジェクト。パートナー：ネブラスカ大学リンカーン校 助成金：最大2,000,000ノルウェークローネ。
- g. 2017年12月～2018年12月。インドネシア持続可能な景観管理 (IDSLM) 信託基金。目的：マルチセクターのステークホルダー間の景観管理の統合と調整を改善し、インドネシアの特定地域での持続可能な景観管理アプローチを実証する。この基金は、オーストラリア政府外務貿易省との共同出資で、他のドナーにも開かれている。助成金：241,000,000ノルウェークローネ。
- h. 2017年8月～2018年6月。テニユア会議、2017「平等な開発のための森林と土地の所有権とガバナンス」を開催。目的：農地改革と社会的林業に関して、地図、情報、ケーススタディの提供に貢献するとともに、インドネシアにおける社会的林業と農地改革の実施に関する関係者間の合意を締結する。助成金：ノルウェーは複数のドナーの一つ、ノルウェーの拠出額は1,400,000ノルウェークローネ。
- i. 2017年10月～2018年4月 泥炭地の村を大切にする：最大18,000,000ノルウェークローネ。
- j. 2013年10月～2017年1月。REDD+支援ファシリティ・マルチドナー信託基金、インドネシア共和国のREDD+戦略の実施を支援するために、REDD+戦略の実施を担当するインドネシアの機関・施設の運用を支援するための技術支援と分析的インプットを提供する。助成金：最

大で10,500,000ノルウェークローネ。

2.1.10 他ドナー・民間の今後の支援方針

2020 年から 2024 年までの環境森林省事務局長の戦略計画に関する環境森林省事務局長規則 P. 4/Setjen/Rocan/Set. I9/2020 によると、政府への市民参加のための参加の機会を広げるため、開発が必要な将来の戦略は、社会化及び環境林業省のパフォーマンスに対する意識/懸念の高まりの文脈で、国内のさまざまな関係者、政府-民間（ビジネス）-コミュニティ（NGO /コミュニティ）の協力促進である。

一般に、環境及び林業セクターにおける協力の側面は、特に SDGs 目標 17 番、すなわち目標達成のためのグローバルなパートナーシップにおいて、グローバルな持続可能な開発目標のアジェンダの達成と密接に関連している。環境林業省における将来の対外協力活動の発展と調整における懸念の主な側面は、(1) 国益に従っている、(2) 環境林業省の戦略計画を支援する、(3) 5 つの安全の原則（政治、司法、技術、安全保障及び財政）及び外国の協力関係の原則、すなわち相互信頼、相互尊重及び相互利益を含む、受益者としての人々にとって真に有益である、(4) 対外協力プロジェクトへの資金配分においてプロジェクトの運営のために少なくとも 60%、との方針により、現在及び将来の協力を確実に遂行することとしている。

このメカニズムは、国際協定に関する法律 24/2000、対外関係に関する法律 No. 39/1999、コミュニティ組織に関する法律 No. 17/2016、及び外国大衆組織に関する政府規則 No. 59/2016 に準じている。また、この規則は、プログラムの優先順位を参照しながら、環境林業省と協力パートナーとの間の正式な制度的関係を通じて協力が行われることを規定している（環境林業省、2020 年）。

環境林業省（2020 年）によると、提供されるサービスの形態は、以下のように国際協力サービスの成果につながる活動である。

- a. 二国間、多国間、地域内協力、及び外国のコミュニティ組織の分析結果の文書：二国間及び地域内の関係及び協力活動の実施の調整からなる。二国間及び地域内協力技術支援の実施。及び森林アタッシュによる協力管理。多国間及び非政府国際機関（OINP）の実施の調整。GEF資金の使用の促進。
- b. 国際協力協定文書：ファシリテーション、調整、議論/法的レビュー/司法分析、及びフォローアップ契約の監視と評価のコンポーネントで構成される。

泥炭回復庁（BRG）に関するインドネシア共和国の大統領規則第 1/2016 号では、国際協力についても議論されており、特に資金調達に関する第 6 章では、第 27 条（2）として、収入と支出の予算によって賄われていないその義務と機能については、国家及び国家の利益を害せず、法律の規定に従って会計処理できる限り、BRG が他の当事者と協力して実施することができる。

2.1.11 実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ

泥炭地の管理は、温室効果ガスの放出や植物の生育に関係する。今回 SAR を活用して泥炭地の水分量の推定や地下水位の推定を行おうとしたが、今後は、ハイパースペクトルの画像なども使用することが可能になってきていることから、新しい技術を使い温室効果ガス放出量のモデルの修正・改良を行うなど、方向性を示していく必要がある。

また、本協力事業関係者からのニーズとしては、(1) 各種機器の必要性、(2) 継続的な観測の必要性が示されており、これらについて、どのように支援を行うのかを関係者間で検討する必要がある。

2.2 コンゴ盆地

2.2.1 泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター

2.2.1.1 関連国際条約等

現在、コンゴ民及びコンゴ共が批准している泥炭地の管理・保護に関連する国際的な協定・条約は以下の表 2.2.1.1 のとおりである。

表 2.2.1.1 泥炭地の管理と保全に関連する国際的なフレームワークと条約

No.	条約名	署名日	加盟もしくは批准日
1.	ラムサール条約	-	コンゴ民：1996 年 5 月 18 日 コンゴ共：1998 年 10 月 18 日
2.	生物多様性条約	コンゴ民：1992 年 6 月 11 日 コンゴ共：1992 年 6 月 11 日	コンゴ民：1994 年 12 月 3 日 コンゴ共：1996 年 8 月 1 日
3.	国連気候変動枠組条約	コンゴ民：1992 年 6 月 11 日 コンゴ共：1992 年 6 月 12 日	コンゴ民：1995 年 1 月 9 日 コンゴ共：1996 年 10 月 14 日
4.	パリ協定	コンゴ民：2016 年 4 月 22 日 コンゴ共：2016 年 4 月 22 日	コンゴ民：2017 年 12 月 13 日 コンゴ共：2017 年 4 月 21 日

ラムサール条約に関して、コンゴ民は 1996 年、コンゴ共は 1998 年に条約に加盟している。現在、コンゴ民では 4 か所（総面積 11,906,617 ha）、コンゴ共では 14 か所（総面積 13,813,865 ha）が国際的に重要な湿地帯としてラムサール条約に登録されている。

2010 年にコンゴ民とコンゴ共の政府は、国際自然連合（IUCN）を通じた環境のための中部アフリカ地域プログラム（Programme régional pour l'environnement en Afrique centrale (CARPE)）の支援のもと、Tumba-Ledima 湖（コンゴ民）及び Télé 湖（コンゴ共）の共同管理に係る政府間協力合意に署名した他、2017 年には、コンゴ民及びコンゴ共政府は、両国のキュヴェット・セントラル地域にまたがる、3 つのラムサール条約指定地の管理を共同で行うことに合意した。

表 2.2.1.1 に記載されているものの他に、2019 年 3 月に国連持続可能な開発会議での成果文書として採択された泥炭地保全と持続的な管理についての決議（UNEA Resolution on Conservation and Sustainable Management of Peatlands）がある。これは法的拘束力を持たないが、泥炭地が保有する生態系サービスとその重要性について強調し、パリ協定、ラムサール条約、生物多様性条約等関連する枠組みの実施への貢献及び加盟国及びその他関係者に対し、泥炭地の保全及び持続可能な管理のために地域的・国際的な協力を強化の奨励等が定めている。

2.2.1.2 泥炭地に係る国際的な枠組み等

1) グローバル・PEATLAND・イニシアティブ、ブラザビル宣言

グローバル・PEATLAND・イニシアティブ（GPI）は、2016 年のマラケシュ気候会議（UNFCCC COP22）において、ラムサール条約を含む 13 の設立メンバーによって設立された。「ブラザビル宣言」は、「グローバル・PEATLAND・イニシアティブ」のパートナーの第 3 回会合で、コンゴ民、コンゴ共及びインドネシア政府が署名したもので、泥炭地の保護と持続可能な管理のために協力し、知識と経験を交換するという三国の意思とコミットメントを示すものである。

2018 年 10 月、インドネシア、コンゴ民及びコンゴ共は、国際熱帯泥炭地センター（International Center for Tropical Peatlands (ITPC)）を設立。

2) コンゴ盆地ブルー・ファンド (Congo Basin Blue Fond)

2016 年にモロッコで開催された COP22 の際に、サス・ンゲソ・コンゴ共大統領が主導し立上げが検討され、2017 年コンゴ共 Oyo にて開催された国際サミットの中で 12 か国の代表が基金設立

に関する覚書に署名した。2019 年時点で 16 か国が加盟している（アンゴラ、ブルンジ、カメルーン、中央アフリカ、チャド、コンゴ民、赤道ギニア、ガボン、ケニア、コンゴ共、ルワンダ、サントメ・プリンシペ、南スーダン、タンザニア、ウガンダ、ザンビア）。

同基金は、気候変動に取組み、地域的統合と人間の福利の達成を目的とし、グリーンもしくはブルー経済に基づいて各国でのプロジェクトに資金提供される。主に中部アフリカ開発銀行（Central African Development Bank : BDEAC）による出資が資金源となっている。

3) コンゴ盆地森林基金（Congo Basin Forest Fund : CBFF）

2008 年 6 月にロンドンにて、英国、ノルウェー、中部アフリカ森林協議会（Commission of Central African Forests : COMIFAC）加盟国によって創設され、アフリカ開発銀行がホストとなっている。同基金は、以下の 3 点を目的としている。

- 多様な森林景観資源と REDD+の持続的管理の実施に向けた、コンゴ盆地のステークホルダーの技術的能力の向上
- 女性や少数民族を含めた森林のステークホルダー間でのより平等な利益配分の促進のための、コンゴ盆地での森林ガバナンスの推進
- 景観レベルでの森林の持続可能な管理と REDD+の実施のための、コンゴ盆地の関係機関の能力の向上

これまでに、41 のプロジェクトに対し 84 百万ユーロ以上の資金提供が CBFF 運営評議会によって承認されている。2015 年末時点では、41 プロジェクトのうち 16 プロジェクトが進行しており、18 のプロジェクトが終了した。

2.2.2 国レベルの政策制度

2.2.2.1 コンゴ民主共和国

現在、当国における泥炭地の正式な定義や泥炭地の保全に関する具体的な国の政策や規定はないが、「国家泥炭地戦略」の策定に着手している。

コンゴ民の国内レベルで泥炭地管理を直接または間接的に扱っている法律文書には以下のものがある。

1) 水に関する 2015 年 12 月 31 日の法律 No. 15/026

湿地の定義や公共水域における湿地の分類など、湿地に関する規定を直接盛り込んだ初めての法律文書であり、これにより湿地の保全と持続可能な管理・利用を促進している。この法律には、ラムサール条約のガイドラインと、コンゴ民におけるこの条約の下での約束に沿った条項が含まれている。この法律は、ラムサール条約よりも限定的な湿地の定義を含み、泥炭地への具体的な言及はないが、湿地帯を公有水面に位置付けることで、湿地帯の私的保有や湿地帯の保全と両立しないあらゆる利用形態を排除している。

2) 自然保護に関する 2014 年 2 月 11 日の法律 No. 014/003

この法律の目的は、生物多様性の保全と伝統的知識の保存である。第 45 条第 1 項では、外来種導入のリスクに対して特定の保護措置を必要とする生態系として、特に湿地を挙げている。また、遵守すべき国際的な法律文書として、ラムサール条約が挙げられている。

3) 林業法に関する 2002 年 8 月 29 日の法律 No. 011/202

泥炭地の森林に関する特定の規定はない。

4) 環境保護に係る基本原則に関する 2011 年 7 月 9 日の法律 No. 11/009

この法律は、鉱業、石油開発、林業、農業、町や自治体の設立や拡張、インフラなど他のセクターの公共政策の実施による直接的または間接的な悪影響から環境を保護することを目的としている。この法律が特定の保護を確保するための手続き上の仕組みは、以下の 2 つの政令によって整理されている。

- a. 環境保護のための手続的メカニズムの運用規則を定めた2014年8月2日付政令第14/019号
この政令は、i) 公共政策、計画、プログラムの戦略的環境評価、ii) 環境・社会影響評価 (ESIA)、iii) 環境監査、iv) 一般質問の実施手順を定めている。
- b. 2014年11月18日に発行された政令14/030号
この政令では、「コンゴ民環境庁 (Agence Congolaise de l' Environnement : ACE)」という公的機関の地位が設定されており、ACE が ESIA の実施と承認を監督する指定公共機関であることが明記されている。

5) 都市計画に関する 1957 年 6 月 20 日付の政令

現在でも都市部と農村部の両方の土地利用計画に関する主要な法律文書となっている。現在、コンゴ民政府は空間計画改革を実施しており、これはすべての領土レベルにおいて多部門の空間ガバナンスと国家開発の手段を更新する機会となる。

6) コンゴ民主共和国の保護区域における生物多様性保全の国家戦略 (STRATÉGIE NATIONALE DE CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ DANS LES AIRES PROTÉGÉES DE LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO)

2005 年に発表された「コンゴ民の保護区域における生物多様性保全の国家戦略」の第 1 回目の改訂版として 2012 年に発表。コンゴ民国内の保護区域ネットワークにおける生物多様性の持続的保全と管理の確保を目的としており、具体的には以下 5 つを掲げている。

- コンゴ民の生物多様性を持続・代表する保護区域ネットワークを維持・発展する
- 保護区域における自然資源の持続的管理の効果的なシステムを発展・適用する
- コンゴ民自然保護研究所 (Institut Congolais pour la Conservation de la Nature : ICCN) が持続的な資金を利用することが可能となる
- コンゴ民の保護区域における保全の計画、パートナーシップ及び促進のための基準となる枠組みを提供する
- 地域コミュニティとその他アクターの国境を越えた協働と参加を促進する

現在、第 2 回目の改訂につき検討がなされている。

2.2.2.2 コンゴ共和国

コンゴ共における泥炭地管理と保護に関連する法令・政令等につき、表 2.2.2.2 に示す。

表 2.2.2.2 泥炭地の保護と管理に係る法令・政令等⁴⁸

法令・政令等	概要
動物相、生育・生息地及び生態系の持続的保全と管理の基本方針及び一般的条件に関する 2008 年 11 月 28 日の第 37-2008 号法律	同法律では保護区域のタイプ (国立公園、動物保護区域等)、保護区域創設の条件、様々な保護区域のタイプに関連する自然資源の利用のルール及び保護区域の管理、ガバナンス及び計画の基本方針等について定義している。
森林法 (2000 年 11 月 20 日の第 16-2000 号)	①資源の適切な開発に基づいた森林の持続的管理を保証するための法的枠組みの設置、②国内森林分野における定義及びクライテリア、組織及び参加型管理の規範の定義、③持続的発展のため森林及び生物多様性の必要性とともに森林生産物の開発を両立させることを目的としている。

⁴⁸ 出典 : IUCN (2012) : Parcs et réserves du Congo - Evaluation de l' efficacité de la gestion des aires protégées、COMMISSION DES FORETS D' AFRIQUE CENTRALE PARTENARIAT POUR LES FORETS DU BASSIN DU CONGO (2016) : Stratégie de Gestion durable de la Binationale Lac Télé - Lac Tumba (Lignes directrices 2017-2026)

法令・政令等	概要
1991年4月23日の第003/91号法律	動植物相の保全について多くの環境分野における法体制を強化し、自然資源及び文化、自然、歴史的遺産を管理・復元・保全することを目的として制定。
2002年12月31日の第2002/437号政令	森林の管理及び利用についての条件を定めた政令。
水に関する2003年4月10日の第13-2003号法律	水資源の適切な利用の保証、水の有害な影響の予防、水質汚染への対応を目的として制定。
漁業運営に関する2010年6月14日の第3-2010号法律	コンゴ川の法定水域内における開発の条件、生物資源の保全・管理について定めた法律。

2.2.3 中央政府機関の体制及び取り組み状況

2.2.3.1 コンゴ民主共和国

(1) 中央政府機関の体制

1) 議会

泥炭地の保全と持続的管理を保証するための法律の策定及び改訂及び泥炭地の持続的管理に係る政府の行動について議員による管理の保証についての責任を負う。

2) 環境・持続可能開発省 (MEDD)

環境の持続的管理及び生物多様性や生態系の保全に係る国内政策の実施、政策実施のための計画の作成・調査・評価、森林・水資源・動物相及び環境資源の持続的管理等を担うため、コンゴ民の省設置に関する2020年3月27日付No. 20/017規則で設置が定められた。泥炭地管理関係部局は以下のとおり。

a. 持続可能開発局 (Direction de la Développement Durable : DDD)

湿地帯、気候変動、生物多様性、水、環境修復などを含む国際公約の目的と目標を達成するためのコンゴ民のパフォーマンスを監視する。ラムサール条約、生物多様性条約、UNFCCC パリ協定等国際協定に定められている報告義務を果たす。温室効果ガスの除去及び排出に対する泥炭地の寄与の推定を含む、国の温室効果ガスインベントリーの収集と維持を行っている。DDD内の各部署の役割は以下のとおり。

i. 泥炭地管理ユニット (Unité de Gestion des Tourbière : UGT)

泥炭地の制度的管理のため、MEDD大臣は2017年7月27日の法令No. 010に署名し、MEDDのDDD内に「泥炭地管理ユニット」を創設した。役割は以下のとおり。

- 国家泥炭地戦略の策定・実施
- コンゴ民における泥炭地管理の調整を、国家泥炭地戦略で特定された主な関係者と、関心のある技術的・財政的パートナーとの間で確実に行う。これには、コンゴ盆地レベルやその他の地域における同様のイニシアティブとの連携も含まれる。
- 森林コミュニティや先住民を含む様々な利害関係者の参加と協議を通じた、泥炭地管理への参加型アプローチの促進と確保
- 泥炭地管理の現場での問題に対処するための国内外の有資格技術者の特定と動員
- 既存の国の気候変動イニシアティブとの効果的な協力関係の構築
- 国際的なレベルでの泥炭地のテーマの発展と、同分野の国際的な動きへのコンゴ民の参加の確保
- REDD+やその他の持続可能な林業プログラム/イニシアティブを通じた生態系サービスへの支払いインセンティブとして、泥炭地の高い炭素貯蔵量を評価する。

ii. CNREDD

REDD+フレームワーク戦略で定義された介入策と国家泥炭地戦略との間の関連性の特定を支援する。

b. 気候変動部

コンゴ民の改訂版 NDC 及び国家温室効果ガスインベントリーへの泥炭地の組込みを行う。

c. 生物多様性部

泥炭地における生物多様性の保護を促進する。

d. 水資源局 (Direction Ressource en Eau)

国家水政策 (策定予定) に泥炭地の保護を含める。また、ラムサール条約のフォーカルポイントとして、コンゴ民における条約とそのガイドラインの順守を確保する。

e. 森林インベントリー・整備局 (Direction Inventaire et Aménagement Forestiers : DIAF)

泥炭地を含む国有林の森林インベントリーの作成及び森林破壊・劣化を含む森林被覆の変化のマッピング・監視を行う。

3) コンゴ民環境庁 (ACE)

国、州、地方レベルでの社会・環境影響評価及び監査を促進するための枠組みを提供する。

4) Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN)

泥炭地の保護を強化するために、特定の地域を保護区に指定する可能性を検討する。

5) 国家 REDD 基金 (FONAREDD)

コンゴ民における REDD+の取組みを調整・監督することにより、コミュニティ林業、コミュニティ保全、コミュニティ管理、コミュニティの慣習的土地保有等、泥炭地の森林の持続可能な管理を促進する既存のメカニズムを構築する。

6) 土地利用における整備計画担当省 (Ministère ayant l' Aménagement du Territoire dans ses attributions)

同省の泥炭地管理に係る役割は以下のとおり。

- a. 様々な土地利用のためのゾーニングのプロセスを調整し、泥炭地を含む地域の配分における多様な利害を調整し、協調的で調和のとれた決定を行う。
- b. 最終的なゾーニングと配分において、泥炭地の優位性を認識することにより、泥炭地の保護を強化する。
- c. 泥炭地を有する州を対象とした REDD+統合プログラム (Programme intégré REDD+ : PIREDD) を活用して、土地利用計画やゾーニングの設計・実施の強化とこれら地域のマッピングを促進し、必要に応じて資源調査やインベントリーを実施する。また、PIREDD では、地方、州、国の各レベルを統合して泥炭地管理のための制度的取決めを確立する方法についての例を提供することができ、これらのプログラムは泥炭地の持続的な管理のためのインセンティブを提供することで泥炭地周辺のコミュニティを支援することができる。

(2) コンゴ民中央政府機関の取組み

1) 国家泥炭地戦略⁴⁹

コンゴ民政府は、泥炭地に関する国家戦略、イニシアティブ、プロジェクト及びプログラムの調整と実施のためのフレームワークの開発を開始している。2019 年 7 月、初の全国泥炭地情報ワークショップが開催され、泥炭地管理の準備段階のロードマップが作成された。2020 年 8 月には、国家泥炭地戦略の作成に着手している。MEDD は 2020 年 12 月に開催された円卓会議で、泥炭地の生態系に関する国家ビジョンを発表した。これは、「自然と人々のために泥炭地を保護する」

⁴⁹ USAID (2021) : Revue du cadre juridique propice à la gestion des tourbières en République Démocratique du Congo

ことに要約されている。後述する Congo Peat Project の支援により、泥炭地分布の新しい地図が 2021 年 6 月に作成され、2022 年に公開予定とされている。

2) コンゴ民主共和国の保護区域における生物多様性保全の国家戦略 (STRATÉGIE NATIONALE DE CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ DANS LES AIRES PROTÉGÉES DE LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO) ⁵⁰

2005 年に発表された「コンゴ民の保護区域における生物多様性保全の国家戦略」の第 1 回目の改訂版として 2012 年に発表。コンゴ民国内の保護区域ネットワークにおける生物多様性の持続的保全と管理の確保を目的としており、具体的には以下 5 つを掲げている。

- a. コンゴ民の生物多様性を持続・代表する保護区域ネットワークを維持・発展する
- b. 保護区域における自然資源の持続的管理の効果的なシステムを発展・適用する
- c. コンゴ民自然保護研究所 (Institut Congolais pour la Conservation de la Nature : ICCN) が持続的な資金を利用することが可能となる
- d. コンゴ民の保護区域における保全の計画、パートナーシップ及び促進のための基準となる枠組みを提供する
- e. 地域コミュニティとその他アクターの国境を越えた協働と参加を促進する

現在、第 2 回目の改訂につき検討がなされている⁵¹。

3) 国家気候変動適応計画 (2022-2026) (Plan National d'Adaption aux Changement Climatique : PNA)

2021 年 11 月に策定。この計画の基本方針としては、①人口動態、ジェンダー及び社会的包摂の考慮、②国内レベルで適用された気候変動対策、③政府全体による取組み等が挙げられており、以下 2 つの目的が設定されている。

- a. 気候変動への適応対策のための出発点と一般的参考資料を提供すること
- b. 完全に堅固な PNA の作成のための調査の方向性及び道筋を提供すること

2.2.3.2 コンゴ共和国

(1) コンゴ共中央政府機関の体制

1) 環境・持続可能開発・コンゴ盆地省 (Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et du Bassin du Congo)

コンゴ共における気候変動対策、生物多様性及び泥炭地保全等を担当。2021 年 5 月の内閣改造の際に観光・環境省 (Ministère du Tourisme et de l'Environnement) から名称を環境・持続可能開発・コンゴ盆地省に変更し、より持続性のある課題について対応。

泥炭地に関する研究については、英リーズ大学と 13 年間に及ぶ協力関係を構築している。

2) 森林経済省 (Ministère de l'Economie forestière)

コンゴ共における森林保全・管理等に関連する課題を担当。REDD+についても担当している。

a. 国立森林・野生生物資源インベントリー・管理センター (Centre National d'Inventaire et d'Aménagement des ressources Forestières et Fauniques : CNIAF)

森林経済省の一部局であり、大臣直結の組織。コンゴ共のマッピングを所掌する政府機関。コンゴ共マリアングアビ大学の泥炭調査チームとは協力関係にある。CNIAF には 13 名のリモートセンシングの専門家が在籍。NFI を行った際に、USFS (U.S. Forest Service) の支援を受け

⁵⁰ <https://www.developpement-durable.gouv.cg/wp-content/uploads/2018/03/Strat%C3%A9gie-Nationale-de-Concervation-de-la-Biodiversit%C3%A9.pdf>

⁵¹ <https://desknature.com/2022/02/09/rdc-liccn-organise-les-etats-generaux-de-la-conservation-de-la-biodiversite-ce-jeudi>

限定的ではあるが、北部の湿地帯で泥炭のサンプリング調査やマッピングに従事した経験を有する。

b. 動物相及び保護区域課 (Direction de la Faune et des Aires Protégées : DFAP)

コンゴ共における動物相の保全及び保護区域の管理等を担当。保全戦略から生じる適切な規制を考案し、その適用を管理することを保証する役割を持つ。同課は、①動物相及び保護区域の持続的管理に関する政府方針の提案、②動植物相のインベントリー・プログラムの提案、③保護区域整備計画の適用の管理、④動物相及び保護区域の持続的管理に関する規制の考案・提案等を目的としている。

3) コンゴ野生動物・保全区域庁 (Agence Congolaise de la Faune et les Aires protégées (ACFAP))

野生動物及び保全区域の管理、密猟の監視についての政策を実施するため、2013年に設立。

4) コミュニティ管理・開発委員会 (Comité de Gestion et de Développement Communautaire (CGDC))

Télé湖- Tumba湖の二国間での持続的管理戦略の活動の調査を行うため、2013年に設置。

(2) コンゴ共中央政府機関の取組み

泥炭地の保護・管理に係る省令を表 2.2.3.1 に示す。

表 2.2.3.1 泥炭地の保護・管理に係る省令⁵²

大統領令・大臣令等	概要
全て及び一部保護された動物種の定義に関する 2011 年 4 月 9 日第 6075 号アレテ ⁵³	コンゴ共内における全ての動物種に対し、保護の段階を 3 つに分けることを定めた大臣令。保護の段階は A : 完全に保護する種 (マルミミゾウ等 50 種が対象)、B : 部分的に保護する種 (狩猟が認められる種、48 種が対象) C : A、B に含まれない全ての動物種が対象であり、特定の保護の枠組みはないが、取引、狩猟地から他の場所への移動、密売は固く禁じられている。
森林の管理及び利用の条件を定めた第 2002-437 号デクレ ⁵⁴	国有林の行政管理、森林の利用等について定めたもの。第二章では国有天然林の開発及び林産物の利用、私有天然林の開発行為等につき定めている。

2.2.4 州政府の体制及び取組み状況

2.2.4.1 コンゴ民主共和国

(1) 州レベルでの体制

1) 州議会

泥炭地の保全を強化するため、州レベルでの法的措置を取る役割を持つ。また、泥炭地保護に関して州政府の行動を管理する役割も持つ。

2) 州知事

泥炭地の保全・管理に関して優先事項を考慮しつつ州の発展のための計画と知事令を作成する。

3) 州計画省

州開発計画において泥炭の保全と持続的な管理が含まれるようにする。

4) 州土地利用における整備計画担当省

⁵² 出典 : COMMISSION DES FORETS D'AFRIQUE CENTRALE PARTENARIAT POUR LES FORETS DU BASSIN DU CONGO (2016) : Stratégie de Gestion durable de la Binationale Lac Télé - Lac Tumba (Lignes directrices 2017-2026)

⁵³ <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/con105724.pdf>

⁵⁴ <https://leap.unep.org/countries/cg/national-legislation/decret-no-2002-437-fixant-les-conditions-de-gestion-et>

泥炭地の保護と持続的な管理を統合した州開発計画の策定プロセスを開始・調整する。

5) ACE 州支局

泥炭地への影響を及ぼす可能性のある州及び地域の土地利用計画及び影響評価の戦略的環境評価の検討と承認をする。

(2) 州レベルでの取り組み

現時点で該当する情報は入手できていない。

2.2.4.2 コンゴ共和国

(1) 州レベルでの体制

現時点で該当する情報は入手できていない。

(2) 州レベルでの取り組み

フランス開発庁（AFD）は、気候変動分野及び生態系保全分野におけるプロジェクトをコンゴ共で実施している。気候変動分野のプロジェクトはカメルーン、コンゴ民及びコンゴ共で行われており、AFD と EU によって実施されている⁵⁵。このプロジェクトでは、中部アフリカにおける REDD+や森林セクターのような気候変動対策へのイニシアティブにおいて、汚職防止の政策及び実施を改善することを目的としており、プロジェクトの実施を通して以下が達成されることが期待されている。

- コミュニティや市民が強化された能力（参加型調査や気候変動対策イニシアティブ等）とネットワーク構築の適性を利用すること。
- 気候変動分野における汚職の被害者や目撃者が、苦情メカニズムを通じて問題の解決を図ることができるようになること。
- 関係アクターが、気候変動分野における汚職を防止し透明性・説明責任・誠実性を確実にする改善を約束すること。

生物多様性分野においては、2020 年より北部に位置する Likouala 州にてプロジェクトが実施されている。このプロジェクトは AFD と世界的環境のためのフランス基金（Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) の共同出資によって実施されている。森林及び生物多様性の保全、土地の適切な整備を促進しつつ、地域レベルでの開発における戦略を支援することを目的としている⁵⁶。

⁵⁵ [https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/lintegrite-dans-les-initiatives-climatiques?origin=/fr/carte-des-projets?view=map&page=all&filter\[0\]=type_k=page_afd_project&filter\[1\]=type_k=page_ong_project&filter\[2\]=type_k=page_research_project&filter\[3\]=source_k=afd&query=*&from=0&sort=_score,desc&facetOptions\[0\]=funding_program_k,size,200&facetOptions\[1\]=funding_type_k,size,200&facetOptions\[2\]=thematic_k,size,200&facetOptions\[3\]=country_k,size,200&facetOptions\[4\]=program_family_k,size,200&facetOptions\[5\]=year_k,size,200](https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/lintegrite-dans-les-initiatives-climatiques?origin=/fr/carte-des-projets?view=map&page=all&filter[0]=type_k=page_afd_project&filter[1]=type_k=page_ong_project&filter[2]=type_k=page_research_project&filter[3]=source_k=afd&query=*&from=0&sort=_score,desc&facetOptions[0]=funding_program_k,size,200&facetOptions[1]=funding_type_k,size,200&facetOptions[2]=thematic_k,size,200&facetOptions[3]=country_k,size,200&facetOptions[4]=program_family_k,size,200&facetOptions[5]=year_k,size,200)

⁵⁶ [https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/preserver-la-biodiversite-et-promouvoir-le-developpement-durable-dans-le-nord-congo?origin=/fr/carte-des-projets?view=map&page=all&filter\[0\]=type_k=page_afd_project&filter\[1\]=type_k=page_ong_project&filter\[2\]=type_k=page_research_project&filter\[3\]=source_k=afd&query=*&from=0&sort=_score,desc&facetOptions\[0\]=funding_program_k,size,200&facetOptions\[1\]=funding_type_k,size,200&facetOptions\[2\]=thematic_k,size,200&facetOptions\[3\]=country_k,size,200&facetOptions\[4\]=program_family_k,size,200&facetOptions\[5\]=year_k,size,200](https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/preserver-la-biodiversite-et-promouvoir-le-developpement-durable-dans-le-nord-congo?origin=/fr/carte-des-projets?view=map&page=all&filter[0]=type_k=page_afd_project&filter[1]=type_k=page_ong_project&filter[2]=type_k=page_research_project&filter[3]=source_k=afd&query=*&from=0&sort=_score,desc&facetOptions[0]=funding_program_k,size,200&facetOptions[1]=funding_type_k,size,200&facetOptions[2]=thematic_k,size,200&facetOptions[3]=country_k,size,200&facetOptions[4]=program_family_k,size,200&facetOptions[5]=year_k,size,200)

2.2.5 現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況

2.2.5.1 コンゴ民主共和国

(1) コンゴ民における現場レベルでの体制

1) 首長/セクター評議会

- 泥炭地の保護と持続可能な管理が地方開発計画に組み込まれていることを確認する
- 泥炭地の保護と持続可能な管理を地方自治体の開発計画に確実に組入れる
- 泥炭地保護に関連する首長またはセクター執行委員会の行動を監視する

2) セクター長/首長

- 泥炭地の保全と持続可能な泥炭地管理を統合した地域開発計画を、首長またはセクター長の命令により作成する
- 泥炭地の保全と持続可能な管理を統合した地方自治体整備計画を首長またはセクター長の命令により作成する

3) 計画担当市議会議員

泥炭地の保全及び持続可能な管理を統合した地域開発計画の作成プロセスの開始と調整をする。

4) 土地整備担当市議会議員

泥炭地の保全を統合した土地整備地域計画の作成プロセスの開始と調整をする。

(2) 現地レベルの泥炭地管理・保全の取り組み

グローバル・ピートランド・イニシアティブの下、コンゴ民及び他の加盟国は、泥炭地保全のため先住民や地域コミュニティから学び、共に活動を行う予定。2030年までに、インドネシアの例に倣い地域コミュニティの意識の向上を目指す。

2.2.5.2 コンゴ共和国

現時点で該当する情報は入手できていない。

2.2.6 泥炭地の環境に係る基礎情報

2.2.6.1 自然環境

「地球の片肺」と呼ばれるコンゴ盆地では、南米アマゾンに次ぐ世界第2位の規模の面積の森林を有している。同盆地の泥炭湿地の植生は、森林地・湿地性ヤシ林・草本の沼地等様々な外観をしている。コンゴ盆地では約10,000種の熱帯性植物が見られ、うち30%が地域固有種である。また、マルミミゾウや西ローランドゴリラ、ボノボ、オカピ等の425種の地域固有の哺乳類の生育・生息地となっている。貴重な生態系・生物多様性を有することから、206か所の保護区域が指定されている。コンゴ盆地内のキュベット・セントラルの泥炭地は、約10,600年前から蓄積され始めたことがわかっており、最大深度は5.9m、平均深度2.0m、泥炭地面積は145,500 km²となることが推定されている。泥炭地の炭素含有量は約300億トンと推定されており、これは米国からのCO₂排出量の20年分に相当する。

2.2.6.2 社会環境

コンゴ盆地、とくにコンゴ民、コンゴ共にまたがって位置するTele湖及びTumba湖周辺には200万人以上が居住している。住民は魚などの水産資源を利用している他、農業を営んだり林産物の採取を行ったりしている。水産資源の利用は地域社会や周辺住民の生活を支えている他、貿易にも貢献しており、コンゴ民・共両国の経済を支える重要な役割を担っている。また、泥炭地の周辺地域の一部の森林は信仰の対象となっている等、文化的な意味を持っている。

泥炭地保全においては、人間活動の影響により様々な脅威が存在している。森林伐採は、これ

までにあまり多くの例が見られていないが、陸生・水生生物の生育・生息地の分断、破壊、喪失につながるリスクが指摘されている。森林減少・破壊については焼畑農業も原因の一つと指摘されており、山火事を誘引する要因とされている。域内では密猟が行われていることもあり、このような違法行為も泥炭地内の生態系・生物多様性の喪失につながっている。漁業は生計を支える重要な手段の一つではあるが、密漁や違法漁業が行われており、乱獲などの問題の原因の一つとなっている。

2.2.7 泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報

GPI メンバー国は、泥炭地開発の重要性を認識しており、そのため、泥炭地の地図を作成し、炭素蓄積量を評価し、山火事や森林から保護することが必要である。泥炭地管理ユニット（PMU）は、CRGM（Centre de Recherche Géologique et Minière）が泥炭分析（泥炭サンプルの炭素含有量の定量化）に必要な装置を持っており、CRGM はすでに FAO のためにこの分析を行っているとの情報を得ている。PMU はこの目的のために CRGM にアプローチする可能性を検討中である。

2.2.8 泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況

この点に関連して、「コンゴ盆地中央部の泥炭地における炭素、生物多様性、土地利用」文書が利用できる。コンゴ民の現状では、泥炭地の大規模な劣化は確認されておらず、したがって人為的な温室効果ガスの著しい放出もない。コンゴ民は、泥炭地の包括的なマッピングを行い、コンゴ民の文脈に沿った明確な定義によって、その炭素蓄積量を推定する作業を行っている。この泥炭地の国家的定義に到達するために、コンゴ民で採用されたプロセスは以下の通りである。

- a. 共通に受け入れられる定義に到達するために、国内での意見交換や協議に必要な時間を確保すること。
- b. 定義の主な目的を一緒に定義すること。
- c. 他国での経験から学ぶこと。
- d. 気候変動対策について、以下のような重要なパラメータを検討する。
 - 最低 15cm の深さ
 - 5%以上の有機物を含む
- e. 近隣諸国との共通定義に向けて協議する。

2.2.9 泥炭地の管理に係る国内・域内の法制度・関連国際条約

(1) Tumba-Ledima 湖（コンゴ民）及び Télé 湖（コンゴ共）の共同管理に係る政府間協力合意

(Accord de coopération relatif à la mise en place de la Binationale Lac Tele-Lac Tumba)

2010 年、コンゴ民及びコンゴ共国首脳によって署名。同合意の目的は以下のとおり。

- a. 地域社会を巻き込み、参加型自然資源管理のための能力を高める。
- b. 地域、国、地域、国際協力を通じて湿地の保全とワイズユースを行い、持続可能な開発に貢献する。
- c. 知見の交換を通じて関係者間の相乗効果を促進し、国境を越えた管理の調和を図る。
- d. ボノボ、チンパンジー、ゴリラなどの類人猿や、そこに住む多様な人々の重要性について、国内及び国際社会における認識を高める。

(2) Télé 湖- Tumba 湖の二国間での持続的管理戦略 (Stratégie de Gestion durable de la Binationale Lac Télé - Lac Tumba)

2010 年に締結された Tumba-Ledima 湖（コンゴ民）及び Télé 湖（コンゴ共）の共同管理に係る

政府間協力合意に基づき、自然資源の持続可能な保全と管理、国境を越えた協力を通じた生態系サービスと機能の維持及びこれら資源の管理への地域住民の効果的な参加を目指し、2017年から2026年までの二国間による持続可能な管理についての戦略を2016年に策定。

(3) 中部アフリカの森林生態系の保全と持続的管理及び中部アフリカ森林協議会 (Commission des Forêts d' Afrique Centrale : COMIFAC) の設立に関する条約 (Traité relatif à la conservation et à la gestion durable des écosystèmes forestiers d' Afrique Centrale et instituant la Commission des Forêts d' Afrique Centrale)

2005年、ブラザビルにて10か国（ブルンジ、カメルーン、中央アフリカ、コンゴ共、コンゴ民、ガボン、赤道ギニア、ルワンダ、サントメ・プリンシペ、チャド）の首脳が署名。同条約では、森林生態系の保全と持続可能な管理における地域協力を統合するための包括的な法的枠組みを確立することを目的としている。批准国は、生態系管理につき報告する義務を負っている。

2.2.10 他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要

(1) グローバル・PEATランド・イニシアティブ・プロジェクト (Projet de l' Initiative Mondiale pour les Tourbières)

国連環境計画 (UNEP)、国連食糧農業機関 (FAO)、グライフスヴァルト・ミレセンターの3つの主要パートナーが、コンゴ民、コンゴ共、ペルー、インドネシアの4か国で展開している取り組みで、スキルの伝達に焦点を当てている。コンゴ民では、国の関係者を対象とした泥炭地マッピングのためのキャパシティビルディングセッションを開催している。

(2) コンゴPEAT (Congo Peat)

英国政府の自然環境研究評議会 (NERC) が資金提供する研究プロジェクトで、リーズ大学の Simon Lewis 教授が主導。5年間のプログラムの主な目的は、泥炭地開発の数学的モデルを構築するために使用できる情報を特定し、泥炭地が現在どのように機能しているか、また将来的に気候変動の中でどのように変化していくのかを理解することである。具体的には泥炭サンプルを分析し、泥炭の経年変化を含むコンゴ盆地の歴史的な気候記録を復元すること、DRCでのフィールドデータ収集を含むマッピング、範囲、炭素量の推定値を拡張・改良すること、さまざまな開発・攪乱シナリオをモデル化し、これらの敏感な生態系における将来の潜在的な影響を推定すること等が含まれる。

(3) IKI プロジェクト (コンゴ盆地の泥炭地における生物多様性、炭素、水供給の保護のためのプロジェクト、Projet « Protéger la biodiversité, le carbone et les réserves d' eau dans les tourbières du Bassin du Congo »)

IKI プロジェクトのコンセプトは、第1回国別情報ワークショップの他、2019年7月にキンシャサで開催された泥炭地に関する資金・技術パートナーの会合でも発表された。2020年7月にプロジェクトデザインに関するコンサルテーションを実施。プロジェクトのドキュメントは現在作成中である。このプログラムでは、i) 実現可能な環境、ii) 生物多様性と生育・生息地、iii) 水と気候、iv) 泥炭地と生態系、v) キャパシティビルディングと知識管理の5つの軸に焦点を当てている。この取り組みは国連環境計画 (UNEP) の支援を受けている。

コンゴ共では、同プロジェクトの小規模資金でレディネス的な活動を2018年から行っている。同活動ではリモートセンシング技術の能力強化に取り組んでいる。

(4) プロジェクト CHILD (Projet CHILD)

同プロジェクトは、地球環境ファシリティ (GEF) の下、国連環境計画 (UNEP) が主導する取り組みである。地域社会の生活向上に焦点を当てている。プログラムについては設計中であるが、その一部は泥炭地の保護に焦点を当てている。

2.2.11 他ドナー・民間の今後の支援方針

(1) 中部アフリカ森林イニシアティブ（CENTRAL AFRICAIN FOREST INITIATIVE：CAFI）

中部アフリカ地域の森林保全を目的として 2015 年の国連総会の際に設立。ベルギー、EU、フランス、ドイツ（現議長国）、オランダ、ノルウェー、韓国、英国等が出資。コンゴ民、ガボン、コンゴ共、中央アフリカ、赤道ギニア、カメルーンを対象として森林保全のためのプログラムに資金を拠出している。

COP26 の開催期間中である 11 月 2 日、CAFI とコンゴ民は「2021-2031 年までのコンゴ民における緑化開発のためのパートナーシップの更新と拡大」についての共同コミュニケを発表。コンゴ民の森林減少対策として 2021 年から 2026 年までの 5 年間で CAFI から 500 百万米ドルが支援されることに合意された。コンゴ民側が森林及び泥炭地保全のため達成すべき目標は、「土地整備」「エネルギー」「農業」「森林」「保全」「再生」「土地」「鉱業・炭化水素」「人口」「行政・資源の動員」の 10 分野で設定されている。

(2) IKI プロジェクト

2022 年からは、泥炭コアプロジェクトを開始する予定。対象地域はコンゴ民・共両国に跨る Télé 湖及び Tumba 湖であり、資金規模は全体で 15 百万ユーロ。

2.2.12 実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ

コンゴ民は、泥炭地の生態系に特化した国家戦略を通じて、人々と自然のために泥炭地の価値を高める必要がある。この戦略は、地図作成、炭素蓄積量評価、泥炭地政策・戦略の法的枠組みの特定、人獣共通感染症、持続可能な生活生産などの多部門のデータに基づいて行われる予定である。泥炭地戦略は、基本的に、この生態系に関する国家ビジョンの実施部隊であり、この生態系の管理、保全、価値化のためのプログラム、プロジェクト、イニシアティブの実施のための枠組みであり、テーマ別のすべての介入の整合性を図るものである。

本協力事業関係者からのニーズとしては、(1) 制度的支援 (2) 各種機器の必要性 (3) マルチセクターデータ収集の継続が示されており、これらにつきどのように支援を行うのかを関係者間で検討する必要がある。

2.3 ペルー

2.3.1 泥炭地に係る国際的な枠組み・関連国際条約及び関係アクター

ペルーは、泥炭地に関連する 4 つの国際的な枠組み（ラムサール条約、生物多様性条約、国連気候変動枠組条約、パリ協定）に批准している（表 2.3.1.1）。それらのペルー政府フォーカルポイントは、環境省の 3 部局（環境省天然資源戦略的開発局、生物多様性総局、気候変動砂漠化総局）である。一方、アマゾンの泥炭を含む調査研究等は、環境省・アマゾン研究所（IIAP）が実施している。また、農村開発・灌漑省森林野生動物庁（SERFOR）は、2021 年 5 月、泥炭地など多量の炭素を有する生態系の保全と持続可能な利用に係る管理を担当する機関となった。

表 2.3.1.1 ペルーが批准する泥炭地関連の国際的な枠組み

	加盟	署名	批准
1) ラムサール条約	1992-03-30		
2) 生物多様性条約		1992-06-12	1993-06-07
3) 国連気候変動枠組条約		1992-06-12	1993-06-07
4) パリ協定		2016-04-22	2016-07-25

2.3.2. 国レベルの政策制度

ペルーの泥炭地に関する国レベルの政策・法令の主なものを表 2.7.2 に示す。アマゾン盆地ではこれまで泥炭地の存在が知られていたが、湿地の総称である“humedales”の一部を泥炭地とする場合が多かった。National Strategy of Wetlands (MINAM, 2015)では、アンデス高地の湿地である“bofedales”をはじめ泥炭の一部と言及した。その後、パリ協定の発効とともに気候変動の議論が急速に進み、泥炭地の管理・保全に関する注目が高まり、ペルー国内でも泥炭に関するワークショップが開催されるようになった。その結果、2020年以降泥炭地に関する政策・法令が整備され、2021年5月、湿地管理に関する一般規定が制定された。また、泥炭地を表すスペイン語として“turberas”という用語が広く使われるようになった。

表 2.3.2.1 泥炭地に直接関係する政策・法令等

政策・法令等	概 要
1. National Strategy of Wetlands (MINAM, 2015)	泥炭地は、アンデス高地の湿地である“bofedales ⁵⁷ ”の一部であると言及した。
2. Guide to assess the state of bofedales (MINAM, 2019)	Bofedales の保全と修復プロセスに関するガイドラインが示され、bofedales における泥炭地は恒久的な湿地を指し、泥炭地が有する炭素蓄積特性や水資源としての重要性が記述された。また、地下水位、泥炭の厚さ、炭素含有量の測定が bofedales の保全・修復に重要であることが示された。
3. Draft of a Technical Guide to Define Peatlands in Peru (INSH ⁵⁸ -USAID, 2020)	この草案では、既存文献のレビュー、国内関連機関や国際的研究者を交えたワークショップとインタビューで作成された。また、泥炭地の可能性がある生態系の特定や全国的に採用される予備的な泥炭地の定義が示され、現在 MINAM でレビュー中である。
4. “Matrix of Objectives - Indicators - Guidelines - Services for the process of updating the National Environmental Policy” (MINAM, 2021a ⁵⁹)	2021年2月、2030年までの国家環境政策の更新プロセスの一環で一般公開され、SERFORが泥炭地などの多量の炭素を有する生態系の保全と持続可能な利用の規制を担当する機関として特定された。
5. “General Provisions for the multisectoral and decentralized management of wetlands” (MINAM, 2021b ⁶⁰)	2021年5月、最高法令N° 006-2021-MINAMは、「他部門及び分権的 (decentralized) 湿地管理に関する一般規定」を承認した。「泥炭地を定義するためのガイド草案」の情報を参照し、泥炭と泥炭地の概念を規定するペルーの最初の政策となった。ここでは、伝統的な泥炭の使用は許可し、商業的な使用については禁止している。また、公的機関は、泥炭の保全・修復、及び持続可能な使用のために特別な措置を講じなければならない。
6. Reference Emission Level by Deforestation of Peru in the Amazon Biome, Preliminary Document for Review (MINAM, 2021c ⁶¹)	UNFCCCに提出された公式文書で、FRELには含まれないペルーの重要な炭素蓄積量として泥炭地を挙げ、ペルー全体の泥炭地における炭素蓄積量は、4.41Gt (Page et al., 2011) であるとした。この炭素量は、ペルーの地上部森林炭素量 (6.9 Gt C; Asner et al., 2014) の64%に相当し、泥炭地森林の破壊により、膨大なCO2が排出される可能性があることを言及している。

上記のうち、3. 「Draft of a Technical Guide to Define Peatlands in Peru (INSH-USAID, 2020)」は、2020年にペルー国内における関連機関の研究者が中心となり、世界の泥炭地に関す

⁵⁷ bofedales: 泥炭地を含むアンデス高地の湿地総称

⁵⁸ INSH: Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (プロジェクト名称)

⁵⁹ R. M. N° 032-2021-MINAM (<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/disponen-la-publicacion-de-la-matriz-de-objetivos-indicad-resolucion-ministerial-no-032-2021-minam-1929083-1>)

⁶⁰ Supreme Decree N° 006-2021-MINAM

⁶¹ https://redd.unfccc.int/files/nref_peru_final.pdf

る定義や特性などを比較し、ペルーの泥炭地の定義案がはじめて文書化されたものである。現在は、環境省がレビュー作業を行っている。

ペルーの泥炭地は、アマゾン盆地とアンデス高地に分布し、それぞれの泥炭地の生成環境や構成物質などが大きく異なり、地域によって名称も異なる（図 2.3.2.1）。従って、泥炭地の定義を「厚さ」や「炭素含有量」によって一律に規定せず、推奨とされる泥炭地の厚さや炭素含有量が参考として記載されるにとどめられている（表 2.3.2.2）。

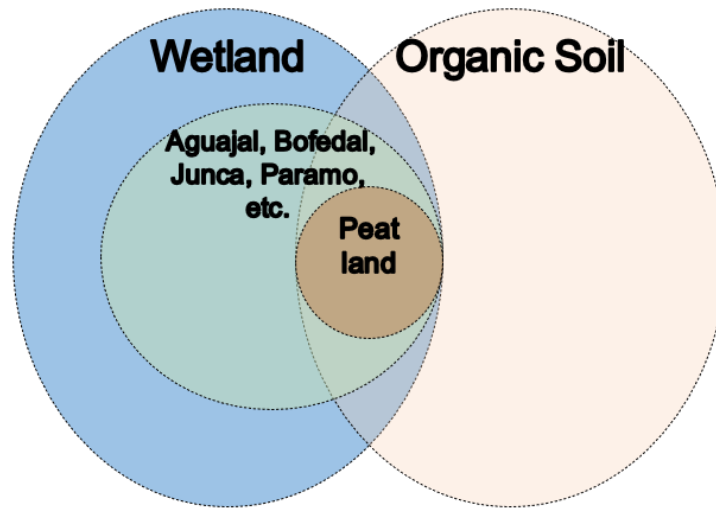


図 2.3.2.1 ペルーにおける泥炭地、湿地、有機土壌の概念図

表 2.3.2.2 泥炭の定義の事例

Organization	Minimum Carbon (wt%)	Minimum Thickness (cm)
International Peat Society (IPS), International Mire Conservation Group (IMCG)	30	—
RAMSAR	12-18	—
RSPO	35	30
ICRAF	18	50
Ministry of Environment, Indonesia	12	50

■ 泥炭地に間接的に関連する政策・法令等

一般環境法を含めて、泥炭地に間接的に関連する政策・法令の主なものを下表に示す。

表 2.3.2.3 泥炭に間接的に関連する政策・法令等

政策・法令等	ソース
1. The General Environmental Law/ 28611 (MINAM, 2005)	https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf
2. National Environmental Policy (MINAM, 2009)	https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf
3. The National Forest and Wildlife Policy/ 29763 (MINAGRI, 2017)	http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/622
4. The Forestry and Wildlife Law (MINAGRI, 2020)	https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/1124214-normativa-forestal-y-de-fauna-silvestre
5. The National Strategy for Climate Change (MINAM, 2015)	https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/306226-estrategia-nacional-ante-el-cambio-climatico-2015
6. The Framework Law on Climate Change/ 30754, (2018)	https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-marco-sobre-cambio-climatico-ley-n-30754-1638161-1
7. The Law of Natural Protected Areas/ 26864, (1997)	https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-26834.pdf
8. The Environmental Research Agenda 2013-2021 (MINAM, 2013)	http://sia.munipuno.gob.pe/documentos/agenda-investigacion-ambiental-2013-2021
9. The Water Resources Law (N° 29338, 2009)	https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf
10. The General Guide for the Environmental Compensation Plan (MINAM, 2016)	https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/RM-N%C2%B0-066-2016-MINAM.pdf

一般環境法（表 2.3.2.3 の 1）では、生物多様性の保全、天然資源の持続可能な利用、及び国の持続可能な開発に言及し、泥炭を含む湿地について第 99 条（脆弱な生態系）について以下のように規定している。特に、脆弱な生態系として、泥炭を含む湿地を *pantanos*, *bofedales*, *humedales* に分けている。

- 1) 一般環境法第 99 条第 1 項：公的機関は、その機能の行使においてその固有の特性と資源を考慮し、脆弱な生態系に対して特別な保護措置を講じ、特別な気候条件や自然災害との関係を考慮しなければならない。
- 2) 一般環境法第 99 条第 2 項：脆弱な生態系は、以下の生態系を含む。
desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos (沼地), bofedales (高地泥炭を含むアンデス湿地), bahías, islas pequeñas, humedales (aguaje 泥炭を含む一般湿地), lagunas alto andinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relicto.

- 3) 一般環境法第 99 条第 3 項：国家は、動植物の種、特に渡り鳥の生息地としての湿地の重要性を認識し、他の用途と関係性を持たせて保全を優先しなければならない

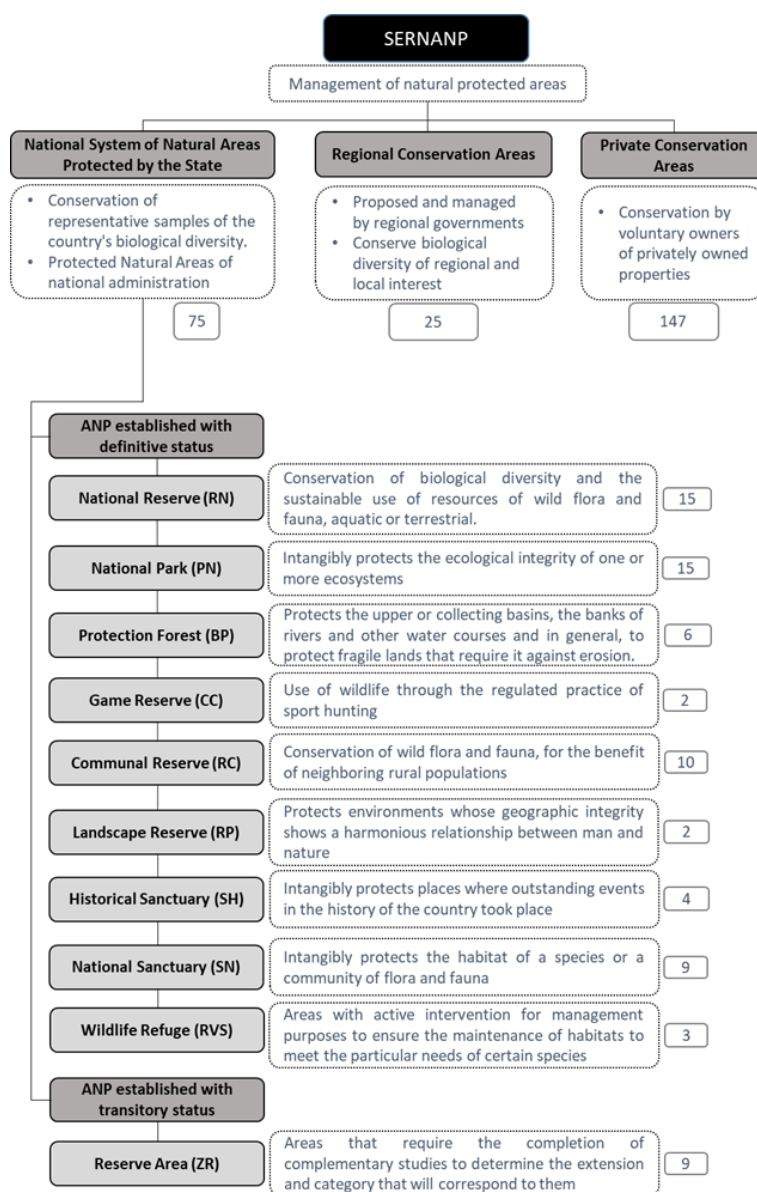


図 2.3.2.2 ペルーにおける自然保護区の分類（担当行政組織：環境省・SERNANP）

2.3.3 中央政府機関の体制及び取り組み状況

泥炭地の管理と保全に関連するペルー中央政府は、MINAM と MIDAGRI（前身は MINAGRI）の 2 組織である（図 2.3.3.1）。

MINAM は、環境規制における技術的な規則を管理し、国の環境政策を策定、指揮、監督、実行するとともに、天然資源、生物多様性、自然保護区の保全と持続可能な利用を促進し、泥炭地に関する機関は主に以下の 3 機関がある。

- IIAP：アマゾン盆地の泥炭地を含む調査研究全般
- SERNANP：自然保護区を管理
- INAIGEM：アンデスの高地泥炭地“bofedales”を主とするインベントリ管理（2014 年創設）

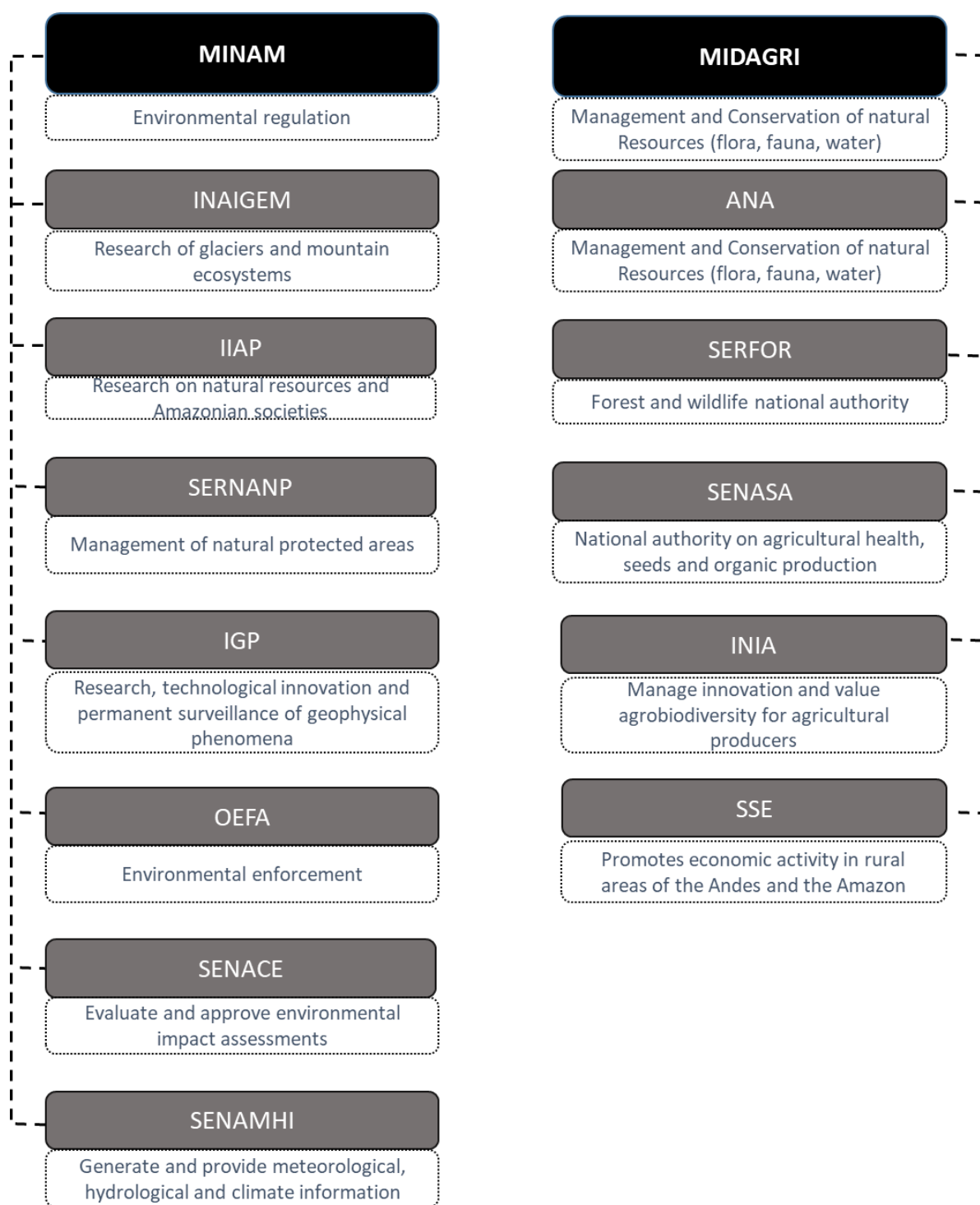


図 2.3.3.1 MINAM、MIDAGRI の組織図及び機能

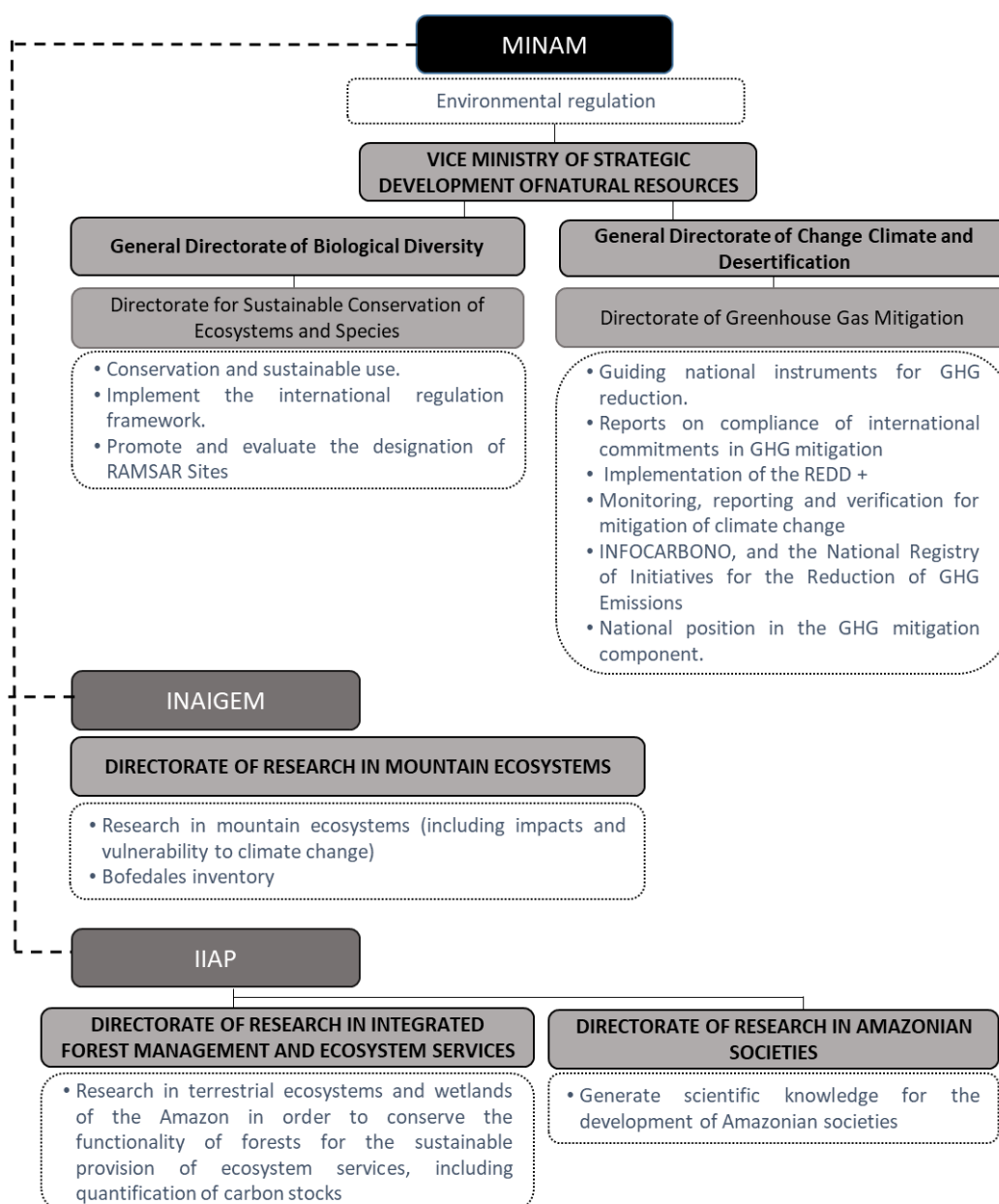
MIDAGRI (Ministry of Agrarian Development and Irrigation) は、野生動植物、水資源、農業、畜産分野の管理を行っており、泥炭地に関する機関は、主に以下の 2 機関がある。

- SERFOR：森林局に相当し、2021 年 5 月、泥炭地など多量の炭素を有する生態系の保全と持続可能な利用に係る管理を担当する機関となった。
- ANA：bofedale を含むペルー全体の湿地に関するインベントリ管理（2008 年創設）

MINAM が 2010 年に設立される前は、自然保護区を管理する SERNANP の監督省庁は MIDAGRI で

あった。MINAM 所属の INAIGEM は 2014 年に創設され、アンデスの高地泥炭地を含む “bofedales” のインベントリ管理を行っている。MIDAGRI 所属の ANA は 2008 年に創設され、bofedale を含む湿地全体のインベントリを担当する。このほか、湿地管理に関連する機関は、MINAM 及び MIDAGRI 所属の SERFOR、PRODUCE、OEFA、IIAP、IMAPRE そして地方自治体である。

国家気候変動委員会は 1993 年に設立され、気候変動枠組条約の実施、及び国家気候変動戦略の設計と推進を通じて、気候変動に係る公的部門と民間部門を監視する責任がある。すべての省庁及び関連する機関、ならびに地方政府は国家機構委員会の一部であり、環境省が事務局長を務めている。国家気候変動委員会の運営機能規則によると、MINAM、INAIGEM、及び IIAP が、現在、泥炭地に最も関連する機関である。MINAM の組織図を図 2.3.3.2 に示す。



2.3.4 州政府の体制及び取り組み状況

地方政府は、通常 5 つの管理部局（(1) 経済開発、(2) 社会開発、(3) 計画・予算、及び管轄

地域の管理、(4) インフラストラクチャ、(5) 天然資源と環境管理)からなり、(5) が泥炭地に関連する業務を行う。Loreto 州など 7 つの州では、前述の(5)の管理部局に代わって、地球環境局 (ARA) が設置されている。ARA は、地域内の環境問題、管轄地域の管理及び天然資源の持続可能な管理の権限を有する。

また、地方政府は、気候変動と生物多様性の地域戦略を策定して実施する必要があると、全国 25 州のうち 15 州は、気候変動と生物多様性の地域戦略をすでに作成している。この中で、“bofedales “、“aguajales “、“paramo “など泥炭地に関連する生態系に関して、その脆弱性や気候変動での重要性について言及している。

IIAP、INAIGEM、CCA、CIFOR、SWAMP などのプロジェクト活動の影響によって、一部の地域では泥炭地の重要性についての認識が高まっている。しかし、地方政府が泥炭地に関して特別な措置を講じることは稀であったが、Loreto 州と Cajamarca 州の 2 州では以下の対策を講じている。

Loreto 州政府 (GORE Loreto, 2021) : Loreto 州北部に位置する Medio Putumayo Algodon に自然保護区の設置に取り組んでいた。この地域には、厚さ 1~3 m の泥炭地を有する貧栄養土壌が含まれ、推定面積は 25,730.98ha に及ぶ。この地域の泥炭地は、水源がアンデス起源の川であるのに対し、他の泥炭地ではアマゾン起源の澄んだ黒い水であるため、Loreto 州の他の自然保護区に含まれる他の泥炭地とは異なる立地環境にあると予想される。また、泥炭地の重要性は炭素吸収源であり、GHG の排出削減が期待される。

Cajamarca 州政府 (GORE Cajamarca, 2020) : 泥炭を含む有機質土壌の採掘問題により、サンミゲル県とサンパブロ県で「Jalca 生態系の有機質土壌と植生被覆を保護及び保護する条例」を承認した (O.R. N° 0007-2019-GR.CAJ-CR)。

2.3.5 現場レベルの泥炭地管理・保全の取り組みの状況

泥炭地の保全活動は、アグアヘやボフェダレス (アンデス高地の湿地) など泥炭地植生を対象とした取り組みが多い。例えば、アグアヘを伐採しないで果実を採取する方法やボフェダレスにおける放牧地の管理等、泥炭地の持続可能な利用を目的としたものである。そのため、自然保護区として保全管理されている泥炭地面積は、アグアヘで 17.2%、ボフェダレスで 5.5%程度にすぎない。

また、Wildlife Conservation Society (WCS)・ペルーは、地域コミュニティの知識や経験に基づいて、泥炭地の管理・保全と持続可能な利用に取り組んでいる。例えば、化粧品用のアグアヘ・オイルの生産と販売、シャンビラ・パームの繊維を活用した製品などがある。

2.3.6 泥炭地の環境に係る基礎情報

2.3.6.1 泥炭地の管理と保全

現在、ペルーには 247 の自然保護区 (403 915.87 ha) があり、全土の 17.62%をカバーしている (SERNANP, 2020)。これらの地域のいくつかには泥炭地を含む可能性のある生態系もあるが、泥炭地の保護または管理を目的とする自然保護区はない。

Bofedales と aguajales は通常、ペルーの潜在的な泥炭地と呼ばれている。SERNANP によると、958,782.98 ha の aguajales と 29,888.03 ha の bofedales が自然保護区内に存在する。したがって、ペルーの aguajales の 17.2%と bofedales の 5.5%はある程度の保護下にある。特に Pacaya samiria 国立保護区 (Loreto 州) 内の aguajales は、最大面積 (791,140.99 ha) となる。

Aguaje (*Mauritia flexuosa*) の果実の適切な抽出と商業化に関連する管理計画が制定されている。いずれの目的も、aguaje の管理と持続可能な使用を通じて住民の経済的収入を改善することである。

Agujales の雌株を選択的に伐採することによる aguaje 果実の収穫は、時間の経過とともに、aguaje の資源を減少させ、森林構造と構成を変化させ、さらに泥炭の分解を促進し、泥炭の形成を止める可能性が指摘されている (Hergoualc'h et al., 2017)。この収穫方法による泥炭からの亜酸化窒素とメタンの排出は、生態系レベルではなくマイクロスケールに大きな影響を与えている (Hergoualc'h et al., 2020)。一方、aguaje の持続可能な管理と保全を促進するためのイニシアチブは、IIAP (Leon et al., 2008) と Loreto 州地方協会 (Quinteros et al., 2021) によって行われており、aguaje 生態系の保全と管理に貢献している。

2.3.6.2 泥炭マッピング

ペルーでは全国的な泥炭地マップはこれまでに作成されていない。ただし、泥炭を含む湿地マップについては、環境省によって作成されている。また、環境省以外にも、これまで以下のように 10 種類の泥炭地に関連するマップ (pdf ファイル形式または GIS ファイル形式) と、13 のオンラインビューアーサイトが公表されている。

- 1) National Wetlands Map (MINAM, 2012)
- 2) National Ecosystems Map and its descriptive memory (MINAM, 2019)
- 3) National Vegetation Cover Map and its descriptive memory (MINAM, 2015)
- 4) High Andean Grasslands (MINAM, 2010)
- 5) Peru Climate Classification Map (MINAM, 2020)
- 6) Hydrographic map of Peru (MINAGRI, 2009)
- 7) Hydrographic map of Peru (MINAGRI, 2009)
- 8) Soils Map of Peru (MINAM, 2010)
- 9) Map of degraded areas (MINAM, 2018)
- 10) Tropical and Subtropical Wetlands Distribution version 2 (CIFOR)
- 11) National Glacier Inventory (INAIGEM) - online viewer
- 12) Descriptive Report Of The Geological Map Of Peru Scale: 1'000,000 Standardized Digital Version - YEAR 2016 (INGEMMET) - online viewer
- 13) Geological map 100,000 bulletins and stripes (INGEMMET) - online viewer
- 14) Geological Map 50,000 (INGEMMET) - online viewer
- 15) Hydrogeological map- (INGEMMET) - online viewer
- 16) Geomorphological map- (INGEMMET) - online viewer
- 17) Miner Geological and Cadastral Information System - online viewer
- 18) Geo SERFOR - online viewer
- 19) Geoservicios SENAHMI - online viewer
- 20) Geo SERNANP - online viewer
- 21) INEI Geographic Information System (Population centers) - online viewer
- 22) Water Observatory ANA - online viewer
- 23) Geocatemin-Economico-INGEMMET - online viewer

一方、海外の研究者やドナーによって、プロジェクトベースでは以下のような泥炭マップが作成されている。

■ 熱帯泥炭地

- 1) アマゾン地域 (Gumbricht, 2017)
- 2) ロレート州パスタサ・マラニョン盆地 (Draper et al., 2014)
- 3) マドレ・デ・ディオス州 (Householder et al., 2012)
- 4) サンマルティン州及びウカヤリ州 (JICA, 2021)

■ 高地泥炭地

- 1) Ancash 州 Huascarán National Park とその周辺地域 (Chimner et al., 2019)

2.3.7 泥炭地の気候変動への影響及び貢献ポテンシャルに係る基礎情報

ペルーでは、泥炭地特有の植生“アグアヘ”から地域住民の現金収入となる果実を採取することができる。しかし、その果実を採取する際に、アグアヘを伐採して果実を採取することが問題となっている。そのため、伐採せず木にのぼって実を採取する方法が最近では推奨されている。そのような取組によって、Pastaza-Maranon 地域では、277km²の泥炭地が劣化を免れると推定されている (Draper et al., 2014)。また、二酸化炭素の排出削減量に換算した場合には、年間 0.54 百万トンに及び、IPCC の排出係数 (デフォルト値 5.3tC/ha 年) を用いると、ペルーが 2030 年まで目標としている二酸化炭素削減量である 89 百万トン (国別 GHG 削減目標 : NDC) の約 6% に相当し、気候変動対策として貢献すると考えられている (Drosler et al., 2014)。

さらに、泥炭地保全の気候変動への影響や貢献ポテンシャルの評価に対する必要性から、2021 年 5 月に最高法令 N° 006-2021-MINAM「湿地管理に関する一般規定」が制定された。これは、ペルーではじめての泥炭地に関わる法令で、気候変動への影響を考慮し、伝統的な泥炭の利用は許可するものの、商業的な利用については禁止している。また、公的機関は、泥炭の保全・修復、及び持続可能な利用のために特別な措置を講じなければならないと規定している。さらに、泥炭地の炭素蓄積量評価や GHG 放出に関する専門家会合での議論が活発化し、その結果として、NDC への取り組みを踏まえた新しい泥炭地に関わる保全・管理方針またはガイドラインの作成など、基礎情報の整備がすすめられている。

2.3.8 泥炭地由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況

Freitas et al. (2006) 及び Lähteenoja et al. (2009) は、はじめてペルーにおける泥炭地の存在を示した論文であり、Freitas et al. (2006) によると、Pacaya samiria 国立保護区の泥炭は、aguajal の総炭素の 77% (346,218,752.11 t) を示し、年間 212,788,23 tC の貯蔵または 780,223,29 tCO₂ の二酸化炭素吸収源として機能していると報告した。一方、Lähteenoja et al. (2009) は、ペルーの低地アマゾンで報告された泥炭は、インドネシアの熱帯泥炭地に匹敵する炭素蓄積量であることが推定され、ペルーのアマゾンの泥炭地は、地下に貯蔵されている炭素の量の観点から世界的に重要であると結論付けている。Draper et al. (2014) は、Loreto 州の Pastaza-Maranon 泥炭地が、ペルー最大の泥炭地複合体であることを報告し、炭素蓄積量は、1,391±89.32 t Cha⁻¹ であると報告した。

Bohemia et al. (2018) は、Pastaza-Maranon 川流域の炭素蓄積量を、上部 1 m の土壌では、330～570 Mg Cha⁻¹ であることを報告した。また、Garcia-Soria et al. (2012) は、Ucayali 州の Aguaytia 川流域で Draper et al. (2014) よりも低い炭素蓄積量 (197.86±1.28 t C) を報告した。Van Lent et al. (2018) は、Loreto 州の劣化した泥炭湿地林 (aguajal) に沿って温室効果ガス排出量を調査した結果、aguaje を繰り返し収穫することは、CO₂ フラックスの大幅な増加とメタン排出量の減少をもたらす可能性があるとして結論付けた。さらに、Del Aguila-Pasquel (2017) は、パスタサーマラニョン盆地では、南東アジアの泥炭地と比較してメタン排出量が多いことを報告した。

また、アンデスの高地泥炭地については、Cooper et al. (2010) は、Cajamarca 州の Jalca 泥炭地の高い炭素含有量 (18%-35%) について報告している。また、Chimner et al. (2020) は、Ancash の高地泥炭地において、高い平均炭素蓄積量 (2,100MgCha⁻¹) であることを報告した。

2.3.9 他ドナー・民間による泥炭地保全・管理支援事業の概要

ペルー政府は、FAO、CIFOR、英国リーズ大学、Saint Andrews 大学などの国際研究機関と協定を結んでいる。環境省・アマゾン研究所 (IIAP) がそれらの研究に関するペルー側研究機関で、

泥炭地の有機土壌中の炭素蓄積量の定量化や泥炭地の劣化と森林破壊による二酸化炭素排出量の評価などを行っている（MINAM，2021）。FAOは、泥炭地のマッピングに関するいくつかのトレーニングプログラムも実施し、ペルー政府を支援している。さらに、SWAMP プロジェクトが評価支援を行っている。詳細は以下の通り。

■ FAO/UNEP-Global Peatland Initiative (GPI)

本プロジェクトは、泥炭管理に係るすべてのステークホルダーとともに協力し、意思決定者のための重要な情報（政策的、資金的、または法的枠組み）を収集し、議論することを目的とする。ペルーでの活動は次のとおり。

- 1) 泥炭地のニーズ評価を実施する。
- 2) 二次情報に基づいて、関係者と共同で泥炭地及び関連機関の全国的なプロファイルを構築する。
- 3) ペルーの泥炭地における排出係数を開発し、社会経済的及び環境的推奨事項を策定する。
- 4) ペルーの泥炭地でのグッドプラクティスの目録を作成する。
- 5) ペルーの気候変動政策や国家気候行動計画に、泥炭地を組み込むための方法を開発する。たとえば、全国的に決定されるNDCなどが想定される。
- 6) 泥炭地のモニタリングに関する利害関係者とのワークショップを開催する。

■ The Sustainable Wetlands Adaptation and Mitigation Program (SWAMP) -CIFOR

USAID が資金提供し、CIFOR、USFS 及びオレゴン州立大学による共同の取り組みで、Silvacarbon の協力を得てペルーで実施されている。本プロジェクトでは、ペルー及び周辺国（ペルー、エクアドル、コロンビア）の泥炭地マップを2022年までに完成することを目指している。また、イキトスのQuistocochaにCO2Fluxタワーを設置し、自然状態の泥炭地と荒廃した泥炭地におけるCO2排出量の違いを計測し、地方や中央政府のためのCO2排出量推定の方法論開発支援を行っている。これまでに、キャパシティプログラムとワークショップが開催されている。

■ St Andrews University

これまでに泥炭に関するいくつかの研究を実施している。プロジェクトは、the Scottish Funding Council, the British Council and St. Andrews Universityによる資金提供で実施されている。

- 1) 2018-2019: Valuing intact tropical peatlands⁶²
- 2) 2019: Gaining cultural heritage status for Urarina textiles: a pathway to peatland livelihoods and ecological conservation in Loreto, Peru⁶³
- 3) 2019-2020: Protecting Biodiversity & Sustainable Livelihoods in the Wetlands of Peruvian Amazonia⁶⁴
- 4) 2020-2021: Oil exploitation and peatlands in indigenous territories: the impacts of oil at the extractive frontier in the Peruvian Amazon⁶⁵

⁶² <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/valuing-intact-tropical-peatlands/>

⁶³ [https://risweb.st-andrews.ac.uk/portal/en/projects/gaining-cultural-heritage-status-for-urarina-textiles-a-pathway-to-peatland-livelihoods-and-ecological-conservation-in-loreto-peru\(5c1906f3-e21c-4e0a-b277-767ca77df4f9\).html](https://risweb.st-andrews.ac.uk/portal/en/projects/gaining-cultural-heritage-status-for-urarina-textiles-a-pathway-to-peatland-livelihoods-and-ecological-conservation-in-loreto-peru(5c1906f3-e21c-4e0a-b277-767ca77df4f9).html)

⁶⁴ [https://risweb.st-andrews.ac.uk/portal/en/projects/protecting-biodiversity--sustainable-livelihoods-in-the-wetlands-of-peruvian-amazonia\(f6a67a2c-e144-4acd-abb3-9b98324d58c2\).html](https://risweb.st-andrews.ac.uk/portal/en/projects/protecting-biodiversity--sustainable-livelihoods-in-the-wetlands-of-peruvian-amazonia(f6a67a2c-e144-4acd-abb3-9b98324d58c2).html);
<https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/protecting-biodiversity-sustainable-livelihoods/>

⁶⁵ <https://risweb.st-andrews.ac.uk/portal/en/projects/oil-exploitation-and-peatlands-in-indigenous->

■ Tropical Wetlands Consortium

セントアンドリュース大学、リーズ大学（英国）、IIAP などの研究者からなるコンソーシアムで、以下の共同研究が行われ、NERC、UNEP-WCMC、CONCYTEC (FONDECYT)、マンチェスター大学、ニュートン基金によって資金が提供されている。主な研究は以下の通り。

- 1) (2017-2021): Carbon Storage in Amazonian Peatlands: Distribution and Dynamics⁶⁶
- 2) (2019-2022): ARBOLES - A Trait-based Understanding of LATAM Forest Biodiversity and Resilience⁶⁷
- 3) (2018-2021): Ecosystem dynamics of Amazonian open peatlands during the late Holocene⁶⁸
- 4) (2018-2022): Human impacts on Amazonian peatlands⁶⁹
- 5) (2019-2020): Novel approaches to understand the state of biodiversity and support livelihoods: the distribution and degradation levels of *Mauritia flexuosa* stands in Amazonia⁷⁰

■ AGUA-ANDES: Ecological infrastructure strategies for enhancing water sustainability in the semi-arid Andes

USAID が資金提供したアリゾナ大学とペルーアヤクチョ大学（UNSC）と共同で、Water Competence Centre (CCA) によって開発されたプロジェクト。このプロジェクトは水文生態学的研究が行われ、アンデス高地の泥炭地（bofedales）の特性評価、炭素測定、マッピング方法論の開発が含まれている。泥炭の炭素計測については、IRD と共同で評価が行われた。プロジェクトは2018年に終了した。

2.3.10 他ドナー・民間の今後の支援方針

■ FAO/UNEP- Global Peatland Initiative (GPI)

GPI のペルーでの活動は、5年間の延長が決定された。GPI は2019年12月のCOP25からペルー環境省とコンタクトを継続し、これまでにオンラインのワークショップを5回開催している。最新のワークショップは、コンゴ民・コンゴ共、インドネシアと共催し、多国間ハイレベル会合となる予定（2021年7月5日に開催予定）。

■ The Sustainable Wetlands Adaptation and Mitigation Program (SWAMP)

本プロジェクトは、泥炭からの二酸化炭素排出量推定手法開発だけでなく、泥炭地のマッピング方法、泥炭地の保存・修復に関して引き続き今後も支援が行われる予定で、アマゾン泥炭地を対象とするNDCに関する議論がまもなく始まる予定。

2.3.11 実施中の協力事業で得られた課題・教訓及びニーズ

カウンターパート機関内で泥炭地に関わる業務に割り当てられる人員・予算に課題がある。また、担当者の頻繁な交代も課題として挙げられる。従って、泥炭地に関わる業務の重要性や泥炭地保全に関わるビジョンやロードマップを示し、人員・予算を確保する必要がある。一方、気候変動における議論の高まりによって、泥炭地の分布や炭素蓄積量の正確な把握が重要になってき

territories-the-impacts-of-oil-at-the-extractive-frontier-in-the-peruvian-amazon(9bdda4e4-6f01-454c-b53c-7c924e331cc8).html

⁶⁶ <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/carbon-storage-in-amazonian-peatlands/>

⁶⁷ <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/arboles/>

⁶⁸ <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/ecosystem-dynamics-of-open-peatlands/>

⁶⁹ <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/human-impacts-Amazonian-peatlands/>

⁷⁰ <https://tropicalwetlands.wp.st-andrews.ac.uk/en/novel-approaches-mauritia-flexuosa/>

ているが、泥炭地の定義やマッピングの方法論については十分に議論が行われていないことも課題となっている。ニーズは以下の通り組織によって異なるが、泥炭地マッピング、劣化修復、インベントリーなどにおいてニーズが高い。

■ MINAM

- 1) ペルーの泥炭地マッピング
- 2) 泥炭地修復の方法論
- 3) NDC への泥炭地の統合（方法論、現場での評価など）>

■ INAIGEM

- 1) 復旧プロジェクトのための高地アンデス泥炭地植物の繁殖
- 2) 高地アンデスの泥炭地のバイオレメディエーション能力（進行中）
- 3) ボフェダレスのインベントリのための高地アンデス泥炭地のマッピング（進行中）
- 4) ボフェダレスの復元（パイロット実験あり）

■ IIAP

- 1) 気候変動の影響：恒久的なプロットでの植生、水文学、炭素などの泥炭地のモニタリング
- 2) 温室効果ガスのインベントリ
- 3) アマゾン泥炭地の持続可能な利用
- 4) アマゾン泥炭地植生（aguajales）の回復
- 5) アマゾン泥炭地の植物の発芽に対する気候変動の影響

第3章 泥炭地マッピング（ボーダリング）

3.1 熱帯泥炭地の泥炭地マッピング手法の情報整理

熱帯泥炭地が広く分布するインドネシア・マレーシア、ペルー、コンゴ盆地では、様々な泥炭地マップが作成されている。インドネシア・マレーシアの多くの泥炭地マップは、地上ボーリング調査に基づいているため、衛星画像を用いて他の地域に適用可能なマッピング手法はない。ペルーでは、Drapper et al. (2014) が、Pastaza-Maranon 地域を対象として、衛星画像を用いたマッピングを行ったが、Support Vector Machine (SVM) による手法⁷¹であるため、泥炭地における衛星画像の特性などが詳細に記述されておらず、前者と同様、他の地域に適用可能なマッピング手法ではない。また、コンゴ盆地では、Dargie et al. (2017) が、解析に使用された衛星画像の種類、参照情報（地上ボーリング調査と土地被覆情報の調査地点数）が記載されているものの、泥炭地における衛星画像のスペクトル特性等については記述が無いため、他の地域への適用性や再現性も低い。

ここでは、Dargie et al. (2017) で報告されたコンゴ盆地の泥炭地マッピングにかかる衛星画像解析手法について情報を整理した。

3.1.1 Dargie et al. (2017) によるコンゴ盆地の泥炭地マッピング手法

Dargie et al. (2017) の泥炭地マッピング手法は、1) 衛星画像解析（泥炭ポテンシャル地抽出）、2) 現地調査、3) 現地調査データに基づく最尤法による衛星画像解析の3つのパートに分かれ、以下の通り概要を示す。

- 1) 衛星画像解析 I（泥炭ポテンシャル地抽出）：3種類の衛星画像（SRTM 数値標高モデル、ALOS/PALSAR 及び Landsat-7/ETM+）から、a) 地形区分（高地と急傾斜地を除外）、b) 水域抽出（森林中の水域）、c) 植生分類（泥炭に関連する植生を分類）を行い、泥炭ポテンシャル地を抽出。
- 2) 現地調査：泥炭地ポテンシャル地として抽出されたコンゴ共北部（ROC）の約 40,000 km² のエリア内に 2.5~20 km の 9 トランセクトを選定し、現地調査を実施した。このうち、8 トランセクトで泥炭が確認され、泥炭地の特徴は以下のように報告されている。
 - a. 泥炭地の地形的特徴
 - 4つのトランセクトは、貧栄養のブラックウォーター川/ Likouala-aux-herber River (pH 3.8) に垂直方向に広がるエリア。
 - 3つのトランセクトは、栄養分が豊富な急流のホワイトウォーター川/ Ubangui River (pH 7.4) に垂直方向に広がる。栄養分が高いホワイトウォーター川は、乾季の泥炭分解を促進させるため泥炭の形成を妨げるため、ホワイトウォーター川周辺に分布する放棄された水路周辺には泥炭が存在しない。ただし、高い河岸堤防が形成されている場合、ホワイトウォーター川の河川水は泥炭湿地に混入せず、泥炭形成に影響を与えていないと考えられる。
 - 残りの1つのトランセクトは、これら2つの川の間地点に位置する。
 - b. 泥炭試料の室内解析結果
 - 各トランセクトでは 250m ごとに泥炭試料が採取され、泥炭の厚さは泥炭地の端から中心にかけて増加し、2つの川の間地点付近で最大深度 5.9 m となった（泥炭平均深

⁷¹ 教師あり学習を用いるパターン認識モデルの一つである

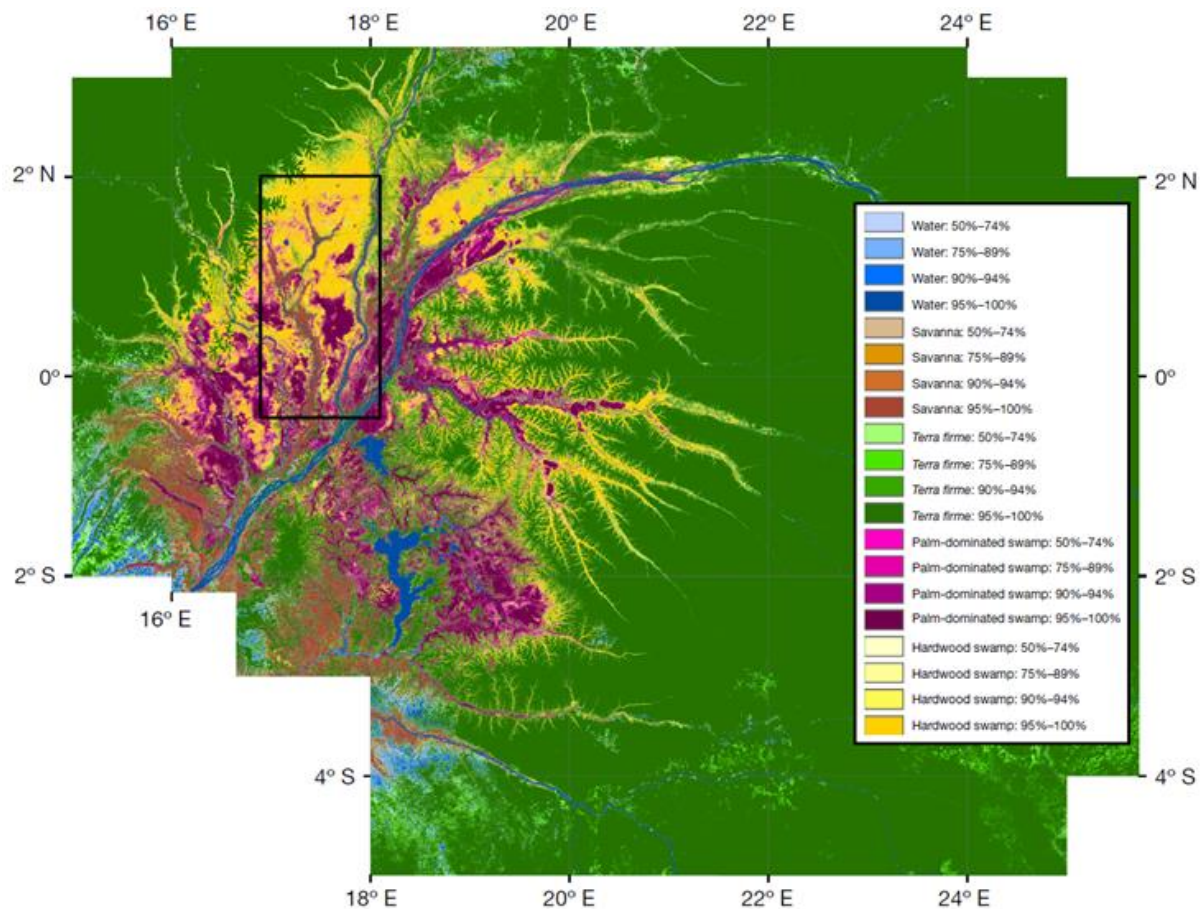
度：2.4 m、95%信頼区間 (CI)：2.2～2.6 m、測定点数：211箇所)。これらの泥炭の厚さは、他の多くの熱帯泥炭地よりも浅く、基底部の泥炭試料から得られた炭素放射年代は10,554～7,137 cal/yr/BP。この年代は、完新世初期のアフリカ湿潤期初期（約11,000～8,000 cal/yr/BP）と一致する。

なお、泥炭地の定義は、泥炭の厚さ0.3 m以上、有機物含有量65%以上の堆積物としている。

3) 衛星画像解析 II（現地調査データに基づく衛星画像解析による泥炭地抽出）

- a. 現地調査結果から泥炭地は、①広葉樹湿地林 (*Uapaca paludosa*, *Carapa procera*, *Xylopia rubescens* 等) と、②ヤシ (*Raphia laurentii* 及び *Raphia hookeri*) を中心とする湿地林の2種類に相関性が高いことが確認され、③テラファーム (Upland/Dryland)、④季節浸水林、及び⑤サバンナでは泥炭地は確認されていない。そのため、広葉樹湿地林とヤシが優勢な湿地林に注目して、衛星画像解析により Cuvette Centrale 内の泥炭地を推定している。
- b. 現地調査で得られた516地点の土地被覆情報を使用して、以下の8つのデータについて1000回の最尤法分類を行い、145,500km²の泥炭地確率マップを作成した⁷²。
 - 1) ALOS/PALSAR (HV) 50m
 - 2) ALOS/PALSAR (HH) 50m
 - 3) ALOS/PALSAR (HV/HH 比) 50m
 - 4) SRTM/DEM 50m
 - 5) SRTM/Slope 50m
 - 6) Landsat-7/ Band-3 50m
 - 7) Landsat-7/ Band-4 50m
 - 8) Landsat-7/ Band-5 50m

⁷² Dargie et al. (2017)

図 3.1.1.1 コンゴ盆地の泥炭地分布⁷³

3.1.2 Dargie et al. (2017)によるマッピング手法の課題

Dargie et al. (2017)は、現地調査情報（ボーリング調査 211 地点、土地被覆調査 516 地点）と衛星画像（Landsat-7 の 3 バンド、ALOS/PALSAR の 2 偏波と比演算値、SRTM/標高値・傾斜）を使用して、泥炭地確率マップを作成しているが、以下のような点が明らかにされていないため、同様の衛星画像を使用して解析を行っても、再現性が得られない問題がある。

- 1) Landsat-7 及び ALOS/PALSAR の具体的な画像観測日が示されていない。
- 2) Landsat-7 は 2003 年以降ノイズが発生しているにもかかわらず、2000 年、2005 年、2010 年の年間反射率（中央値）を使用。
- 3) Landsat-7 の 3 つのバンド（バンド 3，4，5）の泥炭地におけるスペクトル特性が全く示されていないため、植生分類の閾値設定の妥当性など分からない。
- 4) PALSAR は 2007 年から 2010 年のデータを使用しているが、雨季と乾季の区別など考慮しているか不明。
- 5) PALSAR 画像では地表面の水位や水域の分布によって、大きく Backscatter 値が異なるため、機械的に解析しても、泥炭地の特徴量を正確に評価することは不可能。

⁷³ 出典：Dargie et al., 2017

3.2 本調査における熱帯泥炭地の泥炭地マッピング手法

3.2.1 光学衛星を主とした泥炭地マッピング

Dargie et al. (2017)の手法は、解析に使用した衛星画像の特徴など詳細な記述がされていないため、再現性が低い問題がある。特に、彼らが使用した Landsat-7 はノイズが多いため、ノイズ除去の手法や泥炭地の植生のスペクトル特徴が示されていない。また、ALOS/PALSAR の HH 偏波及び HV 偏波の雨季・乾季における特徴など不明である。そのため、調査では、無償衛星画像とフリーソフトを使用して、誰でも泥炭地のマッピングが行えることを基本として開発することとし、以下にその手法を示す。

衛星画像を用いた泥炭地マッピング手法では、衛星画像のほかに、地上ボーリング調査データや土地被覆図を利用することが重要である。本調査のコンゴ盆地の場合には、地上ボーリング調査データは入手できないため、泥炭地の分布が把握されている既存の土地被覆図を活用する必要がある。位置情報など泥炭地の空間的な分布情報が利用できれば、それらの場所に対応する衛星画像と比較し、泥炭地の植生に関する特性を捉えることができる。その結果、周辺地域の泥炭地ポテンシャルも評価することが可能となる。今回は、コンゴ盆地中央に位置する Mbandaka の土地被覆図が入手できたのでその情報を活用した。

3.2.1.1 光学センサ Sentinel-2 の活用方法

(1) Mbandaka 近郊の Jardin Botanique d' EALA 土地被覆図

Greifswald Mire Centre (GMC) によって Mbandaka 近郊で、泥炭を含む土地被覆図が作成されている（図 2-1）。本調査では、この土地被覆図を用いて、各植生に対応する Sentinel-2 画像のスペクトル解析を行い、泥炭地のマッピング手法を開発した。Mbandaka は、コンゴ盆地中央の赤道州に位置する人口 73 万人の中規模の都市である。その中心から東約 3km に泥炭地を含む湿地 “Jardin Botanique d' EALA” がある（図 3.2.1.1）。泥炭地の植生は大きく以下の 3 種類に分類され、図 3.2.1.2 をみると、Palm swamp が Hardwood swamp forest を取り囲むようにも見える。

Jardin Botanique d' EALA の泥炭植生は主に以下のとおり。

- 1) Palm swamp
- 2) Hardwood forest mixed with palms
- 3) Hardwood swamp forest



図 3.2.1.1 コンゴ盆地中央に位置する Mbandaka と Jardin Botanique d' EALA 泥炭地



図 3.2.1.2 Greifswald Mire Center 作成の Mbandaka 近郊の泥炭地植生マップ

Mbandaka は、Dargie et al. (2017) の泥炭マップでは、泥炭に区分されているか不明瞭であるが、CongoPeat の 50m 分解能の泥炭地マップと GMC マップの泥炭地植生の場所は良い一致を示す (図 3.2.1.3)。図 2-3 の黄色のポリゴンが CongoPeat の泥炭地を表す。

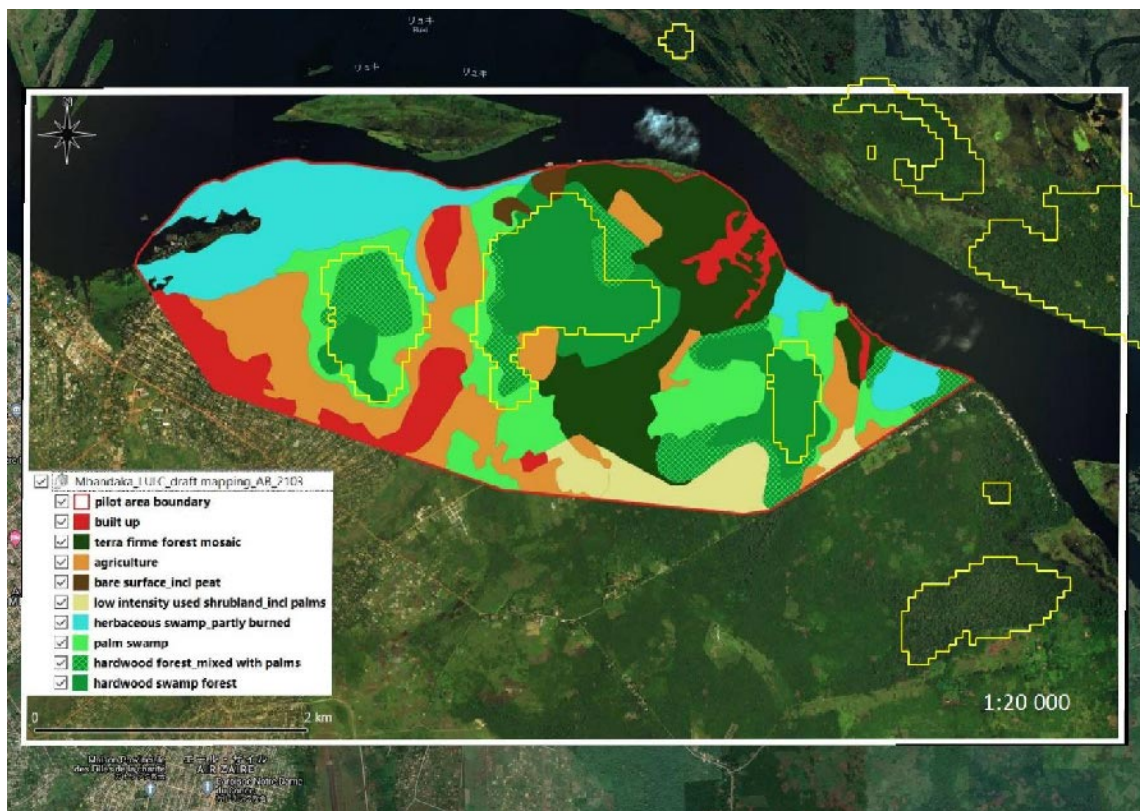


図 3.2.1.3 Greifswald Mire Center 作成の Mbandaka 近郊の泥炭地植生マップと Congo Peat の泥炭地マップの比較

泥炭地を含む植生の7種類は以下のとおりである。これら7種類の植生について教師⁷⁴となるサンプルエリアを選定し、各反射スペクトルを比較した結果を表3.2.1.1及び図3.2.1.4に示す。

- Palm swamp
- Hardwood forest mixed with palms
- Hardwood swamp forest
- Terraferme forest mosaic
- Herbaceous swamp
- Low intensity used shrubland incl palms
- AgriculturePalm swamp

表 3.2.1.1 泥炭地植生7種類のスペクトル特性

Land-Cover Type	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8A	B11	B12
Palm swamp	0.024	0.052	0.033	0.085	0.228	0.278	0.300	0.168	0.084
Hardwood forest mixed with palms	0.025	0.050	0.033	0.082	0.220	0.268	0.290	0.169	0.081
Hardwood swamp forest	0.026	0.050	0.035	0.084	0.209	0.252	0.276	0.158	0.078
Terraferme forest mosaic	0.020	0.042	0.028	0.075	0.225	0.291	0.313	0.156	0.072
Herbaceous swamp	0.032	0.075	0.042	0.115	0.319	0.383	0.422	0.213	0.115
Low intensity used shrubland incl palms	0.020	0.046	0.029	0.082	0.236	0.298	0.327	0.172	0.081
Agriculture	0.025	0.051	0.036	0.091	0.243	0.300	0.328	0.178	0.087

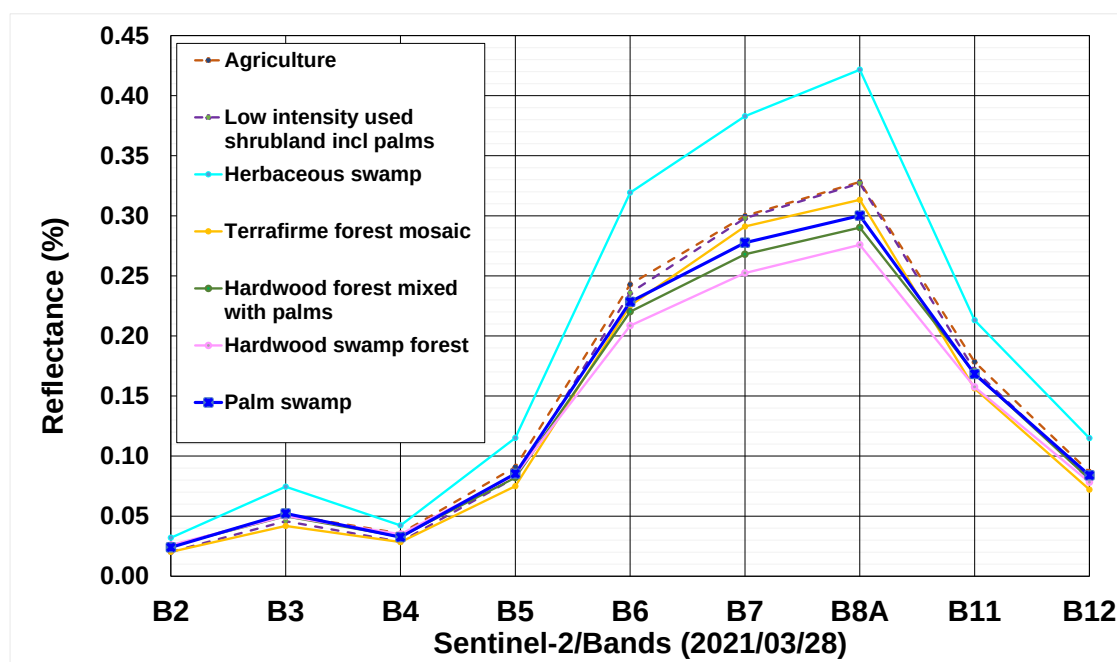


図 3.2.1.4 泥炭地植生7種類の Sentinel-2 画像のスペクトル特性

泥炭地植生である Hardwood swamp forest がバンド5～バンド12において、最も低いスペクトル反射を示し、続いて Hardwood forest mixed with palms 及び Palm Swamp が低いスペクトル反射を示す。また、非泥炭地植生は、いずれも泥炭地植生よりもスペクトル反射が高い。このこと

⁷⁴ 画像解析に必要となる真値（教師データ）

は、泥炭地植生を他の植生から区分することが可能であることを意味している。さらに、各スペクトルの反射を比較するためボックスプロット図を作成し、泥炭地植生と非泥炭地植生の詳細なスペクトル特性を検討した（図 3.2.1.5）。

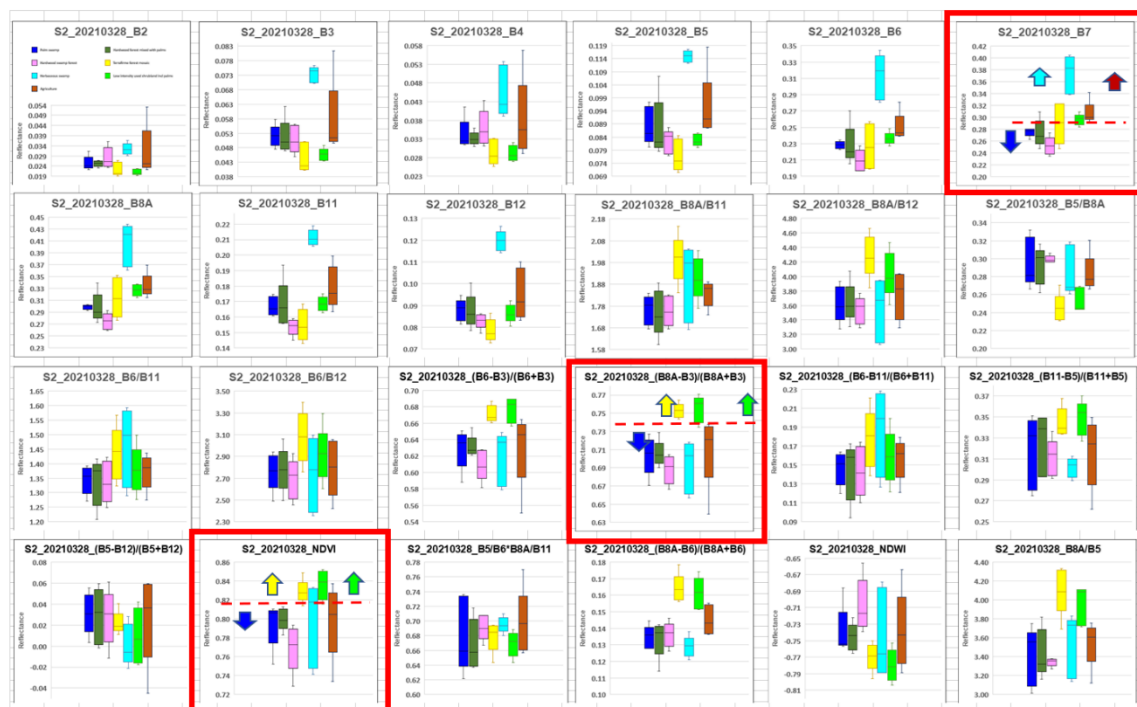


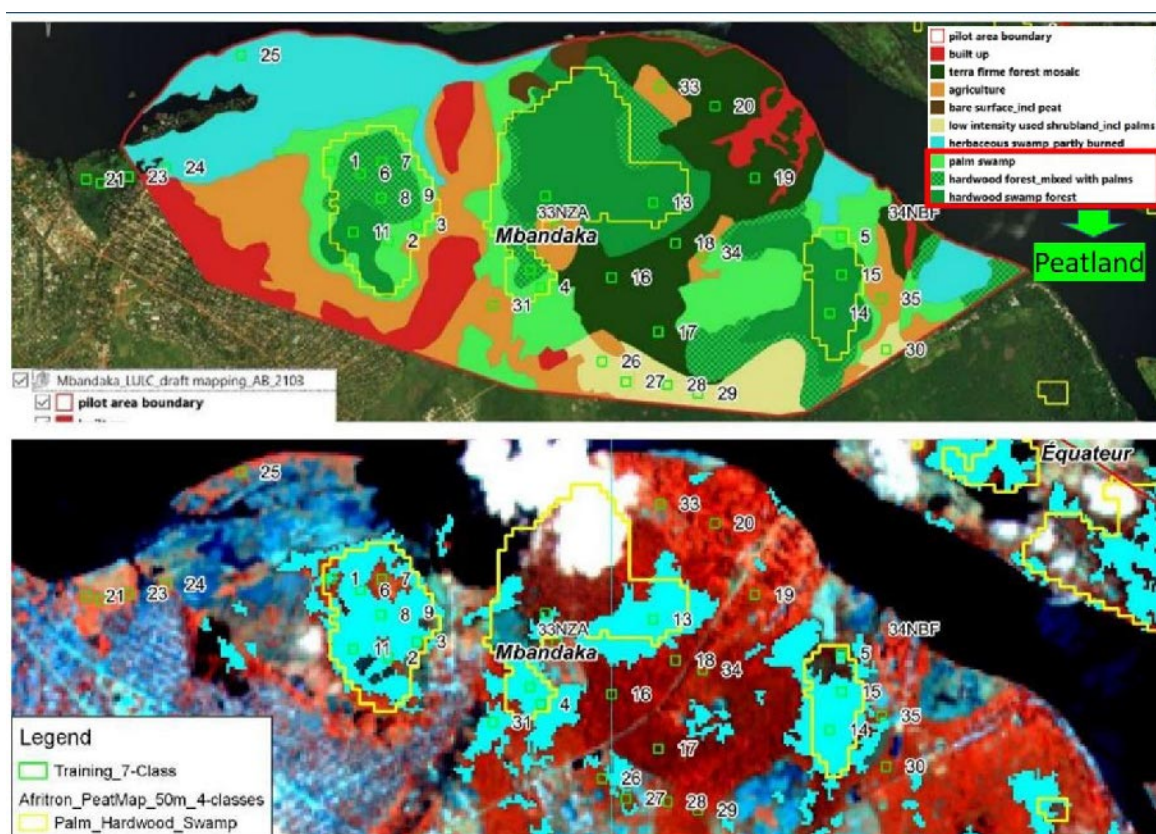
図 3.2.1.5 泥炭地植生 7 種類の Sentinel-2 画像におけるスペクトル特性（ボックスプロット図）

図 3.2.1.5 の赤枠が、特徴的なスペクトル特性が見られる。このスペクトル反射値をもとに閾値を設定することで、それぞれの植生を分離することができ、具体的に以下のステップで 3 つの泥炭地植生を抽出した。

- 1) Step-1 : NDVI の閾値を 0.6 で設定。0.6 以上を植生、0.6 以下を非植生とする
- 2) Step-2 : $(\text{Band}8A - \text{Band}3) / (\text{Band}8A + \text{Band}3) = 0.79$ を設定。0.79 以下を泥炭地植生、0.79 以上を Terra firme forest mosaic 及び Low intensity used shrubland incl palms として除外。
- 3) Step-3 : $\text{Band}7 = 0.29$ を設定し、0.29 以下を泥炭地植生、0.29 以上を Herbaceous と Agriculture として除外する。

上記のステップを適用した結果を図 3.2.1.6 に示す。

CongoPeat/AfriTron の泥炭地マップの分布範囲と抽出された泥炭地植生（下図の水色）が概ね一致する。ただし、GMC の土地被覆図が 2013 年作成であるため、現在の土地被覆状況（植生タイプ）と異なる可能性があり、最新の土地被覆図を入手するか現地調査を実施することで修正できる。



注：泥炭地のポテンシャル分布（下図青色部分）

図 3.2.1.6 泥炭地植生 7 種類のスペクトル特徴に基づいた泥炭地のポテンシャル分布

上記の通り、光学センサ（Sentinel-2）を用いて Mbandaka の Jardin Botanique d' EALA 泥炭地について、Greifswald Mire Centre (GMC) の土地分類図を参考に、泥炭地植生を抽出した結果、CongoPeat/AfriTron 泥炭地マップの泥炭分布範囲と整合する結果が得られ、本手法の有効性が確認できる。

(2) Sentinel-2 画像の注意点

前述のとおり、泥炭を含む土地被覆図が利用できれば、Sentinel-2 と PALSAR 画像のスペクトル特性及び backscatter 値特徴から、泥炭地を抽出することが可能となる。Mbandaka の土地被覆図を含む Sentinel-2 画像の北側地域において、Sentinel-2 のスペクトル情報の閾値を設定して泥炭地の抽出を試みた結果、2 つの画像の境界部で、下図のように画像調整にズレが生じた。

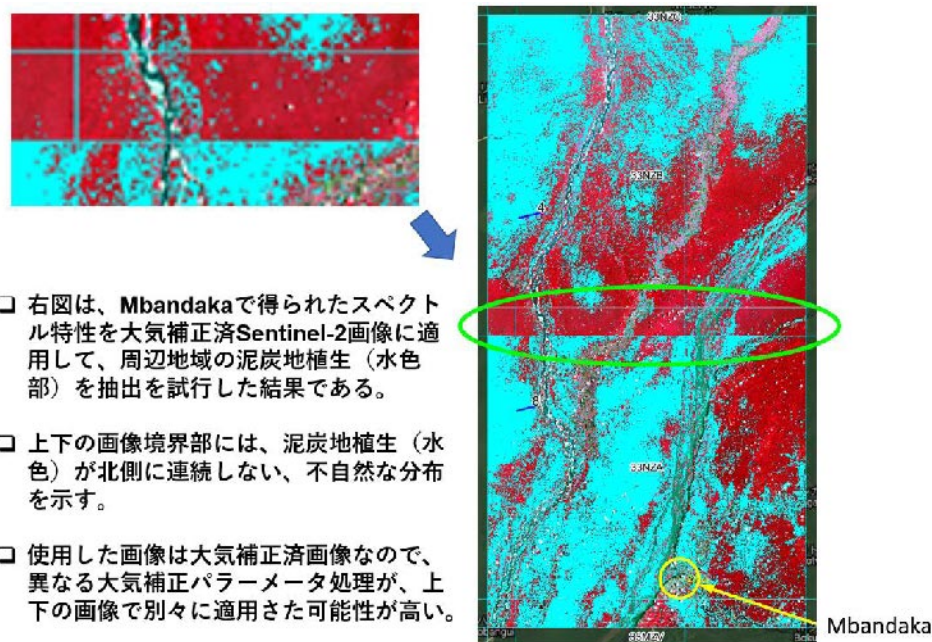


図 3.2.1.7 Sentinel-2 画像の画像間境界の不連続

大気補正済の Sentinel-2 画像で2つの画像境界で泥炭地植生の分布が不連続する。この理由として考えられるのは、上下の異なる画像に対して、異なる大気補正パラメータを適用されていることである。そのため、(1)大気補正済画像（レベル2A）と(2)大気補正未処理画像（レベル1C）について、同一直線の DN 値を比較したところ、(1)ではスペクトル値に差が生じ、(2)ではスペクトル値に差が無いことを確認できた。従って、近接画像の間に生じるギャップは、大気補正プロセスによるものと考えられる（図 3.2.1.8）。

- ❑ 左図は、Mbandakaを含む大気補正済のSentinel-2画像（上下2タイル）である。右図は、上下2タイルの重なる部分の拡大部で、黄色い直線はスペクトル断面線を示す。

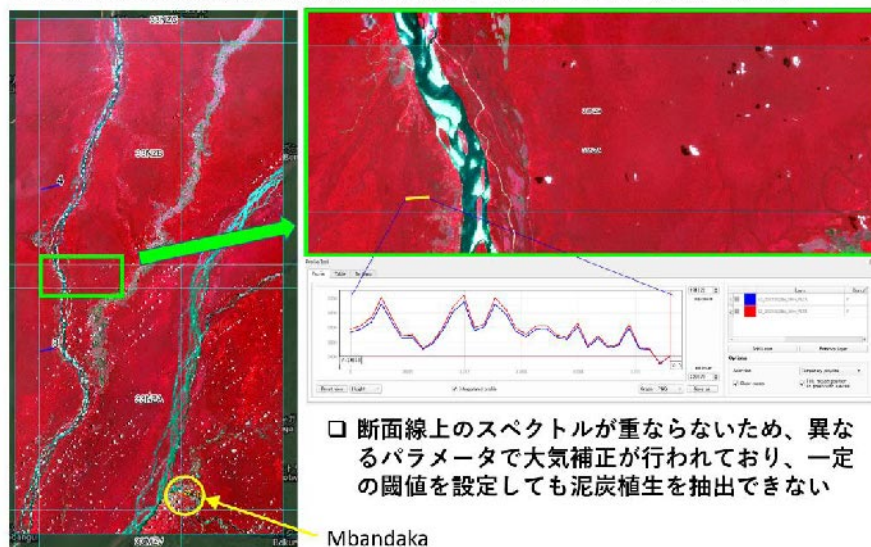


図 3.2.1.8 大気補正済及び大気補正未処理の Sentinel-2 画像の2画像間の DN 値の変化

以上の結果から、本手法では大気補正未処理画像を使用することとし、再度泥炭地植生のスペ

クトル解析を大気補正未処理画像について行い、以下のスペクトル条件を設定した。また、各スペクトル特性については、表 3.2.1.2 と図 3.2.1.9 に示す。これらの閾値を用いて、画像全域で泥炭地抽出を行った結果、大気補正済画像の 2 画像間に生じた不自然なギャップは、大気補正未処理画像には認められなかった（図 3.2.1.9）。

表 3.2.1.2 大気補正未処理画像（レベル 1C）の土地被覆別スペクトル値

Land-Cover	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8A	B11	B12
Palm swamp	0.096	0.088	0.061	0.088	0.202	0.260	0.286	0.154	0.064
Hardwood forest mixed with palms	0.096	0.087	0.061	0.086	0.196	0.250	0.276	0.152	0.063
Hardwood swamp forest	0.096	0.088	0.061	0.085	0.189	0.239	0.266	0.143	0.060
Terrafrime forest mosaic	0.092	0.082	0.055	0.080	0.203	0.271	0.299	0.141	0.056
Herbaceous swamp	0.102	0.102	0.070	0.104	0.255	0.325	0.367	0.188	0.086
Low intensity used shrubland incl palms	0.091	0.083	0.056	0.084	0.210	0.272	0.309	0.152	0.062
Agriculture	0.095	0.087	0.059	0.089	0.213	0.275	0.311	0.160	0.066

大気補正未処理画像の
スペクトル（レベル1C）

大気補正済画像のスペ
クトル（レベル2A）

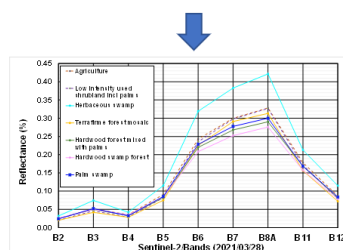
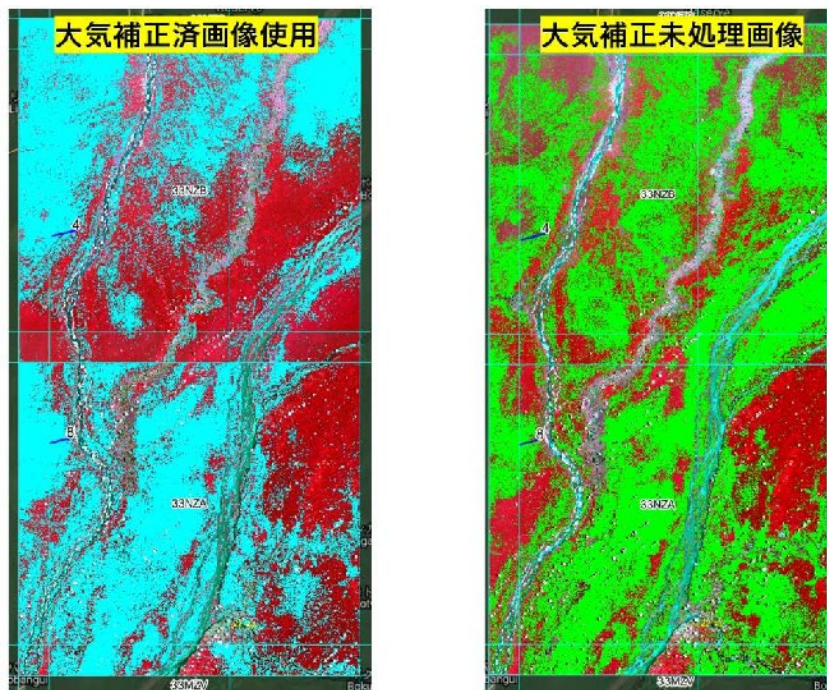


図 3.2.1.9 大気補正済及び大気補正未処理 Sentinel-2 画像における泥炭地植生のスペクトル特性

(3) 大気補正未処理画像を用いて泥炭植生（Palm & Hardwood）を抽出する手法

- Step-1 : $NDVI > 0.6$ で植生/非植生を分離
- Step-2 : $B5/B8A > 0.29$ で Terrafrime と Low intensity shrubland を分離
- Step-3 : $(B5-B12)/(B5+B12) > 0.14$ で Herbaceous を分離
- 残りは泥炭地植生 (Palm&Hardwood)

さらに、2021 年 3 月 28 日に観測された Nioki までの連続する画像 5 シーンについて上記スペクトル特性の閾値を設定して泥炭地を抽出した（図 3.2.1.10 及び図 3.2.1.11）。画像で示される通り、Mbandaka 周辺は雲に覆われていないため、良好な結果が得られているが、Nioki を含む南部地域は雲に覆われており、泥炭地として抽出された場所が限られた。また、現地調査の結果 Nioki 周辺の泥炭地は Palm が優勢な植生であるため、Mbandaka の植生タイプとは異なり、PALSAR/FBS モード画像が有効となることが分かっている。今後、現地調査データの収集を継続することにより、本手法の改良を加えることができる。



出典：持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認調査団 作成

図 3.2.1.10 大気補正済及び大気補正未処理の Sentinel-2 画像における泥炭地植生のマッピング結果の比較

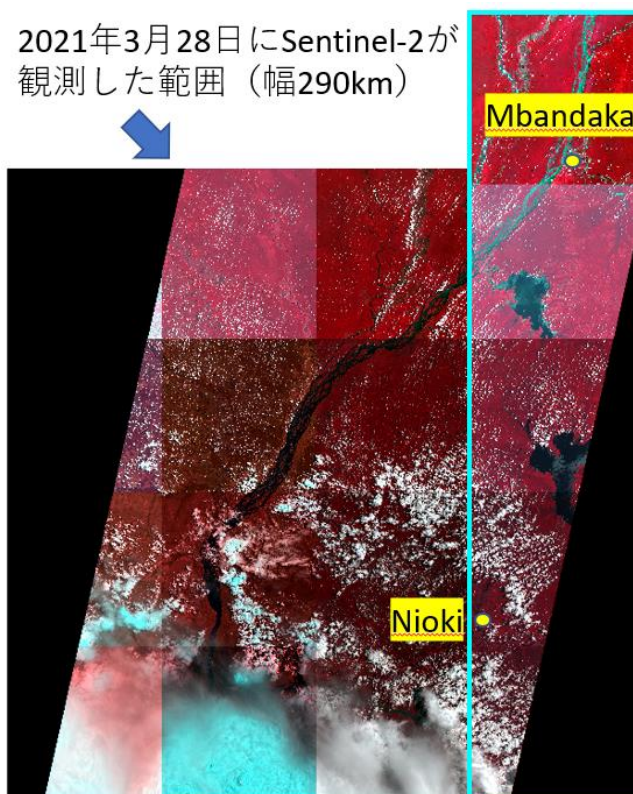
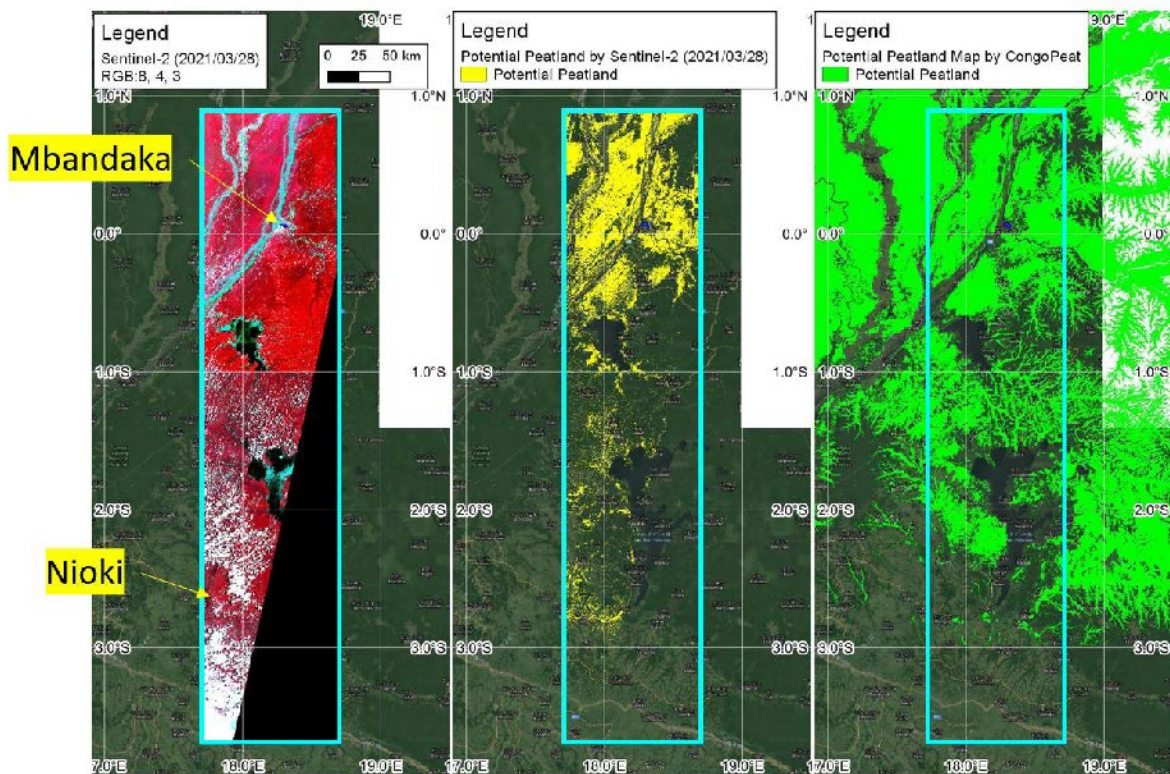


図 3.2.1.11 Mbandaka から Nioki を含む 2021 年 3 月 28 日に観測された Sentinel-2 画像



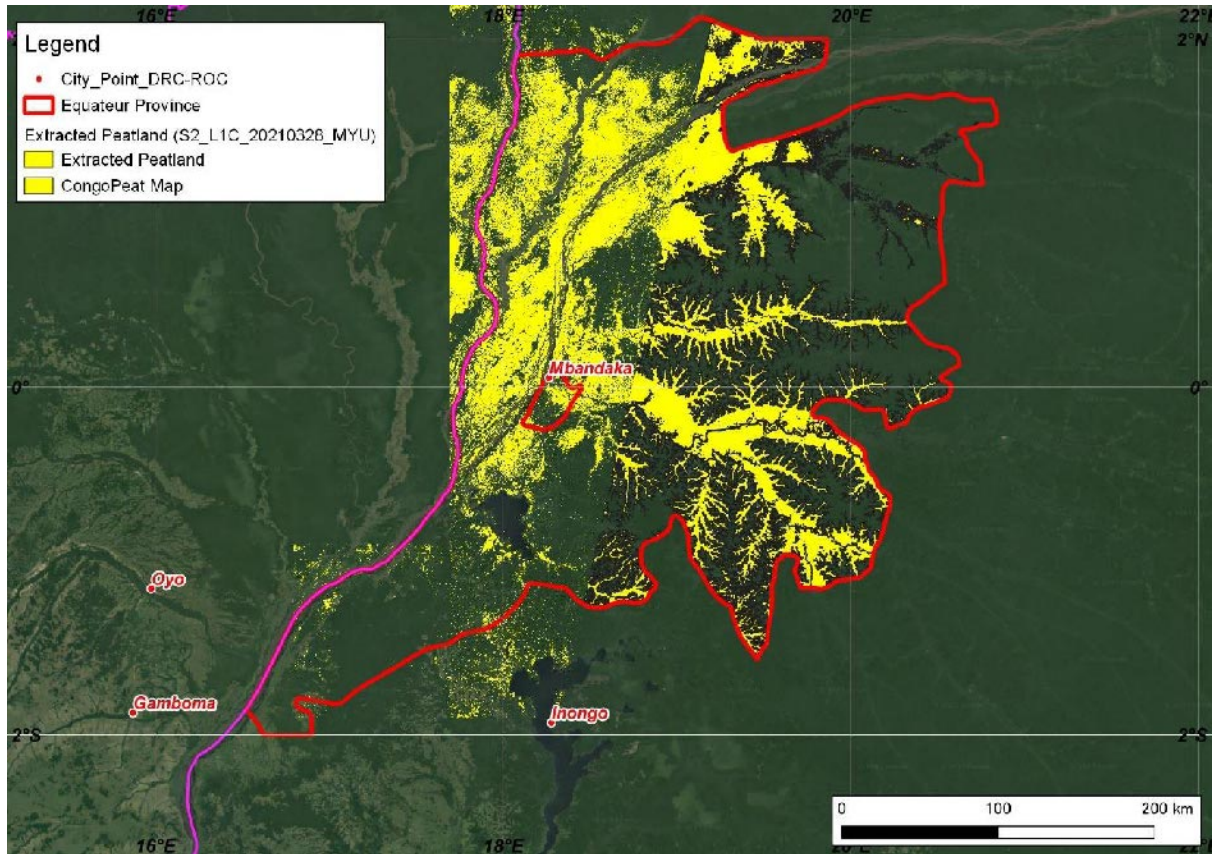
注：(左)Sentinel-2 画像、(中央)本手法による泥炭地抽出結果、(右) CongoPeat の泥炭地マップ

図 3.2.1.12 2021 年 3 月 28 日に観測された Sentienl-2 画像を用いた泥炭地抽出結果

3.2.1.3 赤道州全域の泥炭地ポテンシャルマップ

前述の手法を用いて赤道州全域の泥炭地ポテンシャルマップを作成した（図 3.2.1.13）。赤道州の東側半分は、Mbandaka から Nioki を観測した衛星画像の取得日（2021 年 3 月 28 日）と異なる軌道であるため、スペクトル解析の閾値設定の適用はできないことから、東側半分は既存の CongoPeat 泥炭マップを改訂して西側半分の画像解析結果と統合した。

既存 CongoPeat 泥炭マップでは、コンゴ本流内に点在する大小の島であっても、泥炭としてマッピングされている（図 3.2.1.14 の右図中の茶系部分）。そこで、SRTM/DEM の標高値を調べた結果、概ね標高 330m の部分がコンゴ川本流と一致するため、標高 330m 以下の部分を泥炭地以外として取り除いた。そのほか、植生のスペクトル特徴や標高特徴などに基づかない泥炭地候補については、マニュアルで泥炭の範囲を修正した。



3.2.1.13 2021年3月28日に観測された Sentinel-2 画像を用いた赤道州泥炭地抽出結果

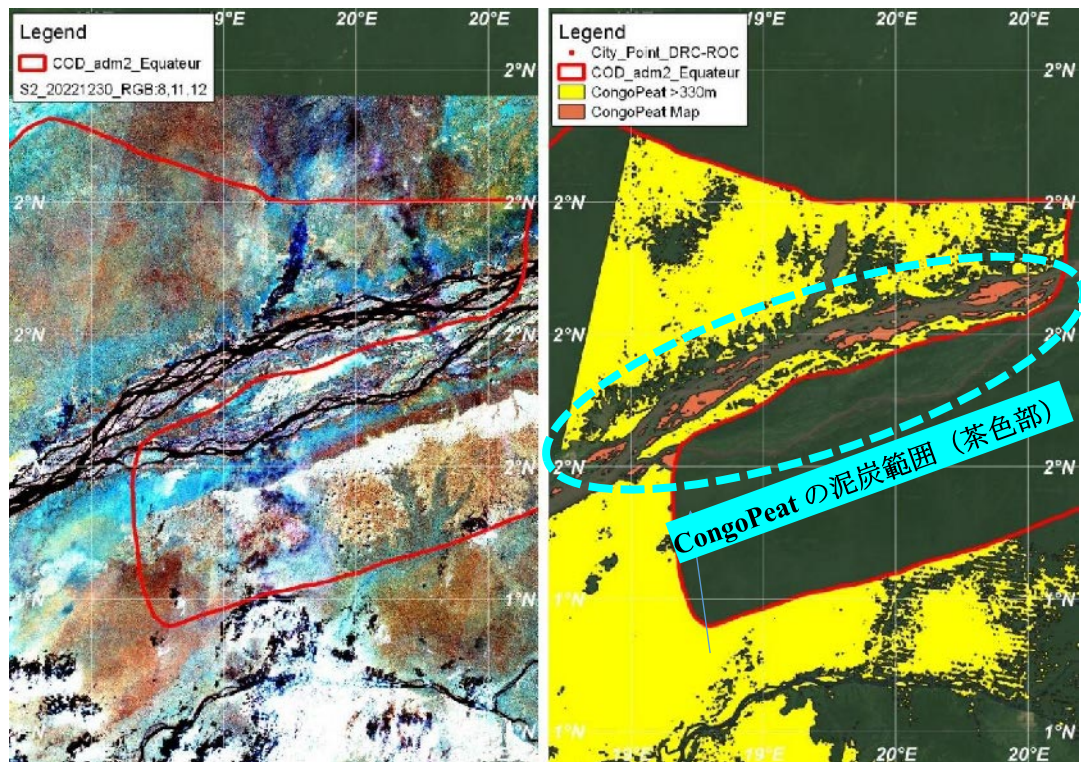


図 3.2.1.14 2021年3月28日に観測された Sentinel-2 画像を用いた泥炭地抽出結果

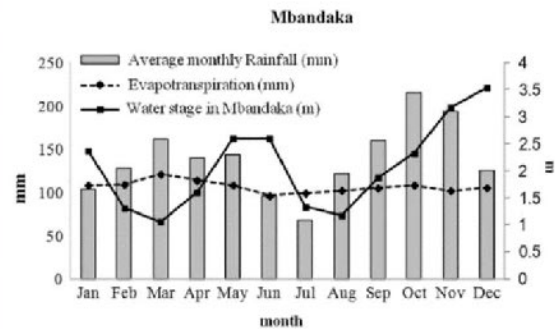
3.2.1.4 マイクロ波 PALSAR の活用方法

Mbandaka 地域を観測した PALSAR データは、全体で 12 シーンあり、その内半分が雨季に取得された FBS モード⁷⁵である (図 3.2.1.15)。

• PALSAR Acquisition Date & Mode in Jardin Botanique d'EALA Peatland, Mbandaka

No	Date	FBS/FBD	Dry/Rainy
1	20061227	FBS	Rainy
2	20070629	FBD	Dry
3	20070929	FBD	Dry
4	20071230	FBS	Rainy
5	20080331	FBS	Rainy
6	20081116	FBD	Rainy
7	20091004	FBD	Rainy
8	20100104	FBS	Rainy
9	20100219	FBS	Rainy
10	20100707	FBD	Dry
11	20101007	FBD	Rainy
12	20110222	FBS	Rainy

• Average Rainfall and Water Stage in Mbandaka



https://www.researchgate.net/publication/260281831_Mapping_of_Central_Africa_Forested_Wetlands_Using_Remote_Sensing

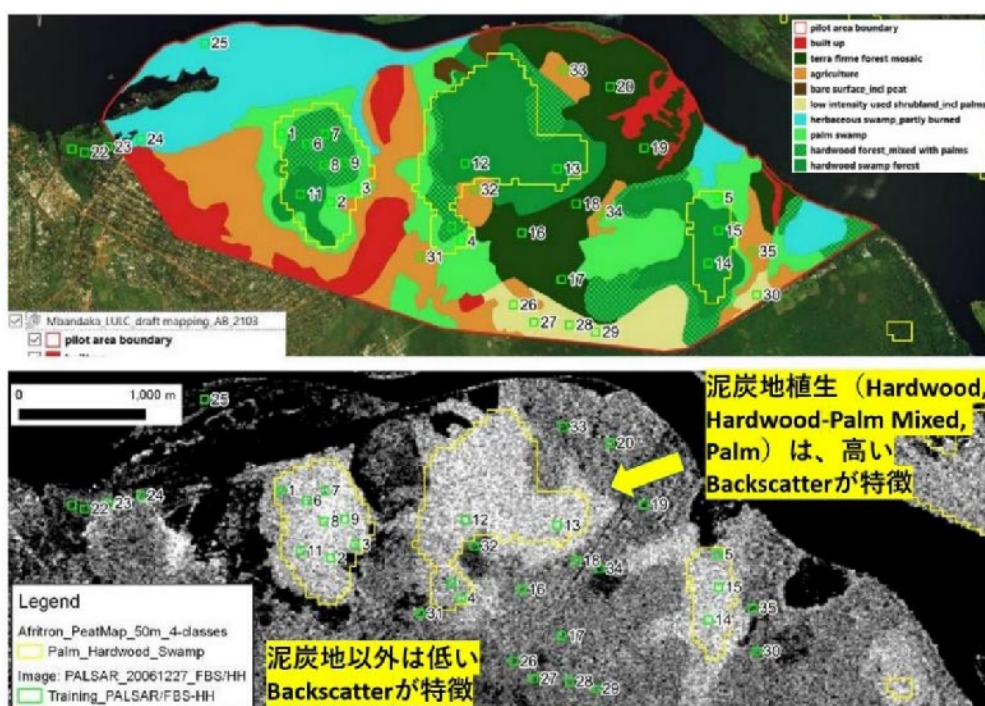
注：(左) Mbandaka 周辺で観測された PALSAR 画像(持続的な泥炭地管理及び保全協力に係る情報収集・確認調査団 作成)，(右)周辺の降雨と水位(上記より引用)

図 3.2.1.15 Mbandaka 周辺で観測された PALSAR 画像と周辺の降雨と水位

FBD モードは、主に乾季に取得されているため、Backscatter⁷⁶に顕著な特性を示さない。一方、FBS は雨季に取得されていることから森林密度の違いとともに、雨季に浸水した状況が顕著に表れる可能性が高い。そこで、6 シーンの backscatter 値を確認した結果、2006 年 12 月 27 日に取得されたデータの Backscatter 値が高いことが分かった。土地分類図と比較した結果、泥炭地植生は Backscatter 値が高い場所と良い一致を示すことが確認できた (図 3.2.1.16)。

⁷⁵ 単偏波モード

⁷⁶ 2 偏波モード



注：{上}：Mbandaka 土地被覆図，(下)：PALSAR/FBS モード画像

図 3.2.1.16 Mbandaka 土地被覆図と PALSAR/FBS モード画像

3.2.2 国際的な泥炭地マッピング手法との比較・検証

土地分類図の 7 区分について、Backscatter 値を比較した結果、泥炭地の植生 (Palm, Hardwood, Palm-Hardwood 混合林) の Backscatter 値は、0 ~ -5.5dB の範囲に収まり、泥炭地以外の植生は、-5.5dB 以下の値を示す (図 3.2.2.1)。このことから、雨季の PALSAR/FBS モード画像において、高い Backscatter 値 (-5.5dB) を示す場所は、泥炭地植生を示す可能性がある。そこで、キンシャサから最も近い範囲である Nioki 周辺において、Backscatter 値の高い場所を探した結果、Nioki 南部から東部にかけての場所に分布することを確認した (図 3.2.2.1)。また、CongoPeat/AfriTron の泥炭地マップを重ねたところ、Backscatter 値が高い場所と一致する (図 3.2.2.2 の上図青色部)。さらに、CongoPeat/AfriTron の泥炭地と PALSAR/FBS モード画像の backscatter 値が高い場所で 5km の断面線に沿って backscatter 値の変動をみると、概ね -5.5dB 以上の部分が、泥炭地植生と一致する (図 3.2.2.3 の下図)。

2021 年 9 月環境省森林インベントリー整備局(DIAF)とキサンガニ大学の Ewango 教授の研究グループが主体となって本地域を対象に現地調査(図 3.2.2.5)を実施した結果、3.6m の泥炭地が確認されている。以上のことから、泥炭湿地が冠水し、かつ冠水した水位が高い雨季の PALSAR/FBS モード画像を用いると、泥炭地ポテンシャル地を抽出できる可能性がある。さらに、Sentinel-2 画像のスペクトル特性を検討することにより、詳細に泥炭地のマッピングを行える可能性があり、今後現地調査データを蓄積することにより、本手法のマッピング精度が向上する。

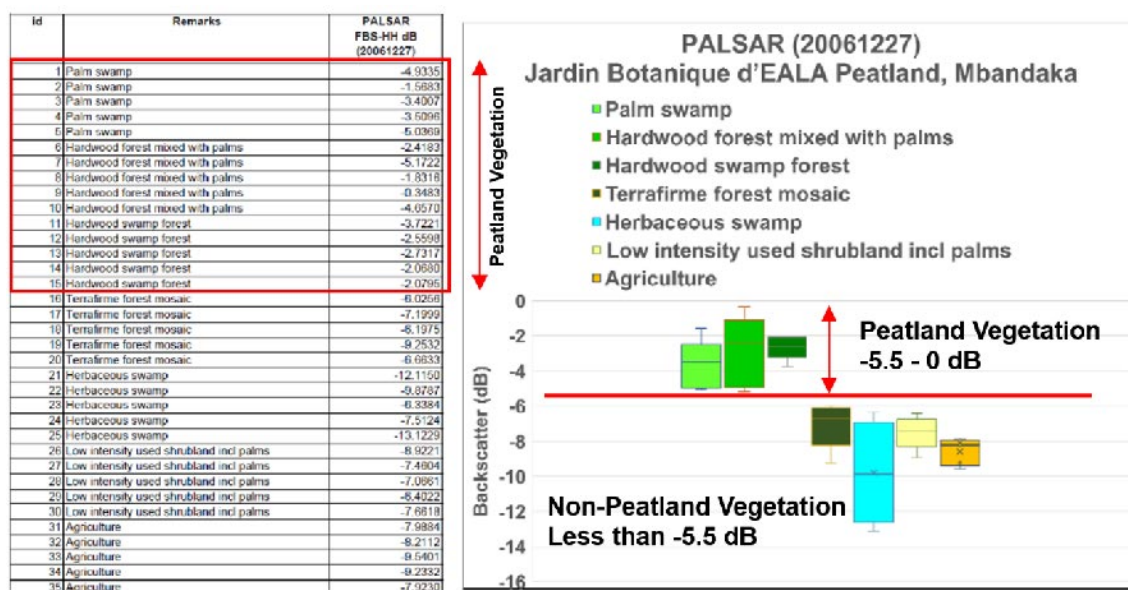


図 3.2.2.1 Mbandaka の泥炭地植生における PALSAR/FBS モード画像の backscatter 値

2021 年 9 月環境省森林インベントリー整備局(DIAF)とキサンガニ大学の Ewango 教授の研究グループが主体となって本地域を対象に現地調査(図 3.2.2.4)を実施した結果、3.6m の泥炭地が確認されている。以上のことから、泥炭湿地が冠水し、かつ冠水した水位が高い雨季の PALSAR/FBS モード画像を用いると、泥炭地ポテンシャル地を抽出できる可能性がある。さらに、Sentinel-2 画像のスペクトル特性を検討することにより、詳細に泥炭地のマッピングを行える可能性があり、今後現地調査データを蓄積することにより、本手法のマッピング精度が向上する。

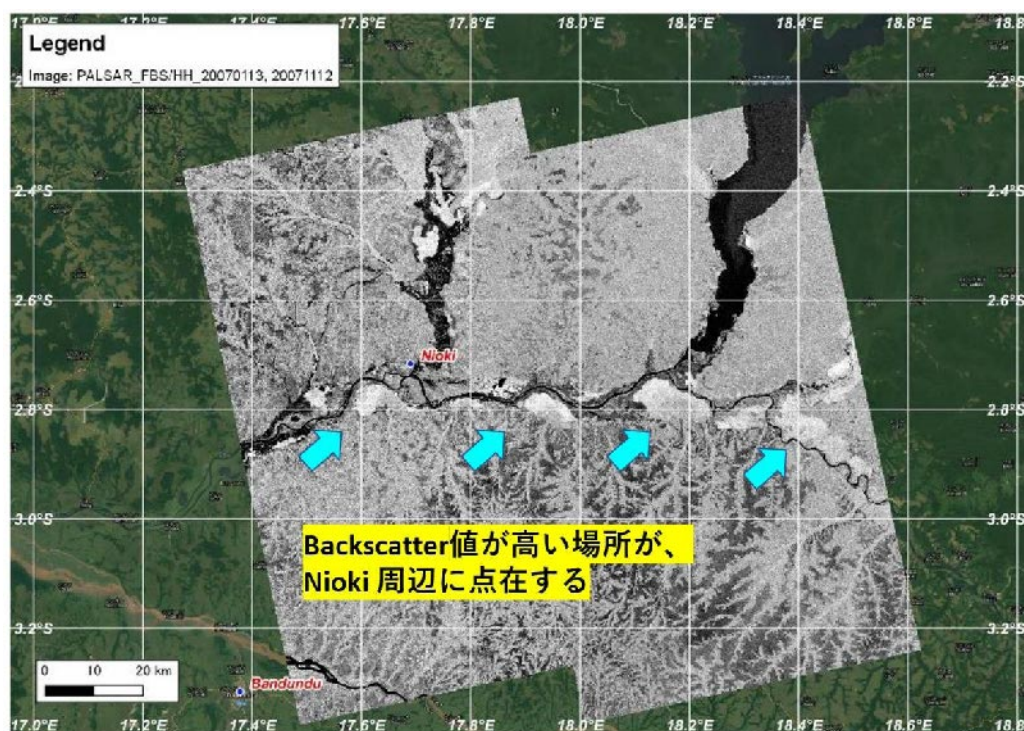


図 3.2.2.2 Nioki 周辺の PALSAR/FBS モード画像

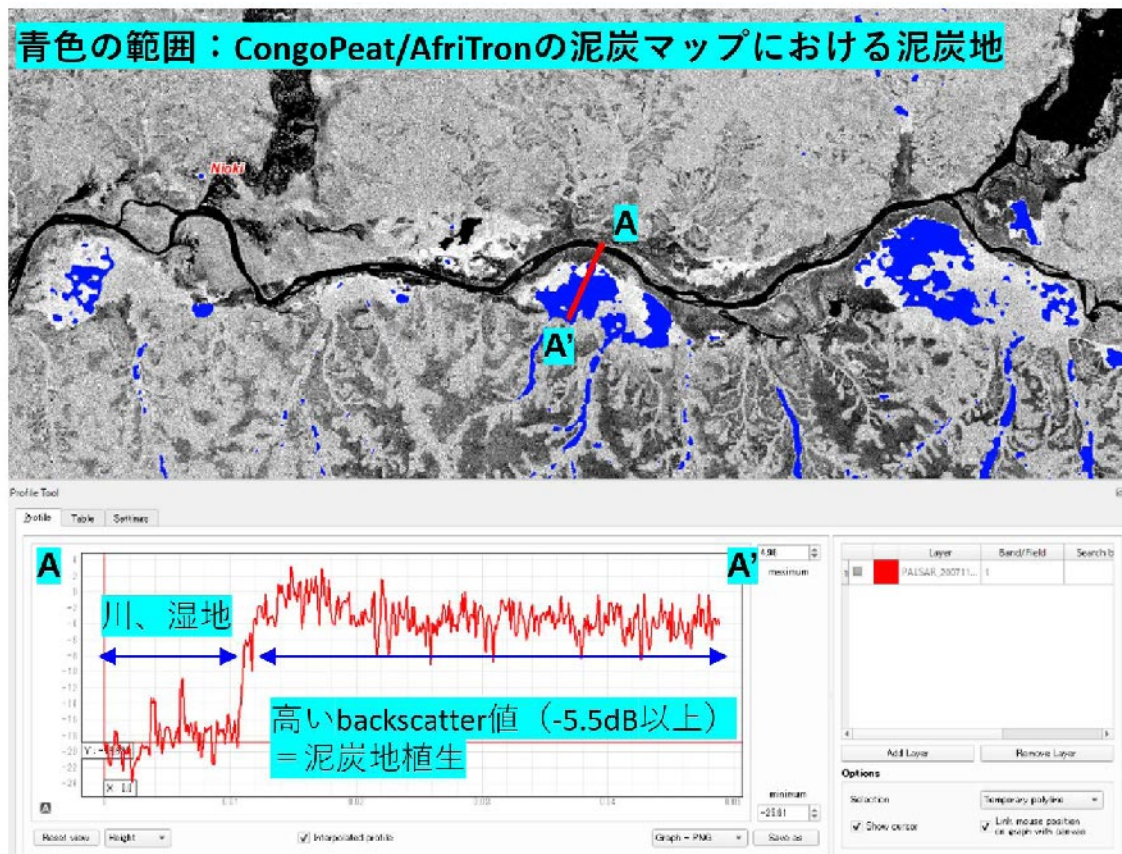


図 3.2.2.3 Nioki 周辺の PALSAR/FBS モード画像と CongoPeat/AfriTron 泥炭マップと backscatter 値の変動

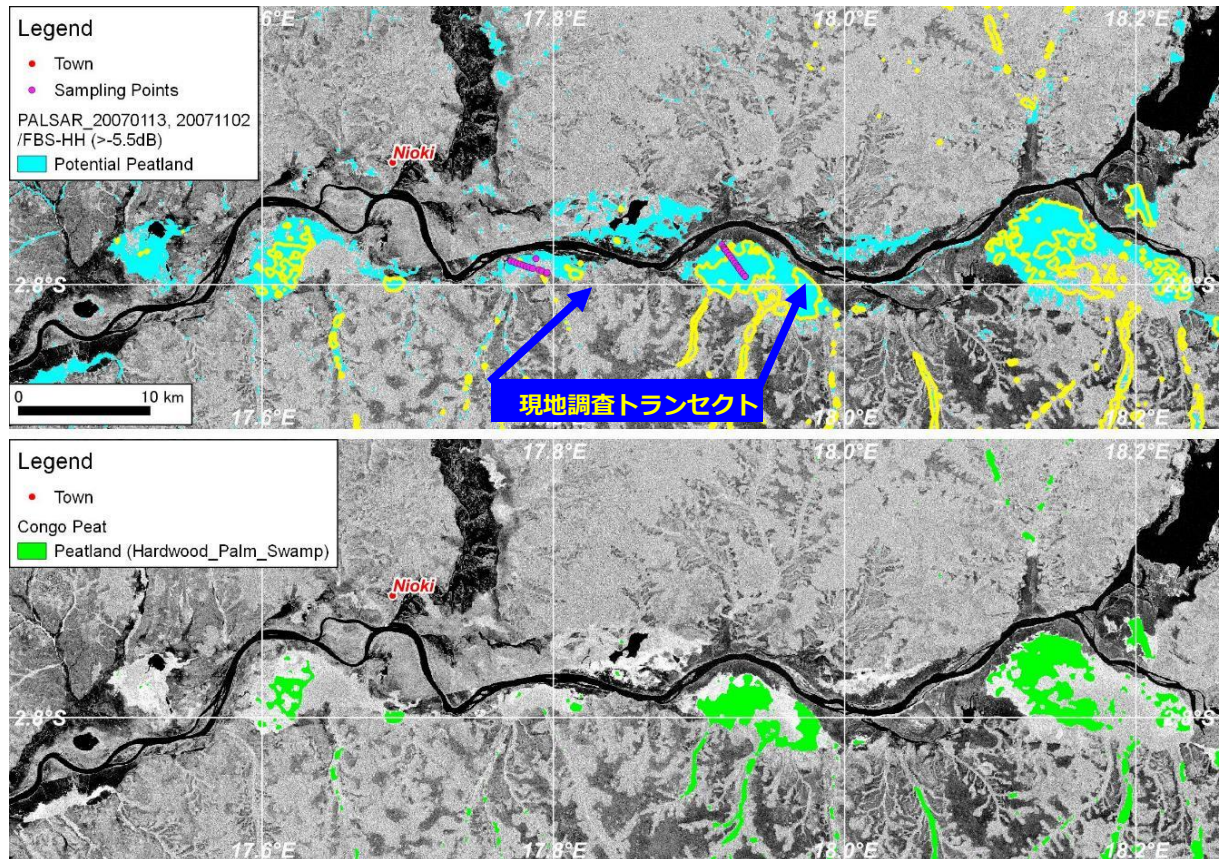


図 3.2.2.4 Nioki 周辺の泥炭分布ポテンシャル地域の現地調査 (2021)

表 3.2.2.1 Nioki 周辺の現地調査 (2021) 地点のサンプルに係る室内分析結果概要⁷⁷

Transect	Sites physical characteristics					Peat characteristics		
	Site	pH	Temperature	Specific conductivity (μScm^{-1})	Water table (cm)	Peat depth (m)	Bulk density (g cm^{-3})	C content (%)
1	NKI2-0.00	4.2	25.6	20	-5	1.55	0.13	4.10
	NKI2-0.50	3.3	24.5	10	-18	2.37	0.07	3.91
	NKI2-1.00	4.6	24.8	10	-17	3.10	0.13	7.56
	NKI2-2.00	4.5	24.7	80	90	1.80	0.28	6.61
	NKI2-2.90	3.4	24.4	20	14.2	No Peat	No Peat	No Peat
	Average	4.0	24.8	80	12.84	2.21	0.15	5.55
	Standard	0.6	0.47	29.50	45.04	0.69	0.09	1.82
2	NKI3-0.00	4.0	22.8	50	22.5	2.40	0.09	9.32
	NKI3-PA	3.9	24.6	63	27	0.85	0.31	10.96
	NKI3-1.00	4.1	23.5	40	26.5	1.10	0.18	8.69
	NKI3-2.00	3.3	23.5	20	57	1.70	0.09	4.73
	NKI3-2.13	4.2	23.1	40	33	3.50	0.07	5.04
	NKI3-3.00	4.3	23.5	20	25.5	2.31		
	Average	4.0	23.5	38.8	31.9	2.0	0.15	8.07
	Standard	0.4	0.6	16.9	12.8	1.0	0.10	2.37

⁷⁷ 出典: Ewango. 2021

3.2.3 コンゴ共和国 Gamboma 地区及びコンゴ民主共和国 Inongo 地区における現地検証調査

今回の手法は、コンゴ民 Nioki 地区で検証が行われ、泥炭の存在が明らかとなったことから、本手法の有効性が確認された。さらに、コンゴ共 Gamboma 地区、コンゴ民 Mai Ndombe 州 Inongo 地区でも現地調査を実施した。

3.2.3.1 コンゴ共和国 Gamboma 地区の泥炭地

Gamboma 地区は、コンゴ共の首都ブラザビルから約 250km の場所に位置する（図 3.2.3.1）。周辺の地形は、標高 400～500m 程度のなだらかな台地からなり、Nueni 川を中心とする河川沿いに 300～320m 程度の低湿地が形成される。Congopeat の泥炭地マップによれば、この低湿地沿いに泥炭地が広がる（図 3.2.3.2）。現地検証調査は、泥炭調査の豊富な経験を有するマリアングアビ大学の協力を得て、Luara 川流域の調査地点 No. 4 において実施した。調査地点 No. 4 は、地形的なへこみに形成された湿地で、乾期には Luara 川と接続する河川は見られないが、雨期には Laura 川に接続すると考えられる（図 3.2.3.3）。コンゴ共では、コンゴ民の Mbandaka のような教師データとなる土地被覆図が存在しないため、Congopeat の泥炭地マップを教師として、泥炭地の植生についてスペクトル解析を行った。その結果、Congopeat の泥炭分布とほぼ一致する結果が得られ、調査地点 No. 4 のほぼ中央でボーリングを実施した。踏査ルートは図 3.2.3.3 右図に緑色の線で示す。

点 No. 4 は、典型的な泥炭湿地植生“*Laphia laurentii*”が繁茂する。しかし、湿地内の水の色は透明度が高く、泥炭地特有の濃黒色の水の色を示さないため、泥炭が存在する可能性は低い。ボーリングを実施したところ、泥炭は存在せず、深度 80cm で基底部の粘土質砂岩に達した。結果として、今回教師データとして使用した Congopeat の泥炭地マップのうち、少なくとも調査地点 No. 4 においては Congopeat の泥炭マップが正確ではないことが分かった。

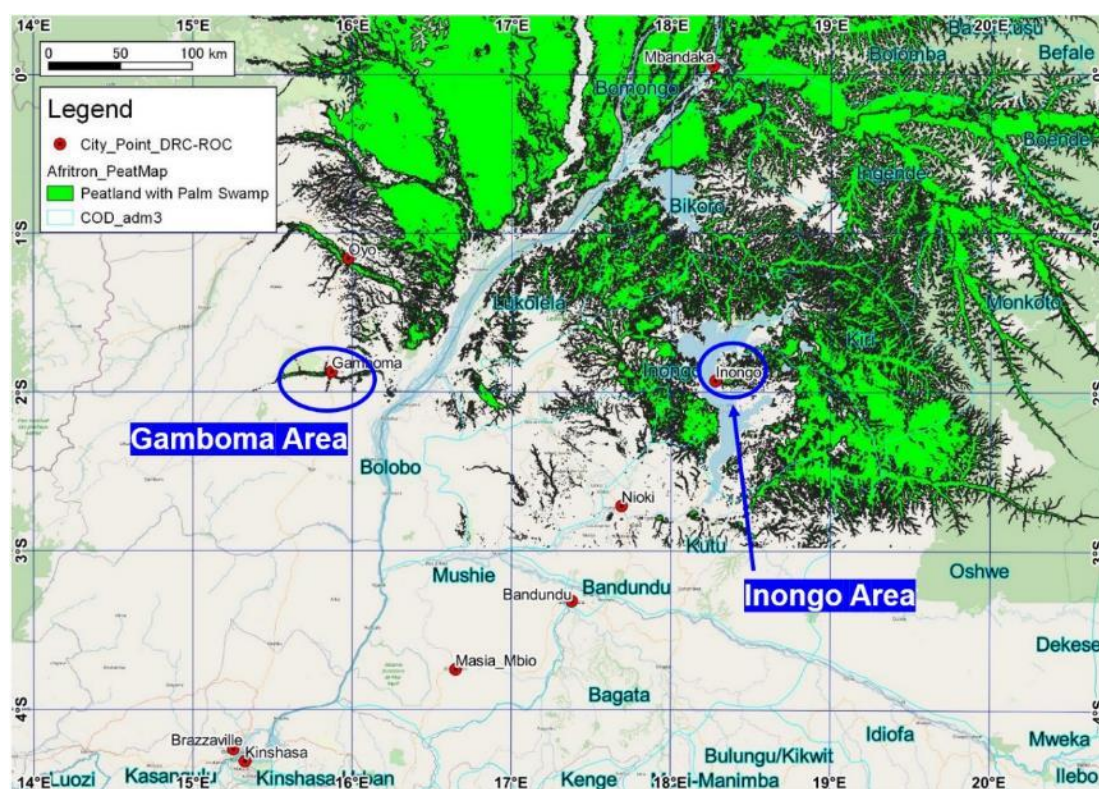


図 3.2.3.1 Gamboma 地区及び Inongo 地区位置図

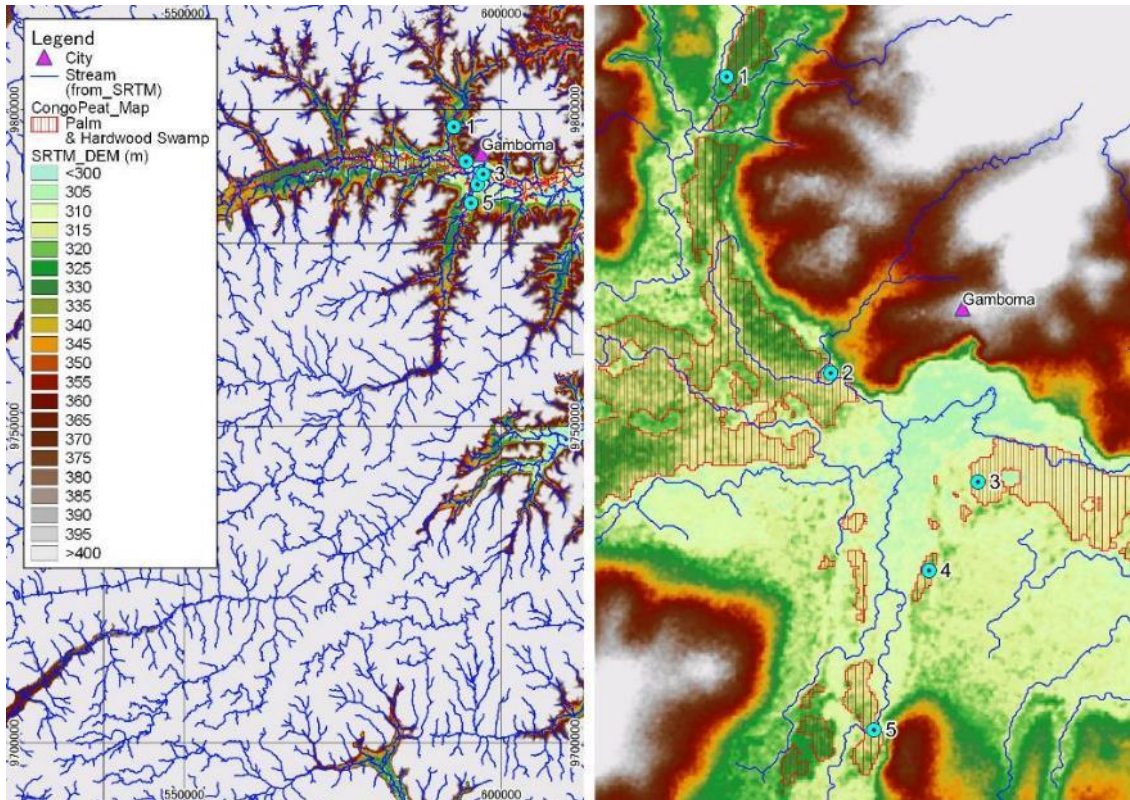


図 3.2.3.2 Gamboma 地区の地形（左図）と Congopeat の泥炭分布（右図の赤縦部）

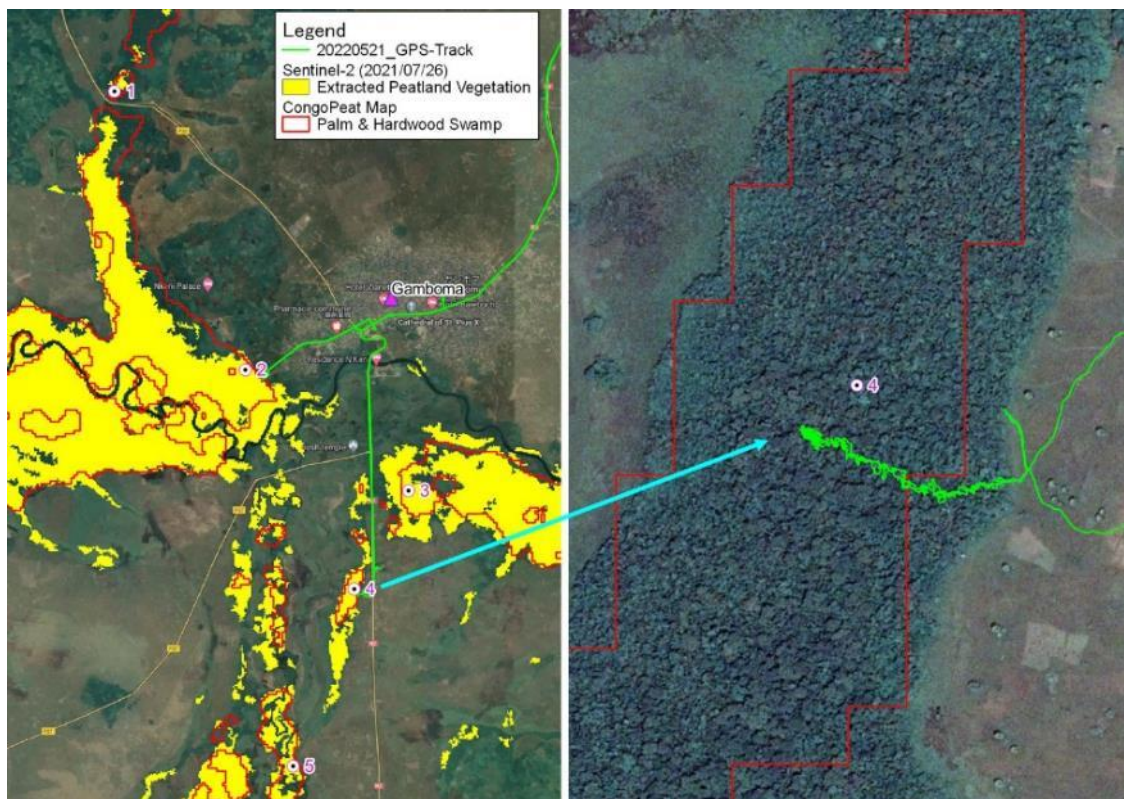


図 3.2.3.3 Gamboma 地区 Luara 川流域の調査地点 No. 4 の位置と踏査ルート（右図）

3.2.3.2 コンゴ民主共和国 Mai Ndombe 州 Inongo 地区の泥炭地

Inongo 地区は、コンゴ民の首都キンシャサから北東に約 400km の場所に位置する（図 3.2.3.1）。

本地域は、マイドンベ湖東岸の標高 300～320m 程度の平坦な地形からなり、南東側にマイドンベ湖に流れる河川と湿地が、最大幅 10km 程度の広い範囲に形成されている。Congopeat の泥炭地マップによれば、この河川に沿って、泥炭地が分布している（図 3.2.3.4）。現地調査は、キサンガニ大学のエワンゴ教授の協力を得て、調査地点 No. 3、No. 6 そして No. 7 を対象に実施した。いずれの調査地点も、衛星画像（Sentinel-2）上のバンド 8、4、3 の組み合わせでは、泥炭地植生の色調の違いは認められないが、短波長のバンド 8A、11、12 を用いると、泥炭地植生と非泥炭地植生は、濃い茶系と淡い茶系の 2 種類に分かれ、泥炭地植生はさらに濃い茶系で特徴づけられる（図 3.2.3.5）。

調査地点 No. 3 は、南東部に位置する河川の本流に近い幅 3km 程度の河川・湿地に位置する。典型的な泥炭湿地植生“*Laphia laurentii*”は見られず、支柱根が発達する湿地特有の樹種で形成される（図 3.2.3.6 の(1)&(2)）。エワンゴ教授によれば、これらの樹種は“Hardwood”と分類される泥炭地特有樹種とのことである。一方、地表部には、泥炭湿地特有の草本“*Lasimirpha senegalensis*”に覆われることが特徴である（図 3.2.3.6 の(3)）。また、乾期ではあるものの、湿地内部に進むにつれて、湿地の水位が高くなり、水の色も泥炭地特有の赤黒～濃黒の色調に変化する（図 3.2.3.6 の(4)）。調査予定付近で 3 回のボーリングを実施した結果、厚さ 1m 以上の泥炭層を確認した（図 3.2.3.7 の(1)～(4)）。泥炭層中には、植物の根も含まれ、比較的軟質な泥炭層であった。本地区の基底に分布する砂岩または泥岩層には達しないため、少なくとも 1m 以上の厚さの泥炭層が存在する。Congopeat の泥炭地マップでは、本地域は泥炭地とされることから、少なくとも本地点周辺では、Congopeat の泥炭地マップの泥炭分布は正しいことが確認された。

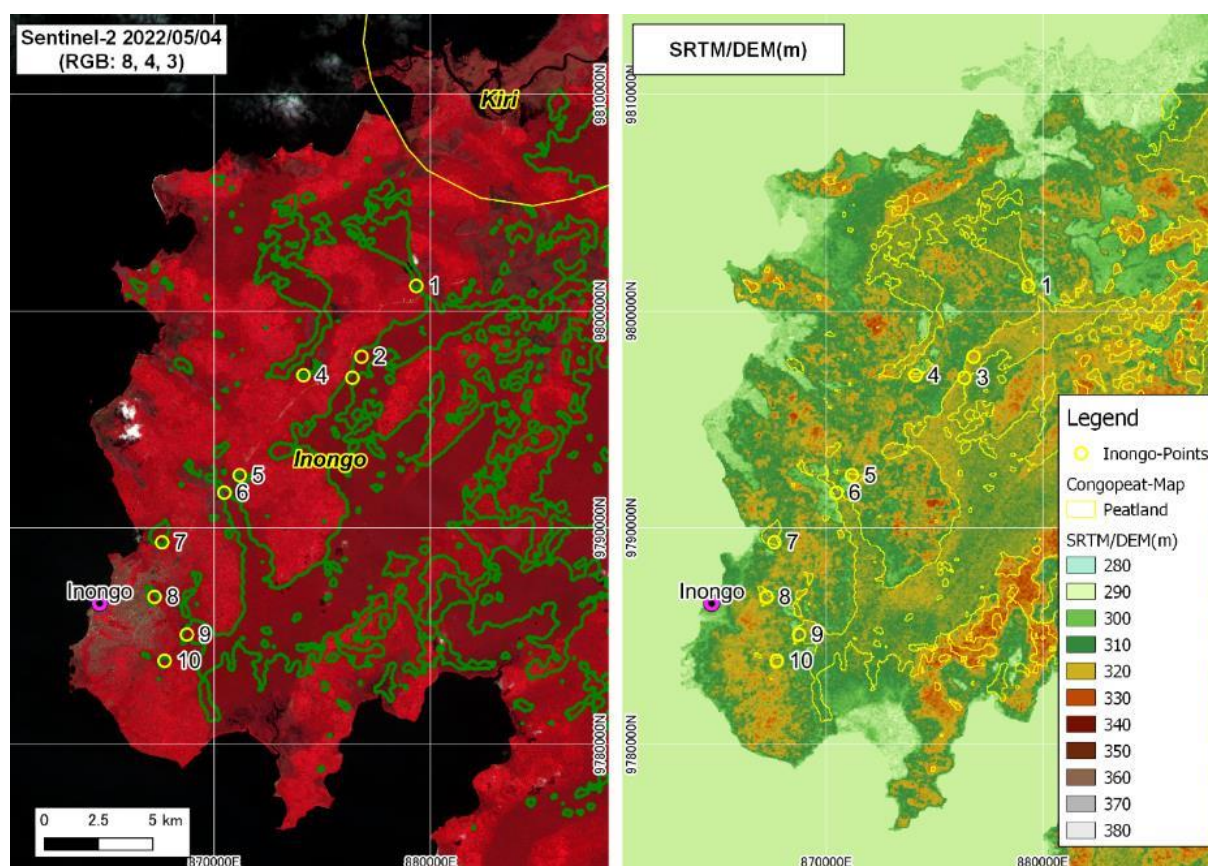


図 3.2.3.4 Inongo 地区の調査地点位置図（左図）と標高（右図）

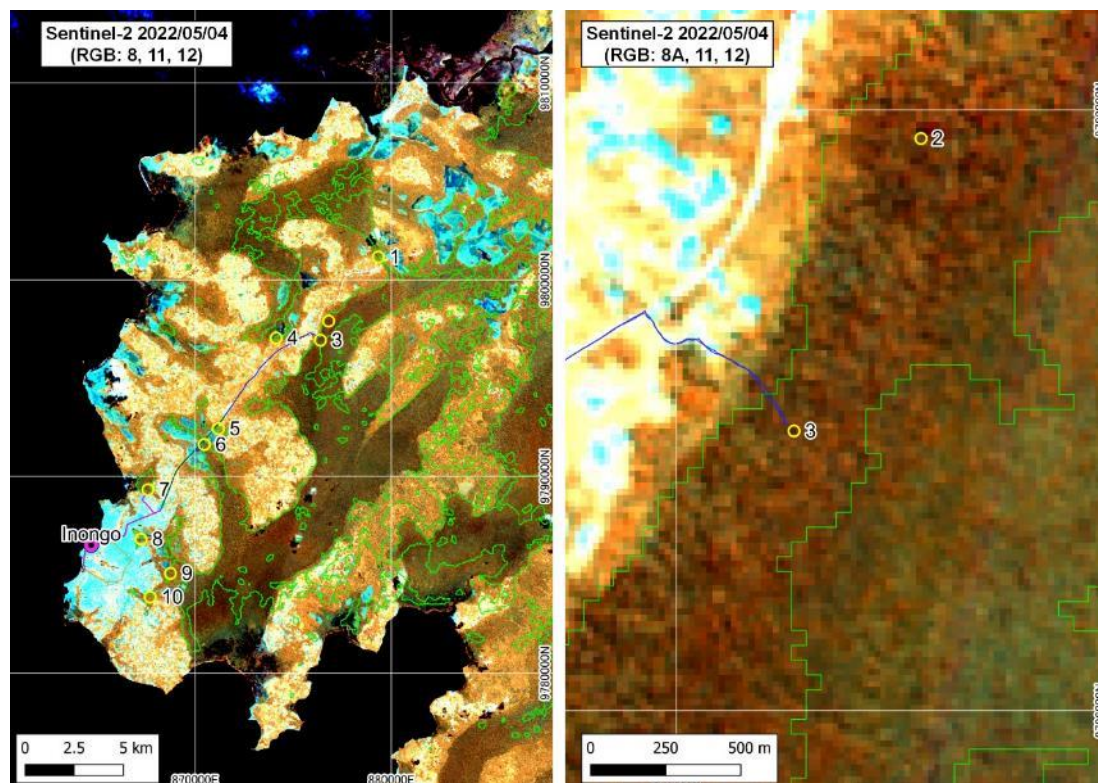


図 3. 2. 3. 5 Inongo 地区の調査地点 (No. 3)



図 3. 2. 3. 6 Inongo 地区の調査地点 (No. 3) における植生と湿地の水の色の特徴



図 3. 2. 3. 7 Inongo 地区の調査地点 (No. 3) における泥炭ボーリングの状況

調査地点 No.6 は、No.3 と異なり砂質の低湿地で囲まれた河川沿いに位置する。衛星画像上では、砂質低湿地は濃い青～水色で特徴づけられ、No.6 はそれらに囲まれた茶色で示される（図 3.2.3.8 右図）。コンゴ盆地の泥炭地では、“*Raphia laurentii*” が代表的なパームヤシとして知られているが（図 3.2.3.9(1)）、そのほかに“*Raphia sese*” とよばれるパームヤシも分布する（図 3.2.3.9(2)）。No.6 では“*Raphia sese*” が認められた。“*Raphiasese*” は、蔦状の枝が樹幹を覆う形状をなし、“*Raphia laurentii*” とは明らかに違う様相をなす。ボーリングを実施した結果、厚さ 30cm の砂質泥炭層を確認した。ボーリング地点が湿地中央付近に位置すること、また、砂質低湿地に囲まれていることから、本地域の泥炭層は最大でも 50cm 程度と予想される（図 3.2.3.9(3)）。なお、湿地内には、風倒木の運搬に使用されると考えられる幅 1m 程度の排水路が多数作れており、魚獲りの仕掛けも点在する（図 3.2.3.9 (4)）。Congopeat の泥炭地マップでは、本地域は泥炭地とされるが、ボーリング地点から砂質低湿地に向かって、泥炭層は極めて薄くなる（例えば 20cm 以下）と考えられる。従って、Congopeat の泥炭地マップの精度を評価するには、泥炭の最低の厚さを定義することが必要となる。

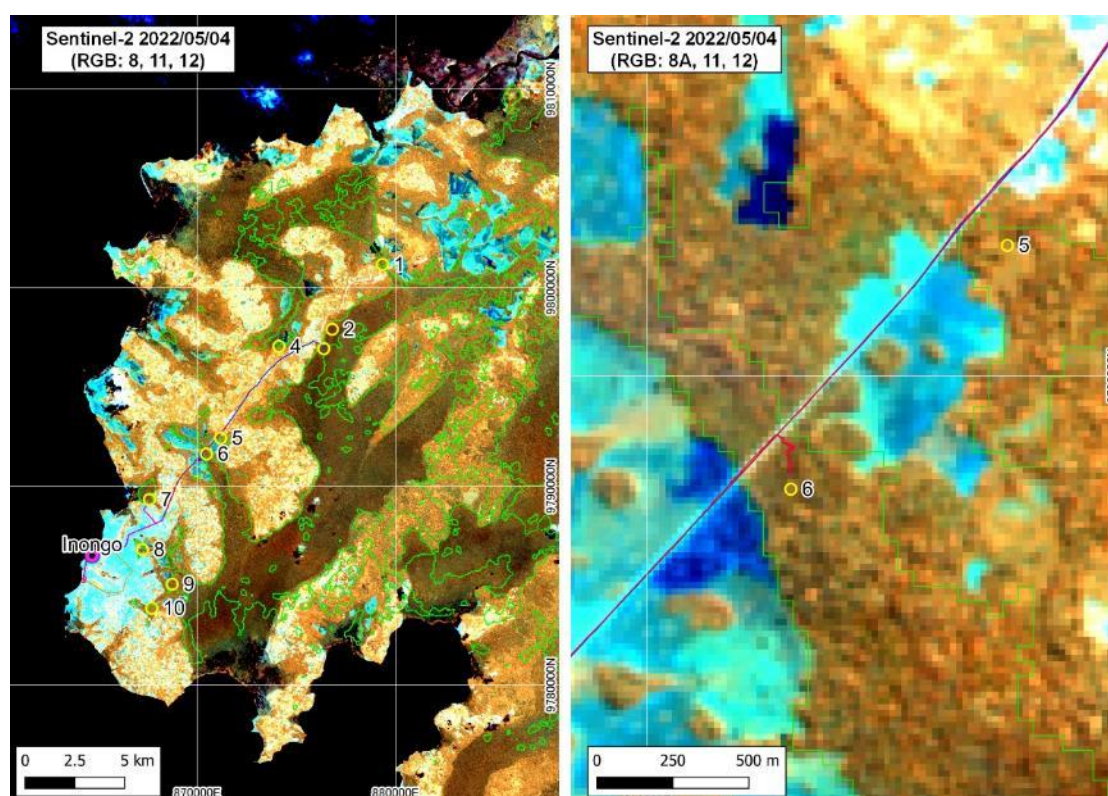


図 3.2.3.8 Inongo 地区の調査地点 (No.6)



図 3.2.3.9 Inongo 地区の調査地点 (No. 6) における植生、泥炭ボーリングの状況

調査地点 No.7 はマイドンベ湖に接続する湿地であり、泥炭の形成はマイドンベ湖の水面の高さに強く影響を受けると考えられる (図 3.2.3.10)。泥炭地特有のパームヤシ “*Raphia Laurentii*” はほとんど見られず、湿地の境界付近では、葉の形状が傘の形状を示す “*Musmfa cecropioidas*” が繁茂する (図 3.2.3.11(1))。湿地に入るとフキに似た草本 (*Lasimirpha senegalensis*) が繁茂する (図 3.2.3.10(2)) ことから、湿地の境界が “*Musmfa cecropioidas*” と “*Lasimirpha senegalensis*” によって特徴づけられることが確認できた。ボーリングを実施した結果、厚さ約 40cm の砂質泥炭層を確認した (図 3.2.3.10(3))。また、湿地内にも伐採が進行しており、二次林が急速に成長しているが、いずれは薪炭として再び伐採されたと考えられる (図 3.2.3.10(4))。Congopeat の泥炭地マップでは、本地域は泥炭地とされる。泥炭地の境界付近で 40cm の厚さの泥炭が確認できたが、Congopeat の泥炭地マップの評価には、泥炭の最低の厚さを定義する必要がある。

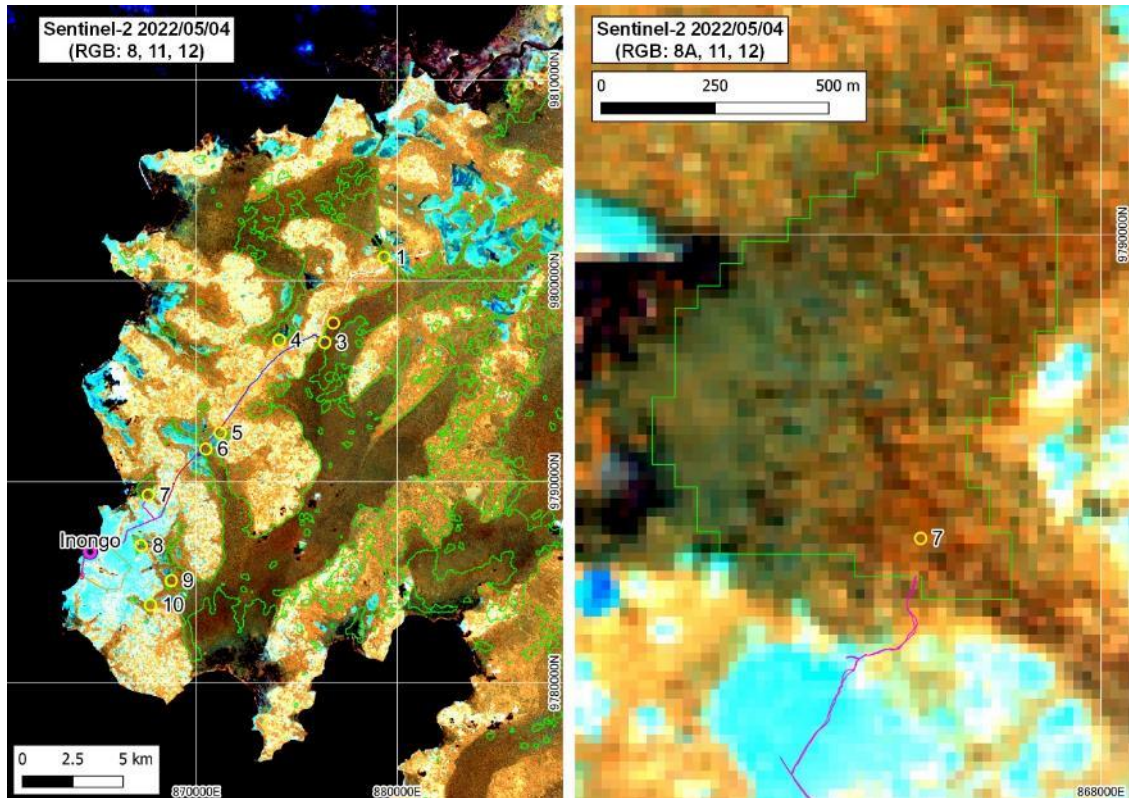


図 3.2.3.10 Inongo 地区の調査地点 (No. 7)



図 3.2.3.11 Inongo 地区の調査地点 (No. 7) における植生、泥炭ボーリングの状況

3.2.4 ペルーにおけるマッピングマニュアル

ペルーで実施された技術協力プロジェクトのマッピング手法は、ウカヤリ州とサンマルチン州を対象とした、光学センサを利用したものである。従って、本基礎調査では、マイクロ波を利用した手法を開発し、その結果をペルー技プロにおいて作成されたマニュアルの更新版としてまとめた。

サンマルチン州の2つの泥炭地において、PALSAR の有効性を検討した。対象地は、Moyobamba 北西の 1)Yantaro 北西地区で、ボーリング調査によって厚さ 2m の泥炭層が確認されており、Aguaje 純林と Renaco 等の混合林が分布する。2つ目は、2)San Fernando 北東地区で、ボーリン

グ調査では 2m の泥炭層が確認され、主に Aguaje と Renaco 等の混合林から成る。

3.2.4.1 Yantaro 北西地区

Yantaro 北西地区の南東部には、Sentinel-2（2019/09/26）のスペクトル解析で抽出された Aguaje 純林が分布し、90m x 90m の範囲を 10 か所設定して、各ボックス内の中央値、最大値、最小値と、北西部に分布する混合林の範囲（90m x 90m を 10 か所）と比較した（図 3.2.4.1、図 3.2.4.2）。比較した画像は以下の通り。

No.	観測日	モード/偏波	雨季/乾季
1	2006/12/06	FBS/HH	雨季
2	2007/06/08	FBD/HH	乾季
3	2007/06/08	FBD/HV	乾季

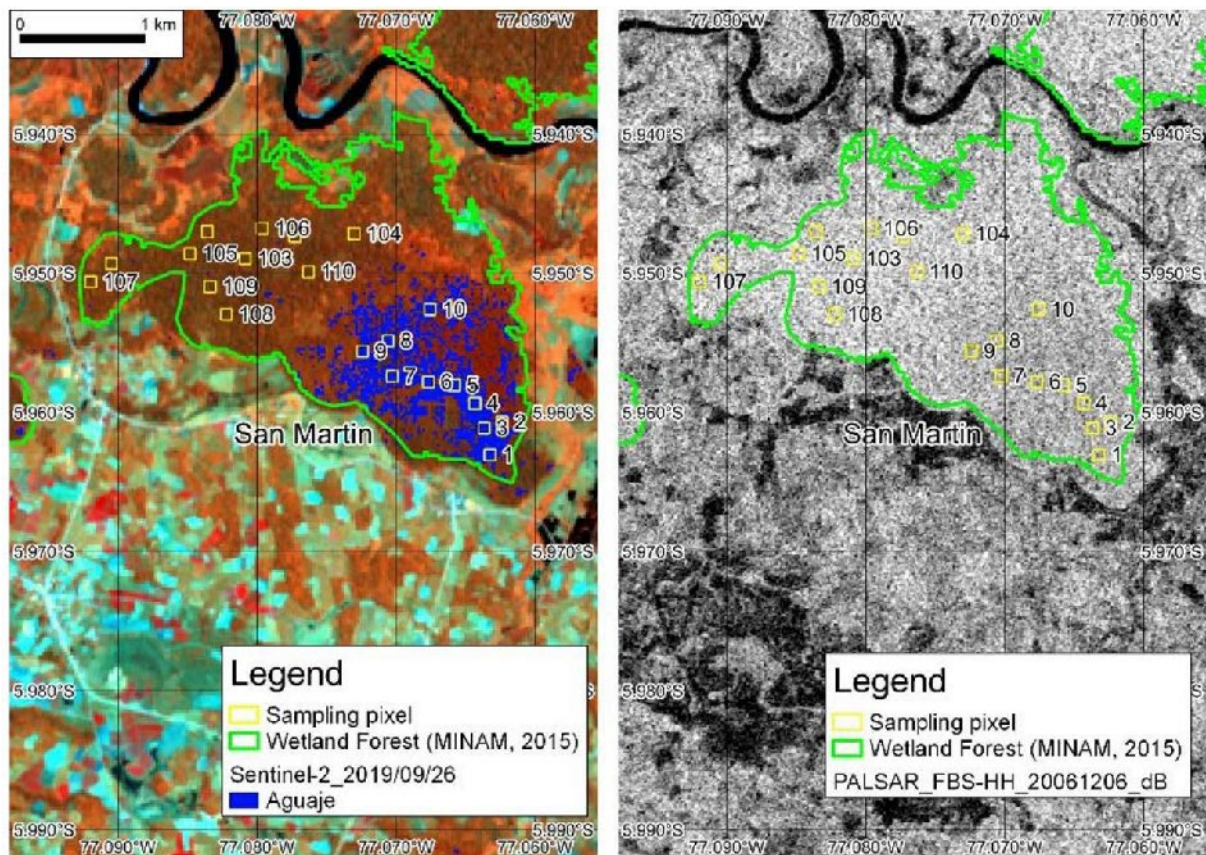


図 3.2.4.1 Yantaro 北西地区の Sentinel-2（左）と PALSAR/FBS-HH（右）

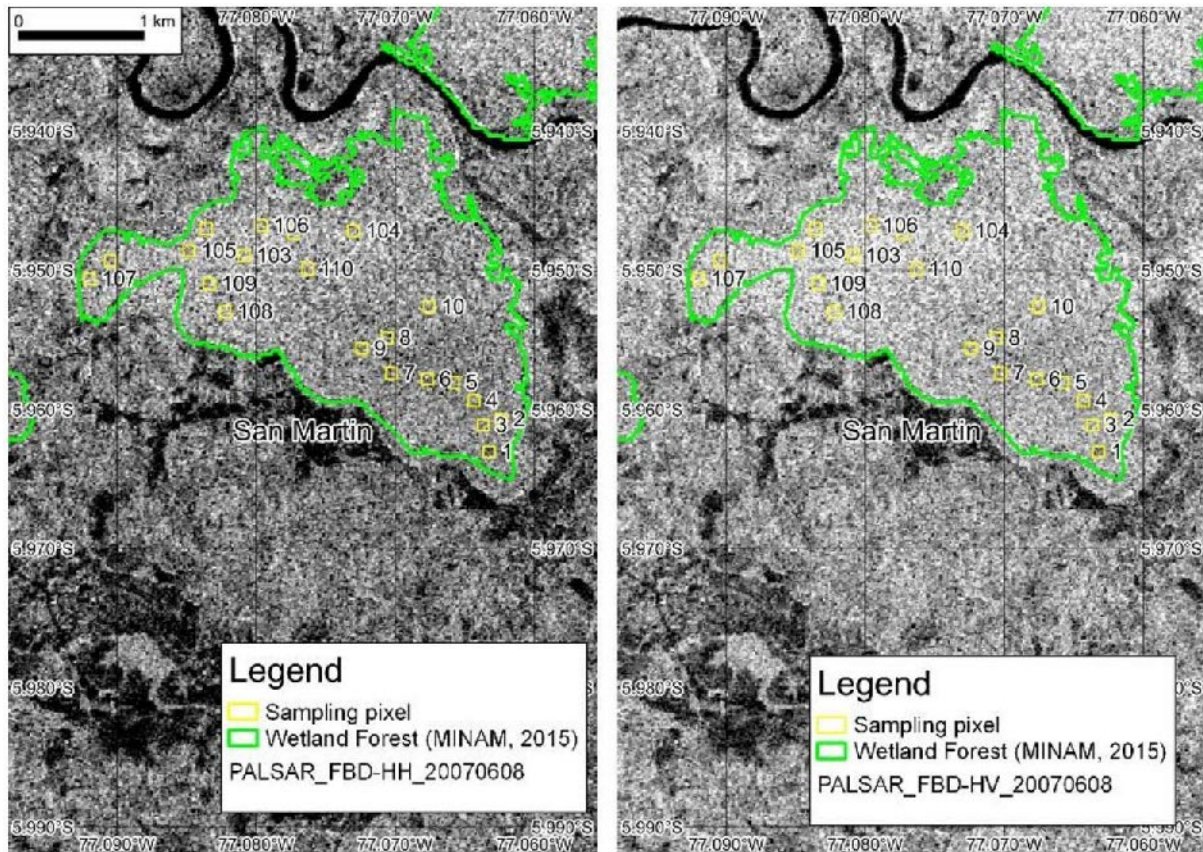


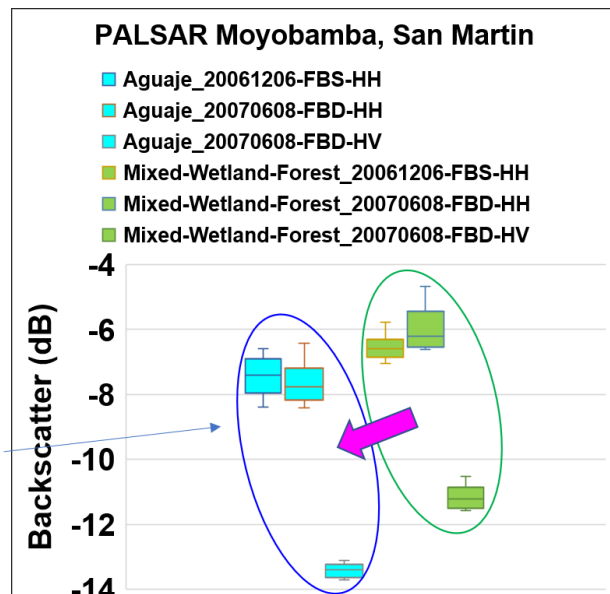
図 3.2.4.2 Yantaro 地区の PALSAR/FBD-HH（左）及び PALSAR/FBD-HV（右）

PALSAR/FBS-HH 画像も PALSAR/FBD-HH 及び HV、Aguaje と混合林の間に極端な違いは認められないが、10 か所のボックスで比較した結果、以下の傾向が認められた（図 3.2.4.3）。

■ Aguaje と Mixed-Forest の偏波特徴

		20061206	20070608	20070608
		FBS-HH	FBD-HH	FBD-HV
Aguaje	Max	-6.58249	-6.41167	-12.2507
	Min	-8.39813	-9.65394	-13.6994
		1.81564	3.242273	1.448716
Mixed	Max	-5.76587	-4.67867	-10.511
	Min	-7.0556	-6.61087	-12.5766
		1.289733	1.932196	2.065567

■ Aguaje と Mixed-Forest の backscatter 値の特徴



□ 相対的にAguajeのbackscatter値が低い



- Aguajeの方が浸水域が広い
- Mixed-Forestの方が森林密度が高い

図 3.2.4.3 Aguaje と混合林の偏波特徴

- (1) Aguaje の backscatter 値は、Mixed-Forest よりも相対的に低い
- (2) 水平偏波 HH は、Aguaje の backscatter 値の幅が広い
- (3) 水平偏波 HH とクロス偏波 HV では、Aguaje の backscatter 値の幅が狭い

(1)の理由は、Aguaje の方が浸水域面積が多いこと、混合林の方が森林密度が高いことが考えられる。(2)と(3)に関しては、体積散乱の影響や水面で反射したマイクロ波が樹幹で反射するダブルバウンスなどの影響の可能性がある。

ただし、Aguaje の backscatter 値が混合林に比べて低いなど、相対的に backscatter 値が低い特徴を示すことが確認できたので、他の場所でも検討する必要がある。

3.2.4.2 San Fernando 北東地区

本地区を対象に、Sentinel-2 及び Landsat-8 画像から新たに Aguaje 浸水林を抽出した結果、MINAM (2015) のマップでは浸水林として抽出されていなかった場所が抽出され、ボーリング調査では厚さ 183cm の泥炭層が確認されている (図 3.2.4.4)。さらに、PALSAR2/FBD-HH 偏波で -6dB 以上の Backscatter の場所が、Aguaje 浸水林の範囲と概ね一致する。このことは、Yantaro 北西地区で確認した PALSAR/FBS-HH 偏波の有効性と同様である (図 3.2.4.5)。

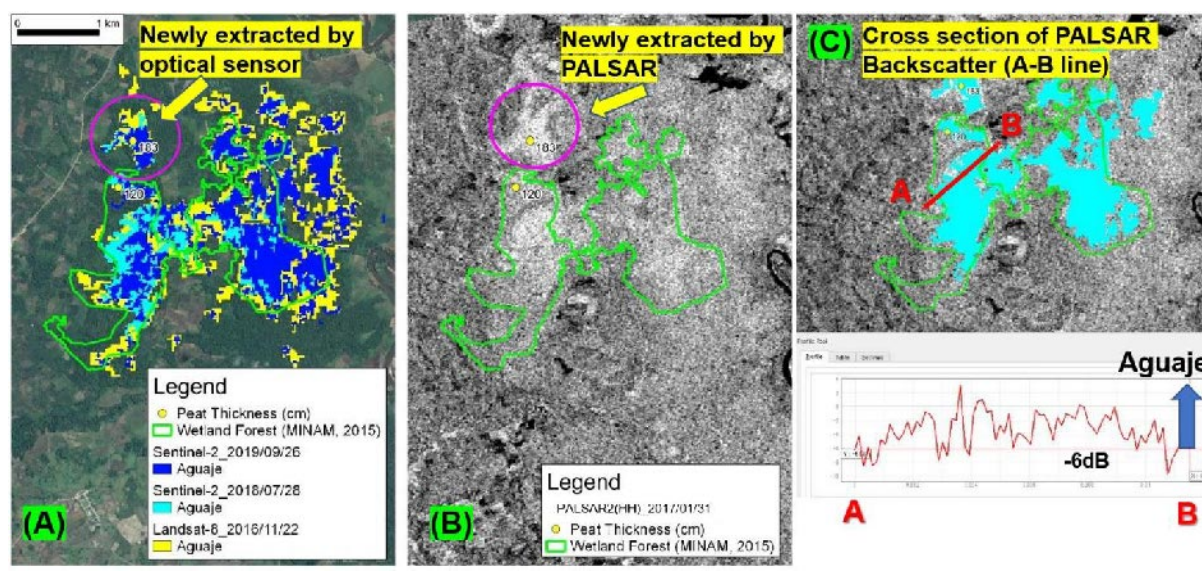


図 3.2.4.4 San Fernando 北東地区の浸水林における光学センサとマイクロ波の特徴

Yantaro 北西地で、PALSAR/FBS-HH 偏波が有効であることを確認したが、本地区では FBD/HH の有効性も確認できた (図 3.2.4.5(1))。一方、PALSAR/FBD-HV 偏波では、Aguaje 浸水林と周辺の植生との間に、明瞭な Backscatter の変化は認められないが、HH 偏波/HV 偏波の比をとった場合には、HH 偏波の特性が強調され、Aguaje 浸水林が強調される傾向にある (図 3.2.4.5(2) 及び (3))。

また、PALSAR/FBS-HH 偏波について異なる 8 シーンを比較したところ、Aguaje 浸水林の Backscatter は、周辺の植生と明瞭に異なることが確認できる。観測時期がいずれも雨季 (10 月～3 月) の観測であったため、ダブルバウンスの特徴が顕著に表れたと考えられる (図 3.2.4.6)。このように、Yantaro 北西地区と同様に本地区でも PALSAR/FBS-HH 偏波の有効性を確認できた。

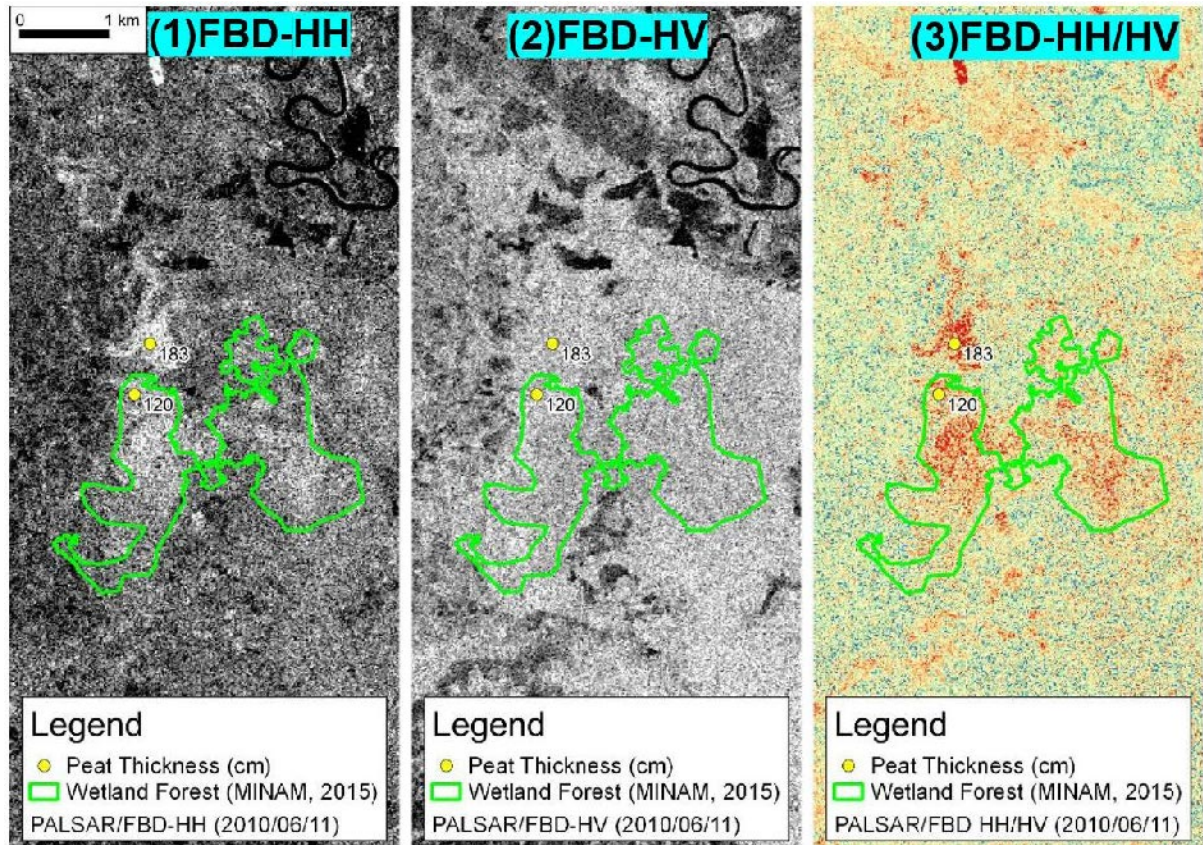


図 3.2.4.5 San Fernando 北東地区の PALSAR/FBD-HH 及び FBD-HV の特徴

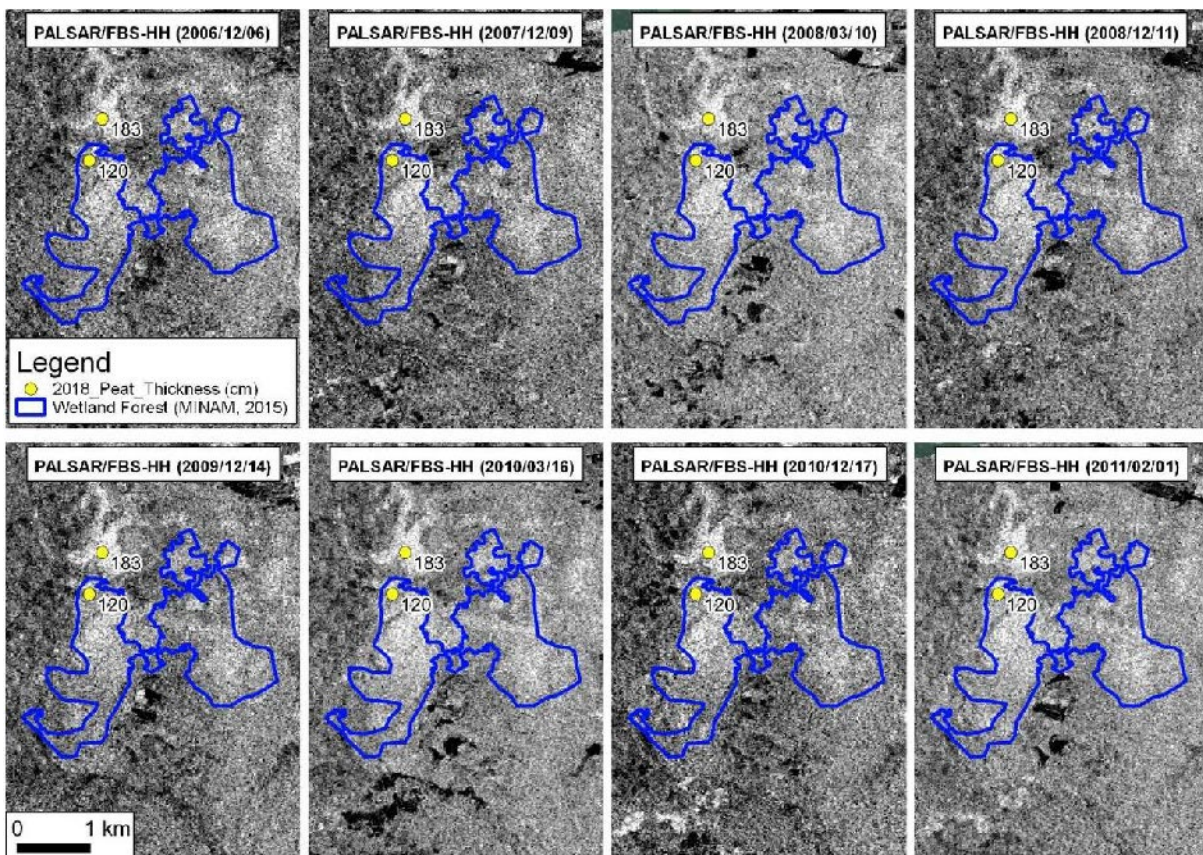


図 3.2.4.6 San Fernando 北東地区の PALSAR/FBS-HH 偏波の特徴 (8 時期)

前述の通り、PALSAR/FBS-HH 偏波は、雨季の画像では、ダブルバウンスの効果により、Aguahe 湿地林を抽出することが可能である。一方、PALSAR/FBS-HH 偏波の特徴が表れない場合も多い。原因は、湿地の水位、Aguahe 林の密度に起因すると考えられる。例えば、図 3.2.4.7 は、ウカヤリ州中部に位置する Cunchuri 地区の Sentinel-2 画像と PALSAR/FBS-HH 偏波画像である。Sentinel-2 画像では、スペクトル解析の結果、(2015)のポリゴン内に Aguahe 林が抽出されている（図 3.2.4.7 左）。しかし、右図の PALSAR/FBS-HH 画像では、後方散乱係数の特徴が不明瞭で、ダブルバウンスの効果が認められない。従って、PALSAR/FBS-HH 偏波画像は、雨季の画像でも、画像が取得された状況によっては、ダブルバウンスの効果が表れる場合と表れない場合がある。そのため、光学センサで抽出された Aguahe 浸水林について、PALSAR/FBS-HH 偏波の効果が表れているか否かについて評価を行った。図 3.2.4.7 は、ウカヤリ州 Cunchuri 地区の Sentinel-2 画像（左）と PALSAR/FBS-HH 偏波（右）を示すが、PALSAR/FBS-HH 偏波の効果が表れた場合には、“A” で表現し、効果が不明瞭な場合には“B”を記載した（表 3.2.4-1）。また、Aguahe 浸水林の分布と使用した PALSAR/FBS-HH の範囲を図 3.2.4.7 に示した。

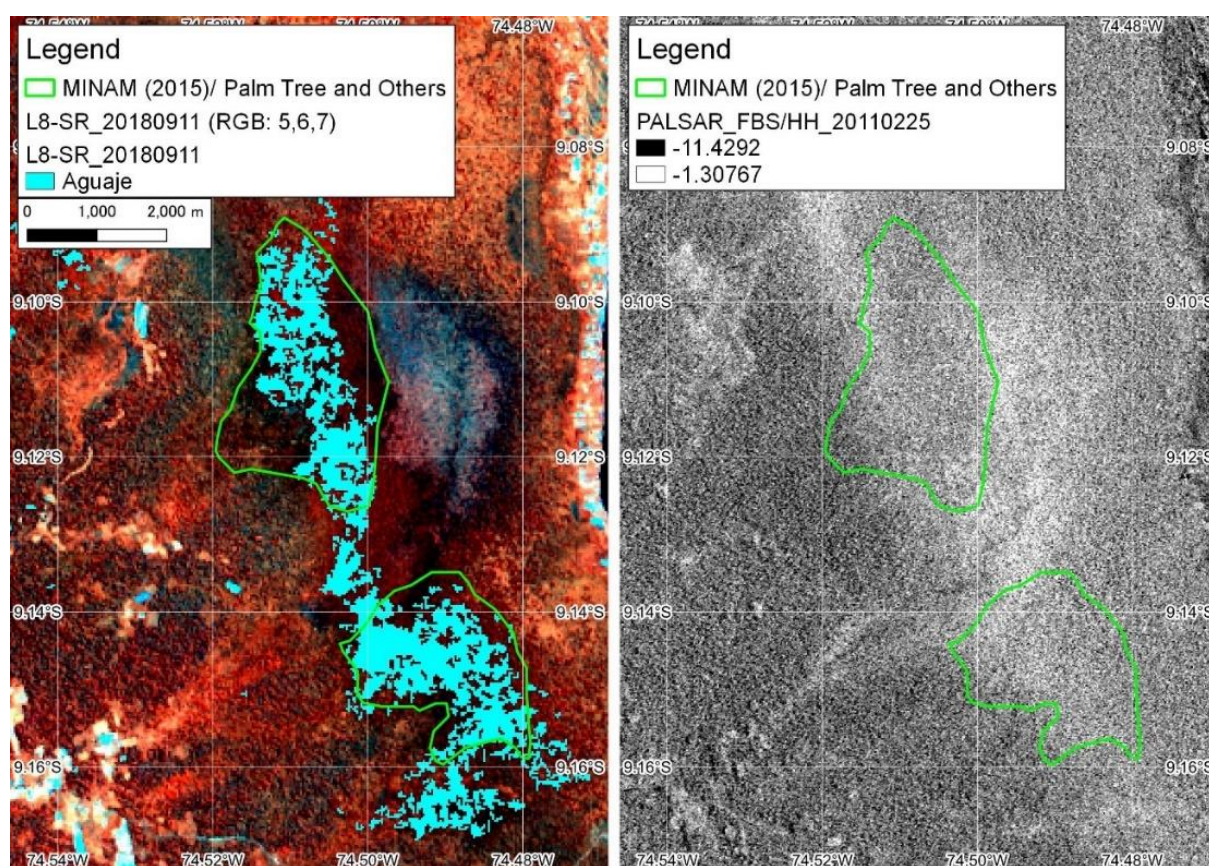


図 3.2.4.7 ウカヤリ州 Cunchuri 地区の Sentinel-2 画像（左）、PALSAR/FBS-HH 偏波（右）

表 3.2.4.1 サンマルチン州の Aguaje 浸水林の面積と PALSAR 画像の適用性 (その1)

ID	Forest Type in MINAM(2015)	Shape_Area (ha)	Aguajales by Optical Sensors	Effectiveness of PALSAR/FBS
1	Bosque inundable de palmeras	10,372	Yes	A
2	Bosque inundable de palmeras	6,960	Yes	A
3	Bosque inundable de palmeras	6,543	Yes	A
4	Bosque inundable de palmeras	4,354	Yes	A
5	Bosque inundable de palmeras	3,014	Yes	A
6	Bosque inundable de palmeras	2,400	Yes	B
7	Bosque inundable de palmeras	2,221	Yes	A
8	Bosque inundable de palmeras	2,187	No	No
9	Bosque inundable de palmeras	1,882	Yes	A
10	Bosque inundable de palmeras	1,689	Yes	A
11	Bosque inundable de palmeras	1,541	Yes	A
12	Bosque inundable de palmeras	1,532	Yes	A
13	Bosque inundable de palmeras	1,467	Yes	A
14	Bosque inundable de palmeras	882	Yes	A
15	Bosque inundable de palmeras	873	Yes	B
16	Bosque inundable de palmeras	855	Yes	A
17	Bosque inundable de palmeras	774	Yes	A
18	Bosque inundable de palmeras	766	Yes	A
19	Bosque inundable de palmeras	712	Yes	A
20	Bosque inundable de palmeras	675	Yes	A
21	Bosque inundable de palmeras	655	Yes	B
22	Bosque inundable de palmeras	642	Yes	A
23	Bosque inundable de palmeras	638	Yes	A
24	Bosque inundable de palmeras	634	Yes	B
25	Bosque inundable de palmeras	625	Yes	B
26	Bosque inundable de palmeras	612	yes	A
27	Bosque inundable de palmeras	565	Yes	A
28	Bosque inundable de palmeras	562	Yes	A
29	Bosque inundable de palmeras	540	Yes	A
30	Bosque inundable de palmeras	480	Yes	A
31	Bosque inundable de palmeras	472	No	No
32	Bosque inundable de palmeras	451	Yes	B
33	Bosque inundable de palmeras	450	No	No
34	Bosque inundable de palmeras	446	Yes	B
35	Bosque inundable de palmeras	427	Yes	A
36	Bosque inundable de palmeras	413	Yes	B
37	Bosque inundable de palmeras	392	Yes	A
38	Bosque inundable de palmeras	389	Yes	A
39	Bosque inundable de palmeras	385	Yes	B
40	Bosque inundable de palmeras	380	Yes	A
41	Bosque inundable de palmeras	377	No	No
42	Bosque inundable de palmeras	346	Yes	B
43	Bosque inundable de palmeras	329	Yes	B
44	Bosque inundable de palmeras	329	Yes	B
45	Bosque inundable de palmeras	328	No	No
46	Bosque inundable de palmeras	324	Yes	B
47	Bosque inundable de palmeras	320	No	No
48	Bosque inundable de palmeras	310	Yes	A
49	Bosque inundable de palmeras	303	Yes	B

表 3.2.4.1 サンマルチン州の Aguaje 浸水林の面積と PALSAR 画像の適用性 (その 2)

ID	Forest Type in MINAM(2015)	Shape_Area (ha)	Aguajales by Optical Sensors	Effectiveness of PALSAR/FBS
50	Bosque inundable de palmeras	300	Yes	B
51	Bosque inundable de palmeras	282	Yes	A
52	Bosque inundable de palmeras	261	No	No
53	Bosque inundable de palmeras	258	Yes	A
54	Bosque inundable de palmeras	229	Yes	B
55	Bosque inundable de palmeras	212	Yes	A
56	Bosque inundable de palmeras	204	Yes	A
57	Bosque inundable de palmeras	200	Yes	B
58	Bosque inundable de palmeras	200	Yes	B
59	Bosque inundable de palmeras	195	No	No
60	Bosque inundable de palmeras	189	Yes	A
61	Bosque inundable de palmeras	166	No	No
62	Bosque inundable de palmeras	165	Yes	A
63	Bosque inundable de palmeras	157	No	No
64	Bosque inundable de palmeras	149	Yes	B
65	Bosque inundable de palmeras	146	No	No
66	Bosque inundable de palmeras	137	Yes	A
67	Bosque inundable de palmeras	132	Yes	B
68	Bosque inundable de palmeras	128	Yes	A
69	Bosque inundable de palmeras	125	Yes	B
70	Bosque inundable de palmeras	124	No	No
71	Bosque inundable de palmeras	122	Yes	B
72	Bosque inundable de palmeras	119	Yes	B
73	Bosque inundable de palmeras	119	No	No
74	Bosque inundable de palmeras	118	No	No
75	Bosque inundable de palmeras	109	Yes	B
76	Bosque inundable de palmeras	107	No	No
77	Bosque inundable de palmeras	103	No	No
78	Bosque inundable de palmeras	103	Yes	A
79	Bosque inundable de palmeras	100	No	No
80	Bosque inundable de palmeras	99	Yes	B
81	Bosque inundable de palmeras	99	Yes	A
82	Bosque inundable de palmeras	99	Yes	A
83	Bosque inundable de palmeras	97	No	No
84	Bosque inundable de palmeras	96	Yes	B
85	Bosque inundable de palmeras	96	Yes	B
86	Bosque inundable de palmeras	88	No	No
87	Bosque inundable de palmeras	81	No	No
88	Bosque inundable de palmeras	73	Yes	B
89	Bosque inundable de palmeras	71	Yes	B
90	Bosque inundable de palmeras	69	Yes	A
91	Bosque inundable de palmeras	66	Yes	B
92	Bosque inundable de palmeras	65	Yes	B
93	Bosque inundable de palmeras	62	Yes	A
94	Bosque inundable de palmeras	60	No	No
95	Bosque inundable de palmeras	60	Yes	B
96	Bosque inundable de palmeras	59	Yes	B
97	Bosque inundable de palmeras	59	No	No
98	Bosque inundable de palmeras	58	No	No
99	Bosque inundable de palmeras	58	No	No

表 3.2.4.2 ウカヤリ州の Aguaje 浸水林の面積と PALSAR 画像の適用性

ID	Forest Type in MINAM(2015)	Shape_Area (ha)	Aguajales by Optical Sensors	Effectiveness of PALSAR/FBS
1	Bosque inundable de palmeras	182	Yes	A
2	Bosque inundable de palmeras	70	Yes	B
3	Bosque inundable de palmeras	799	Yes	A
4	Bosque inundable de palmeras	210	Yes	B
5	Bosque inundable de palmeras	206	Yes	A
6	Bosque inundable de palmeras	696	Yes	A
7	Bosque inundable de palmeras	339	Yes	A
8	Bosque inundable de palmeras	2,557	Yes	A
9	Bosque inundable de palmeras	891	Yes	A
10	Bosque inundable de palmeras	212	Yes	B
11	Bosque inundable de palmeras	231	Yes	A
12	Bosque inundable de palmeras	362	Yes	A
13	Bosque inundable de palmeras	60	Yes	B
14	Bosque inundable de palmeras	154	Yes	A
15	Bosque inundable de palmeras	22	Yes	A
16	Bosque inundable de palmeras	41	Yes	B
17	Bosque inundable de palmeras	51	Yes	A
18	Bosque inundable de palmeras	207	Yes	A
19	Bosque inundable de palmeras	366	Yes	A
20	Bosque inundable de palmeras	63	Yes	A
21	Bosque inundable de palmeras	263	Yes	A
22	Bosque inundable de palmeras	120	Yes	A
23	Bosque inundable de palmeras	117	Yes	A
24	Bosque inundable de palmeras	59	Yes	A
25	Bosque inundable de palmeras	117	Yes	A
26	Bosque inundable de palmeras	163	Yes	A
27	Bosque inundable de palmeras	70	Yes	B
28	Bosque inundable de palmeras	162	Yes	A
29	Bosque inundable de palmeras	41	Yes	B
30	Bosque inundable de palmeras	506	Yes	B
31	Bosque inundable de palmeras	24	Yes	B
32	Bosque inundable de palmeras	5,518	Yes	A
33	Bosque inundable de palmeras	430	Yes	A
34	Bosque inundable de palmeras	175	Yes	A
35	Bosque inundable de palmeras	4,998	Yes	A
36	Bosque inundable de palmeras	106	Yes	A
37	Bosque inundable de palmeras	40	Yes	A
38	Bosque inundable de palmeras	264	Yes	B
39	Bosque inundable de palmeras	105	Yes	A
40	Bosque inundable de palmeras	445	Yes	A
41	Bosque inundable de palmeras	3,441	Yes	A
42	Bosque inundable de palmeras	77	Yes	A
43	Bosque inundable de palmeras	76	Yes	B
44	Bosque inundable de palmeras	360	Yes	B
45	Bosque inundable de palmeras	580	Yes	B
46	Bosque inundable de palmeras	616	Yes	B
47	Bosque inundable de palmeras	45	Yes	B
48	Bosque inundable de palmeras basimontano	64	Yes	B
49	Bosque inundable de palmeras basimontano	6	Yes	B
50	Bosque inundable de palmeras basimontano	520	Yes	A
51	Bosque inundable de palmeras basimontano	6	No	B
52	Bosque inundable de palmeras basimontano	12	No	B
53	Bosque inundable de palmeras basimontano	164	No	B
54	Bosque inundable de palmeras basimontano	16	No	B
55	Bosque inundable de palmeras basimontano	109	No	B
56	Bosque inundable de palmeras basimontano	7	No	B
57	Bosque inundable de palmeras basimontano	30	No	B
58	Bosque inundable de palmeras basimontano	3,953	Yes	A
59	Bosque inundable de palmeras basimontano	32	No	B
		31,179		

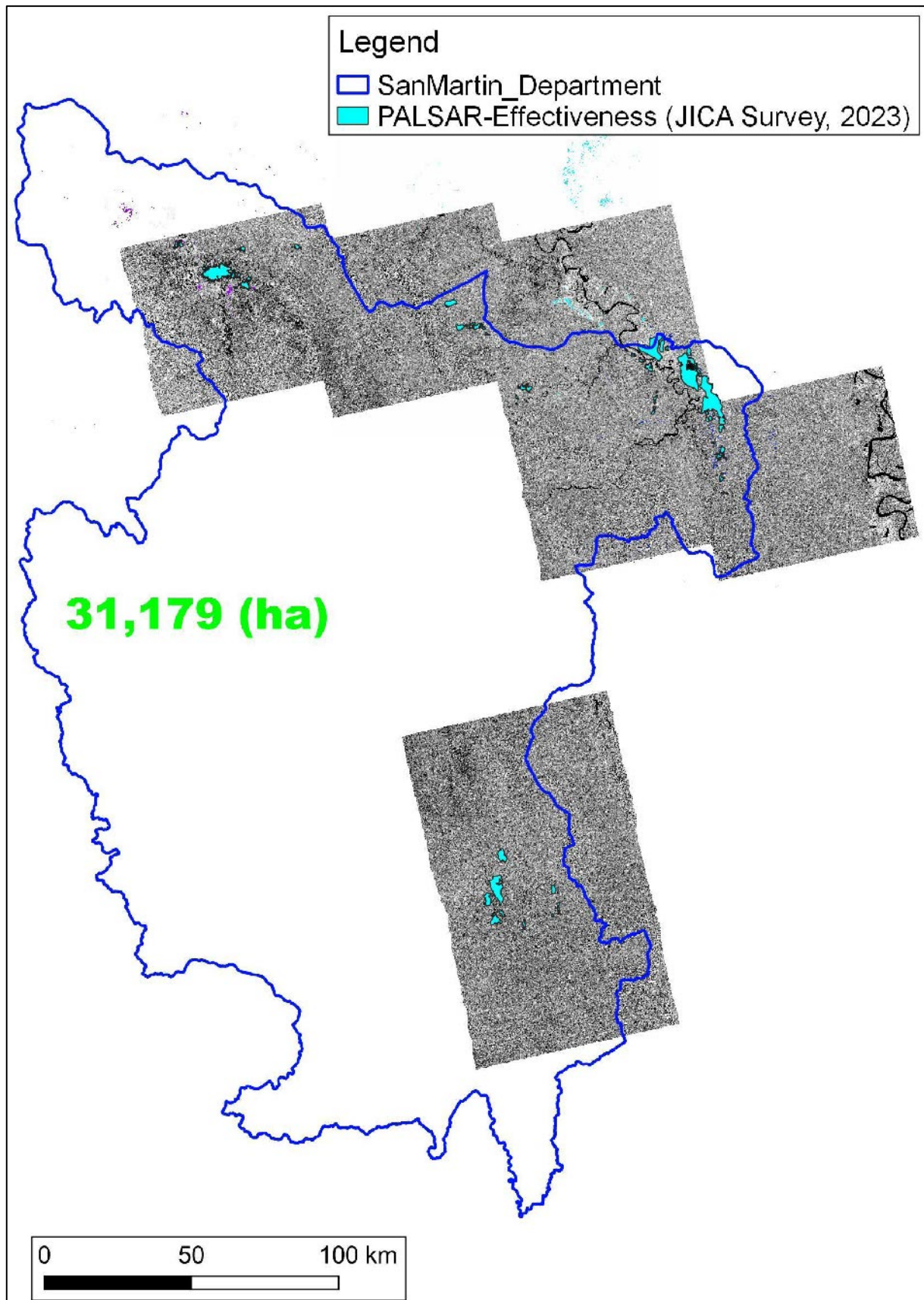


図 3.2.4.8 サンマルチン州の PALSAR 画像解析位置

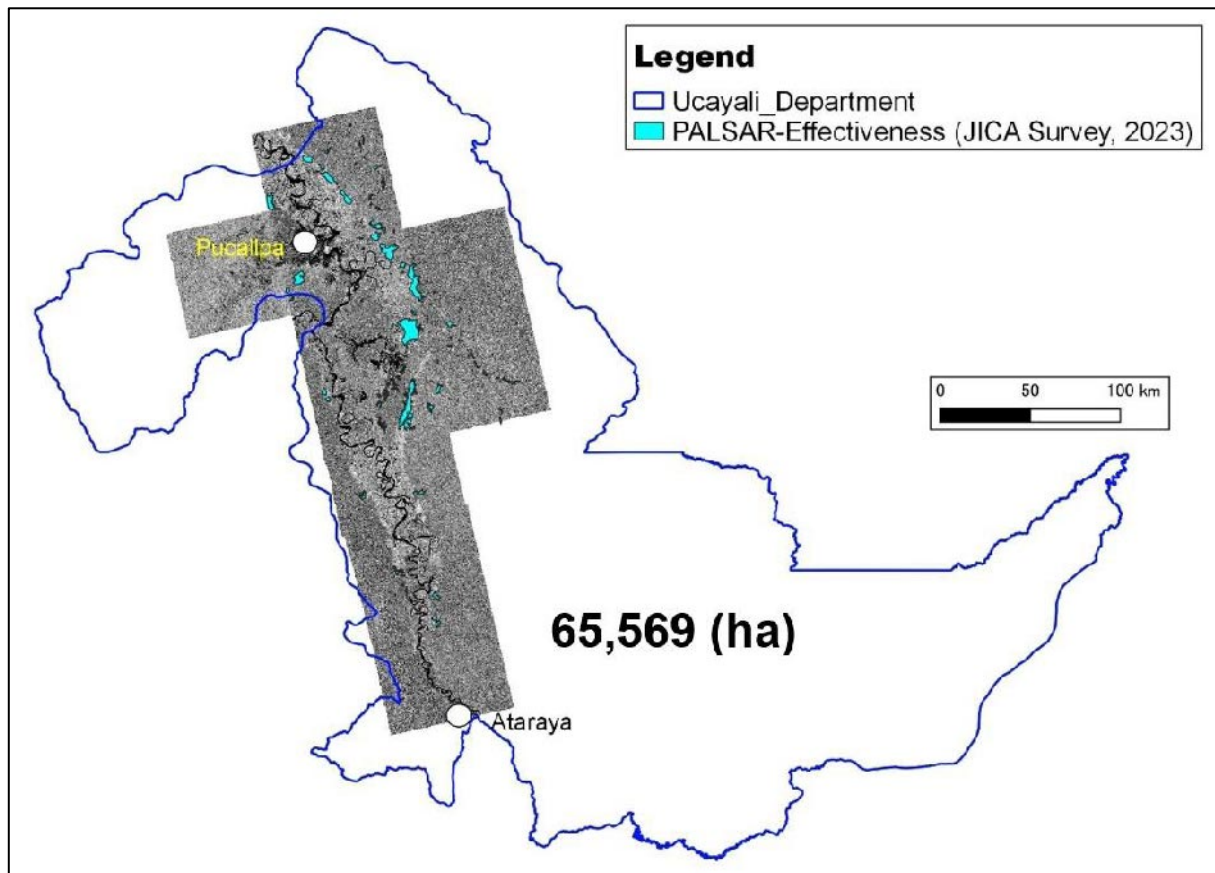


図 3.2.4.9 ウカヤリ州の PALSAR 画像解析位置

3.3 泥炭地マッピングにおける課題・教訓及びニーズ

これまで述べた通り、コンゴ民側の泥炭地では、教師となる土地被覆図（Mbandaka の詳細な泥炭地マップ）を使用して泥炭地植生のスペクトル特性を検討し、泥炭地ポテンシャルマップを作成できた。一方、コンゴ共側の泥炭地では、教師となる土地被覆図を入手することができないため、泥炭地植生のスペクトル特性を検討することができず、コンゴ民と同じ精度で泥炭地ポテンシャルマップを作成することができない。このように、泥炭地マッピングを行う際、教師となる土地被覆図が利用できるかが課題として挙げられる。

第4章 高精度土壌水分マップを基盤とした地下水位推定モデルのプログラム開発及び検証

4.1 開発するプログラムの概要

4.1.1 開発するプログラム

プログラム開発は本業務の中核を成す成果として期待されるが、一方で限られた業務期間を考慮しつつ具体的な開発方針を明確化することが喫緊の課題であった。これに伴い、別途構成される国内支援委員会の主要メンバー及びインドネシアの泥炭管理に知見を有する学識経験者を交えた技術会議など意見交換の開催を引き続き支援した。これまでの会合等で得られた合意事項について、5つの主要成果ごとに整理する。

1) 土壌水分マッピング

WRF(Weather Research Forecast)モデルを用いた 1km 解像度の地下水位推定を行い、将来予測までは組み込まない。また、1km 解像度を高精度化(10m 目途)を目指し、SAR 画像を組み合わせることとする。SAR 画像利用の基本方針は Level2.1 プロダクトと後方散乱係数に基づく水位分布の高精度化を目指す。その結果によっては Level1.1 を用いたポラリメトリ解析や InSAR 解析、ガンマ解析についても試行を検討する。

2) 地下水位推定モデル

基本的には 1) の作業と連動しており、将来予測までは組み込まない。

3) 地下水位推定モデルによる温室効果ガス放出推定モデル

特にメタン放出推定モデルの開発に際しては、チャンバーでの実験パラメータを用いず、Flux タワーでの現地観測データを用いる事に留意する。

4) 泥炭火災の頻度及び強度予測モデル

過去に発生した泥炭火災の頻度や強度が、泥炭火災の再発生のしやすさを左右している。このことに関連性が深い地上植生の細分化が必要であり、具体的にはケセランパサランとシダを分類する技術開発が求められる。この目的に有望な技術として ISS 搭載ハイパースペクトラルセンサー「HISUI」の利用が考えられる。ただし、再委託業務としては、ハイパースペクトラルセンサーは活用せず、ドローン撮影画像・既存データ等を基にすることを想定する。

5) 泥炭地ボーダリング(境界域)推計モデル

ここで言う「ボーダリング」とは、既存泥炭マップの外域を精緻化する意味と同時に、泥炭火災跡地についても過去の強度や現況に応じた細分化(3 タイプ)を目指している点に留意。上記 4) と同様、ハイパースペクトラルセンサーの活用が期待されるが、再委託業務としては、上記 1) の土壌水分マップをベースとし、既存の植生図や追加的なドローン画像などを活用し、ボーダリングを行うこととする。なお、ハイパースペクトラルセンサーの利用については、要検討課題とする。

4.1.2 プログラム開発に係る到達点の確認

本業務で行うプログラム開発の具体的成果について専門家と議論を重ねた。その結果、以下のような課題を明らかにした。

- SAR データに関する既往の文献調査から、当初期待したほどの精度を得ることは困難と判断され、高精度に土壌水分や地下水を推定することは撮影条件や地表状況などの好条件が揃った、限定的利用にならざるを得ない。
- 今後の SAR データ取得の実効性や限定的に利活用する技術であることを踏まえると、本件業務成果の利活用が期待される次期技術協力プロジェクト（以下、LULUCF 技プロと称す）において、インドネシア政府に提案する技術要素として SAR を位置付けることは時期尚早と思料される。
- 一方、すでに一定の成果を挙げている WRF については、1km メッシュへの高精度化が可能であり、これを提案する技術として位置付けることが妥当と結論付けた。

上記の課題について全体像を整理した図を以下に示す。

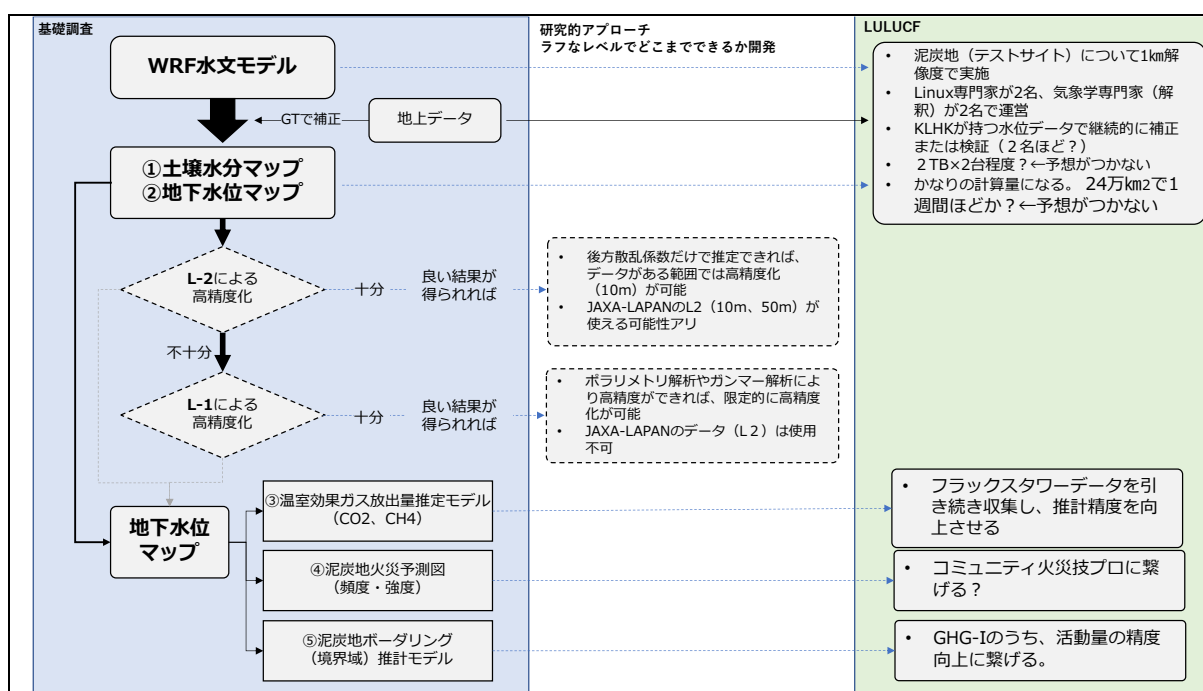


図 4.1.2.1 本調査で開発する技術要素と LULUCF 案件への引き渡し

上記の整理案に関し、国内支援委員を中心とした関係者間でのオンライン会議を開催し、その妥当性について議論した。以下その結果について示す。

- SAR の活用については限界があることを認識し、インドネシア政府の SAR に関する理解を適切なものとするを念頭に、その性能を検証する意味合いを意識した開発を行う。
- ドローン空撮画像を用いた写真測量技術により泥炭の地盤沈降量を測定することが可能であり、SAR 技術とともに利用可能性を検討する。
- WRF を用いて 1 km単位での土壌水分マッピングができるのであれば、それを主軸とした検討とする方向で良い。

上記の認識のもと、プログラム開発は、国内再委託（京都大学）により、実施された。

4.1.3 開発するモデル・マップの関係及びそのアウトプットのイメージ

本調査を通じて開発するモデル・マップの関係を次図に示す。

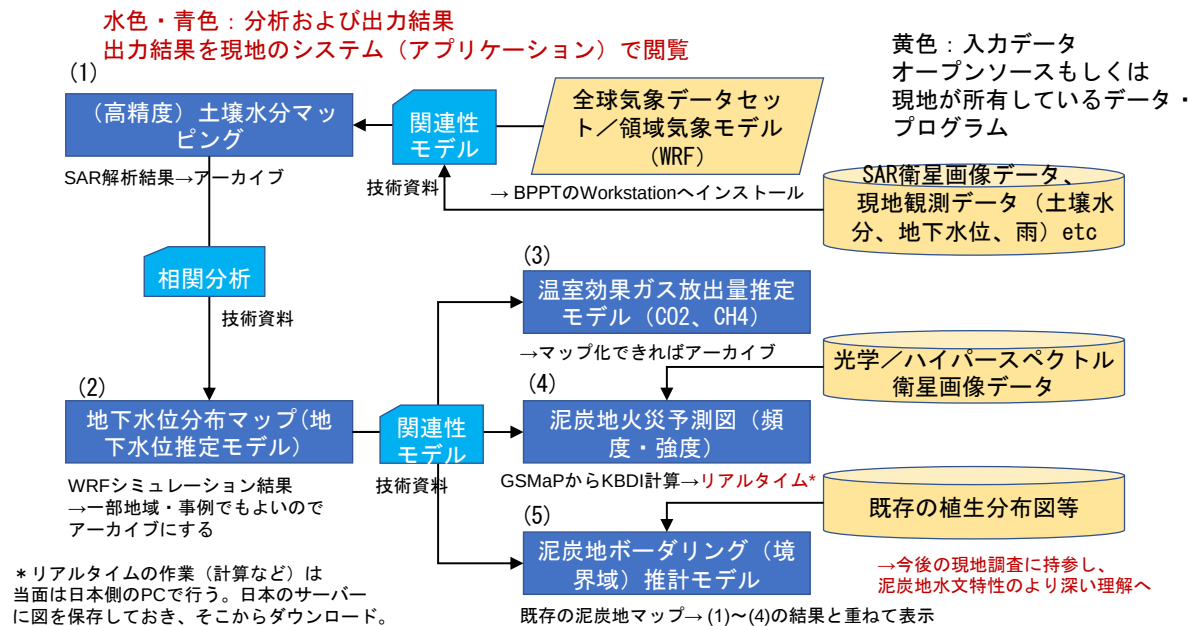


図 4.1.3.1 想定する(高精度)土壌水分マッピングをベースとしたプログラム開発の概要

それぞれのモデル・マップを作成するためには、それぞれ必要なデータ(入力データ)があり、それらのデータをもとに各マップが出力される。以下に、一連のモデル・マップを作成するに必要なデータ(入力データ)と、それに対応するマップ(出力データ)の関係を示す。

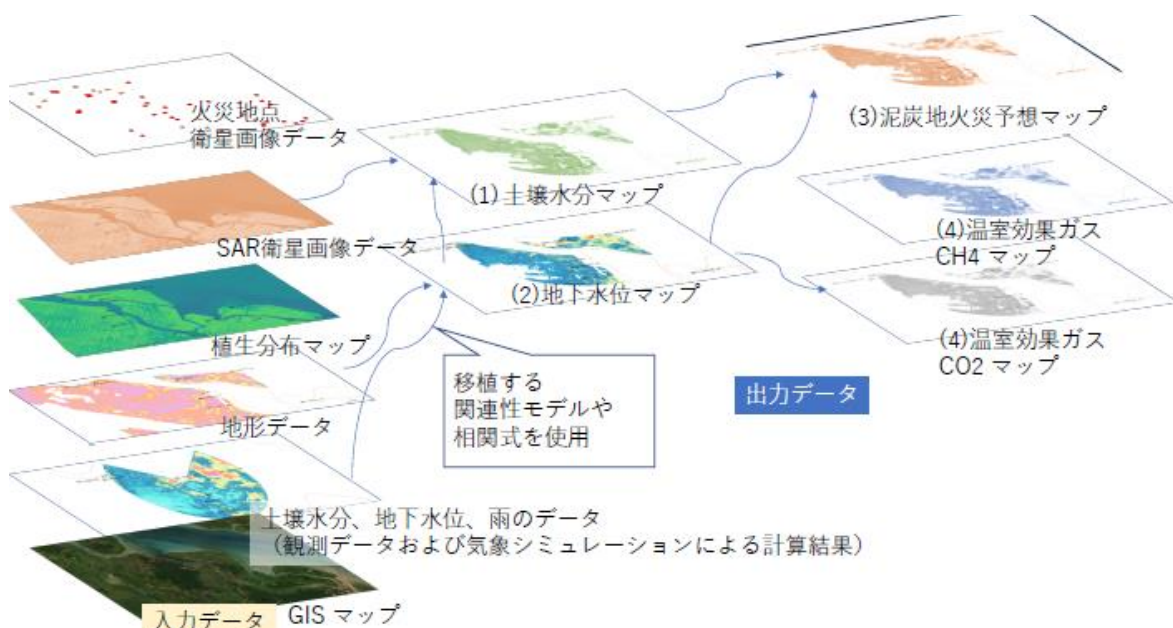


図 4.1.3.2 マップ表示システムのレイヤーのイメージ

表 4.1.3.1 マップ表示システムへの入力データと出力結果の関係

入力データ	出力データ
WRF シミュレーション結果	(1) 土壌水分マップ SAR 解析結果からアーカイブ
SAR 衛星画像データ	(2) 地下水位マップ WRF シミュレーション結果からアーカイブ
現地観測データ（土壌水分、地下水位、降雨など）	(3) 泥炭地火災予想マップ GSMaP から KBDI を計算
植生分布図	(4) 温室効果ガス CO ₂ マップ、CH ₄ マップ マップ化できればアーカイブ化
	(5) 泥炭地ボーダリング 既存の泥炭地マップと(1)～(4)の結果を重ねて表示する

4.1.4 プログラム開発で利用したデータ

本プログラム開発にあたり、収集した主なデータは以下の通りである。

表 4.1.4.1 プログラム開発のために入手したデータ

(1) 観測データ

概要	期間	時間解像度	ステーション数	項目	エリア	入手先
BMKG 地上観測	2015/1～2021/4	1 日	68	[1]気温、[2]降水、[3]日射時間、[4]湿度、[5]風速、[6]風向	Sumatra、Kalimantan	BMKG
BMKG ラジオゾンデ	2015/1～2021/4	1 日	10	[1]気温、[2]風速、[3]風向、[4]気圧、[5]湿度 他	Sumatra、Kalimantan の空港	BMKG
BRG 地下水位等	2017/1～2019/3	10 分	43	[1]気温、[2]土壌水分量、[3]地下水位、[4]降水	Sumatra、Kalimantan	BPPT
	2018/10～2020/5	1 時間	173	[1]土壌水分量、[2]地下水位、[3]降水	Sumatra、Kalimantan	BPPT
	2018/10～2021/3	1 時間	8	[1]土壌水分量、[2]地下水位、[3]降水	Riau	BPPT
	2019/7～2021/11	1 時間	3	[1]土壌水分量、[2]地下水位、[3]降水	Riau	BPPT
みどり	2012～2020	10 分	6	[1]水位（河川・地下水）、[2]降水	Sumatra、Kalimantan	みどり工学

(2) 現地調査データ

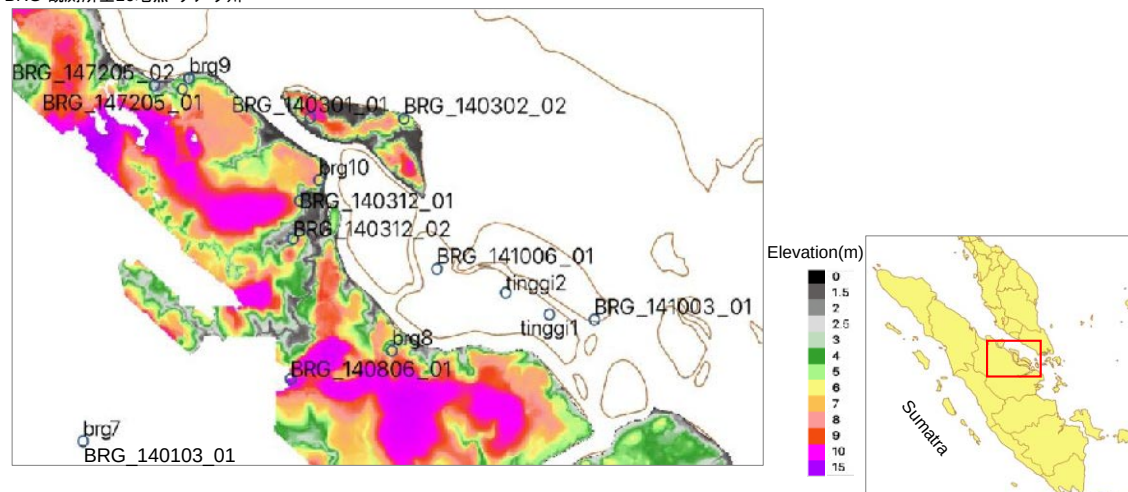
概要	期間	最大ステーション数	項目	エリア
雨季調査	2022/5	11	[1]土壌水分量、[2]土壌温度、[3]土壌サンプリング、[4]植生、[5]ドローンによる土地利用・水系調査、[6]GPR による泥炭厚さ、[7]ボーリング、[6]聞き取り調査（BRG 観測所を管理している現地住民を対象とする。質問項目は火災・植生の履歴、地盤沈下、観測所のメンテナンス状況などである。）	Riau
乾季調査	2022/8	11	[1]土壌水分量、[2]土壌温度、[3]ドローンによる土地利用・水系調査及び火災調査、[4]GPR による泥炭厚さ、[5]ボーリング	Riau

4.1.5 現地調査を行ったエリア

本プログラム開発にあたり、雨季（2022 年 5 月）及び乾期（2022 年 8 月）の 2 回、再委託業者による現地調査を実施した。

現地調査の地域、位置情報、日程や調査項目は図 4.1.5.1、表 4.1.5.1～表 4.1.5.3 の通りである。インドネシア・リアウ州における BRG 観測所 15 地点のうち、最大 11 地点において現地調査を実施した。

BRG 観測所全16地点 リアウ州



注：140103_01 と brg7 は約 600m 離れている。

図 4.1.5.1 プログラム開発の対象とした調査エリア

表 4.1.5.1 BRG の観測所の位置情報

BRG 観測所	(緯度, 経度)	地域	機器のタイプ
1 (140312_01)	1. 24083, 102. 06222	ブンカリス	SIPALAGA
2 (brg10)	1. 30934, 102. 13142		SIPALAGA
3 (brg9)	1. 65019, 101. 66923	ドゥマイ	SESAME
4 (147205_01)	1. 61361, 101. 64554		SIPALAGA
5 (140301_01)	1. 51944, 102. 09917	ブンカリス	SIPALAGA
6 (140302_02)	1. 51639, 102. 43306		SIPALAGA
7 (141006_01)	1. 01217, 102. 55142	メランティ	SIPALAGA
8 (141003_01)	0. 84342, 103. 1117		SIPALAGA
9 (140806_01)	0. 64428, 102. 03163	シアック	SIPALAGA
10 (140103_01)	0. 43498, 101. 29881	カンパー	SIPALAGA
11 (brg7)	0. 43490, 101. 29379		SESAME

表 4.1.5.2 雨季の調査日と調査項目

日付	BRG 観測所もしくは地域名	調査項目					
		土壌水分量/ 土壌温度	地下水位 (メ ジャー)	ボーリング	地中 レーダー	ドローン 土 地利用・水 系距離	土壌サンプ リング
2022 年 5 月 17 日	1 (140312_01)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2 (brg10)	✓			✓	✓	✓
2022 年 5 月 18 日	3 (brg9)	✓	✓		✓	✓	✓
	4 (147205_01)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2022 年 5 月 19 日	5 (140301_01)	✓			✓		✓
	6 (140302_02)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2022 年 5 月 20 日	7 (141006_01)	✓	✓				✓
2022 年 5 月 21 日	8 (141003_01)	✓	✓	✓			✓

日付	BRG 観測所もしくは地域名	調査項目					
		土壌水分量/ 土壌温度	地下水位 (メ ジャー)	ボーリング	地中 レーダー	ドローン 土 地利用・水 系距離	土壌サンプ リング
2022 年 5 月 22 日	9(140806_01)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2022 年 5 月 23 日	10(140103_01)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11(brg7)	✓	✓		✓	✓	

注：実施した調査はチェックマークで記した。

表 4.1.5.3 乾季の調査日と調査項目

日付	BRG 観測所もしくは地域名	調査項目					
		土壌水分量/ 土壌温度	地下水位 (メ ジャー)	ボーリング	地中 レーダー	ドローン 土 地利用・水 系距離	ドローン 火 災調査
2022 年 8 月 18 日	プララワン						✓
2022 年 8 月 24 日	1(140312_01)	✓(TDR セン サー不良。 後日計測)	✓	✓	✓		
	2(brg10)	✓(TDR セン サー不良。 後日計測)	✓	✓	✓		
2022 年 8 月 25 日	3(brg9)	✓(TDR セン サー不良。 後日計測)	✓	✓	✓		
	4(147205_01)	✓(TDR セン サー不良。 後日計測)	✓	✓	✓		
2022 年 8 月 26 日	5(140301_01)	✓	✓	✓	✓	✓	
	6(140302_02)	✓	✓	✓(2 回)	✓		
2022 年 8 月 27 日	9(140806_01)	✓	✓	✓	✓		
2022 年 8 月 28 日	10(140103_01)	✓	✓	✓	✓		
	11(brg7)	✓	✓	地盤固い	植生が繁茂		
2022 年 8 月 29 日	1(140312_01)	✓					
	2(brg10)	✓					
2022 年 8 月 30 日	3(brg9)	浸水					
	4(147205_01)	✓					

注：実施した調査はチェックマークで記した。

4.2 高精度土壌水分マップ（土壌水分量による地下水位推計）

4.2.1 土壌水分マップの検討

土壌水分マッピングを行うにあたり、基礎データ（地下水位、降水量）の整理を行った。WRF、SAR を同期させるために、データ、エラーデータの確認を行った。日付が重複しているもの、観測データが明らかにおかしいものなどを省いた。

4.2.1.1 使用した初期値データ

使用した初期値データは、NCEP/NCAR の ds083.03 である。その他は、WRF のデフォルトのデータを使用した。

4.2.1.2 計算対象期間

2018年10月31日～2018年12月1日（エルニーニョ現象が発生した年の雨季）

なお、シミュレーション結果は、最初の24時間をイニシアルタイムとして不使用とする。

2019年7月31日～2019年9月1日並びに2020年7月31日～2020年9月1日は、該当する現地観測データがないため、使用していない。

4.2.1.3 計算領域

計算領域は図4.2.1.1のとおり、インドネシア全域を入るように27kmメッシュ領域をとり（domain 01）、主要域を9kmメッシュ（domain 02）、3kmメッシュ（domain 03～05）、1kmメッシュ（domain 06～10）ととった。タイムステップは120秒である。

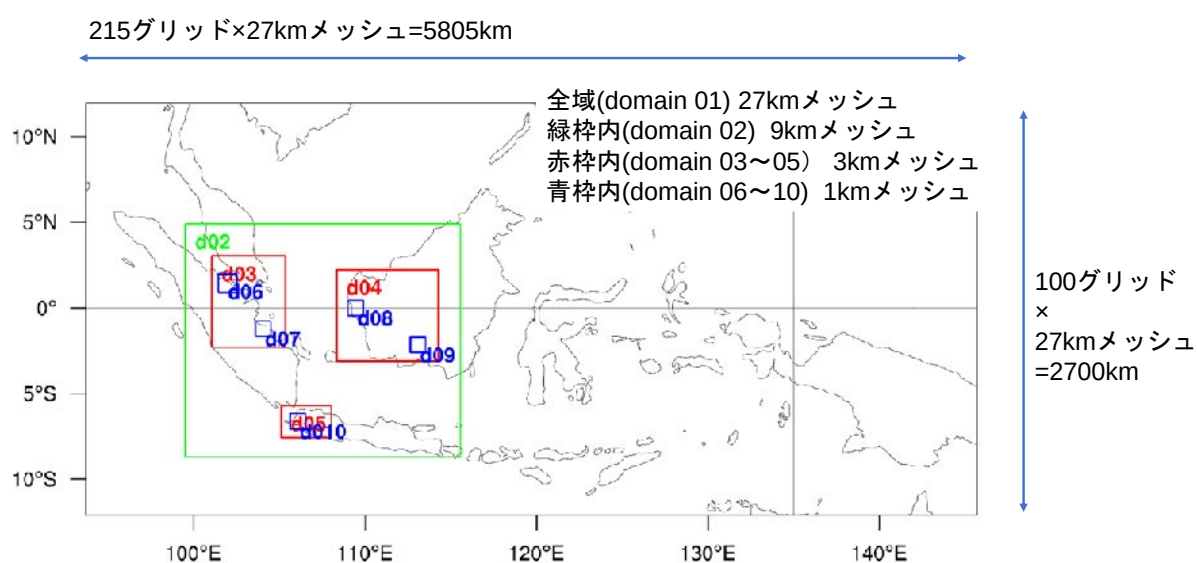


図 4.2.1.1 WRF シミュレーションの計算領域

土壌水分量は、統計計算ソフト R を使用して、WRF の解析結果から 4 層（地表から 0～10cm、10～40cm、40～100cm 及び 100～200cm）の土壌水分量を抜き出した。計算対象期間中のある一時期の WRF による土壌水分量の結果などを下述する。

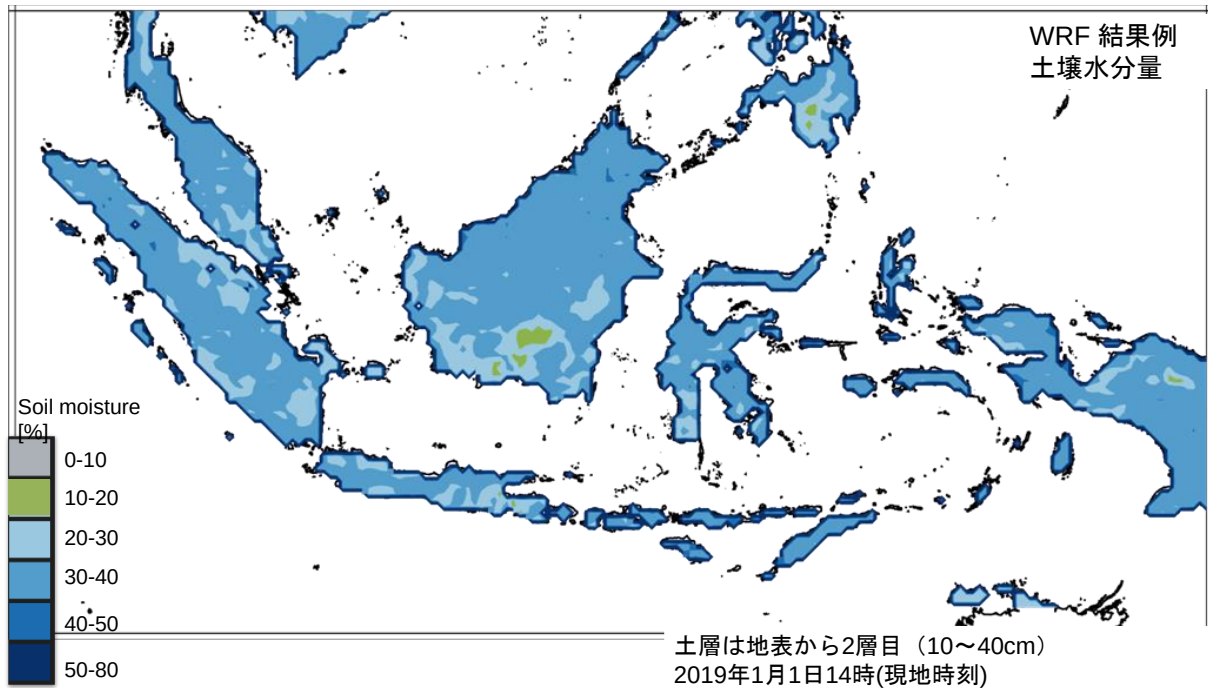


図 4.2.1.2 2019 年 1 月 1 日 14:00 (現地時間) の WRF の結果の例
(地表から 2 層目の土壌水分量)

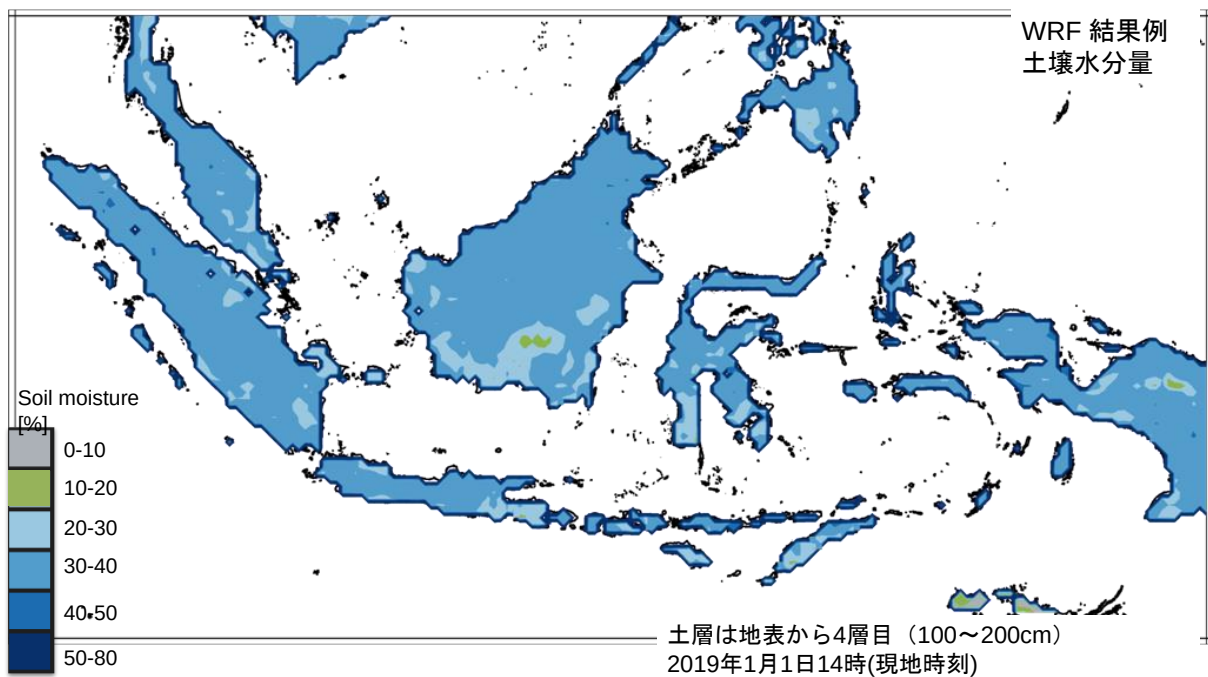


図 4.2.1.3 2019 年 1 月 1 日 14:00 (現地時間) の WRF の結果の例
(地表から 4 層目の土壌水分量)

また、WRF による時間雨量の結果を下図に示す。

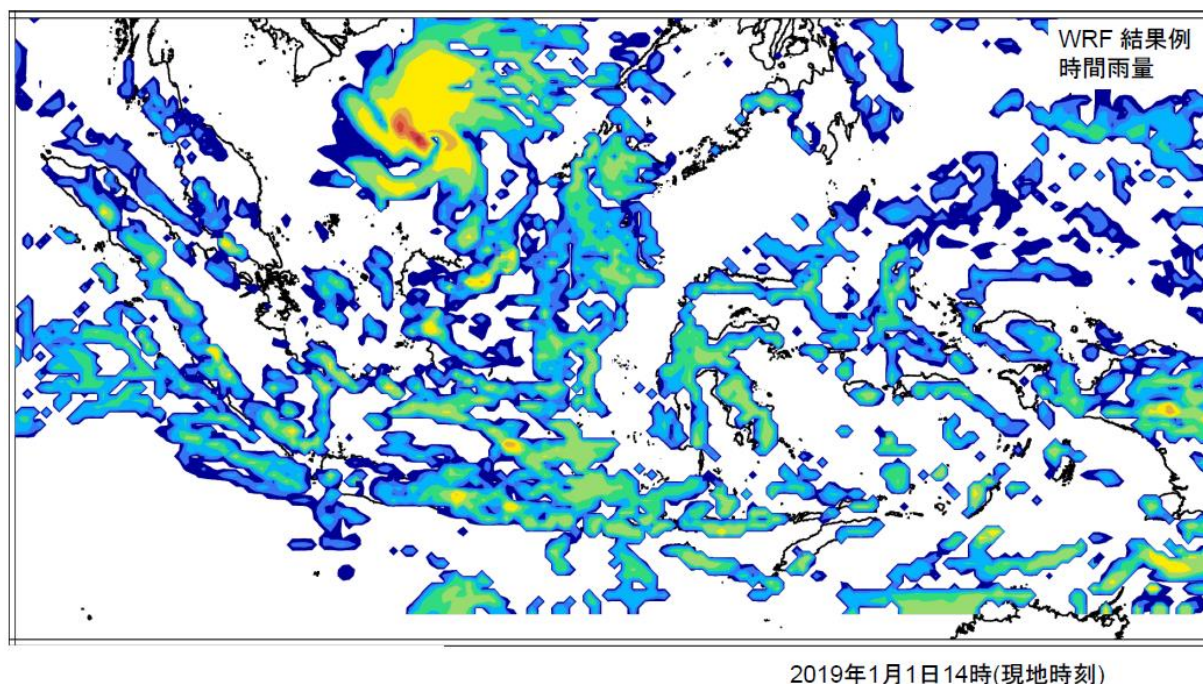


図 4.2.1.4 2019 年 1 月 1 日 14:00（現地時間）の WRF の結果の例（時間雨量）

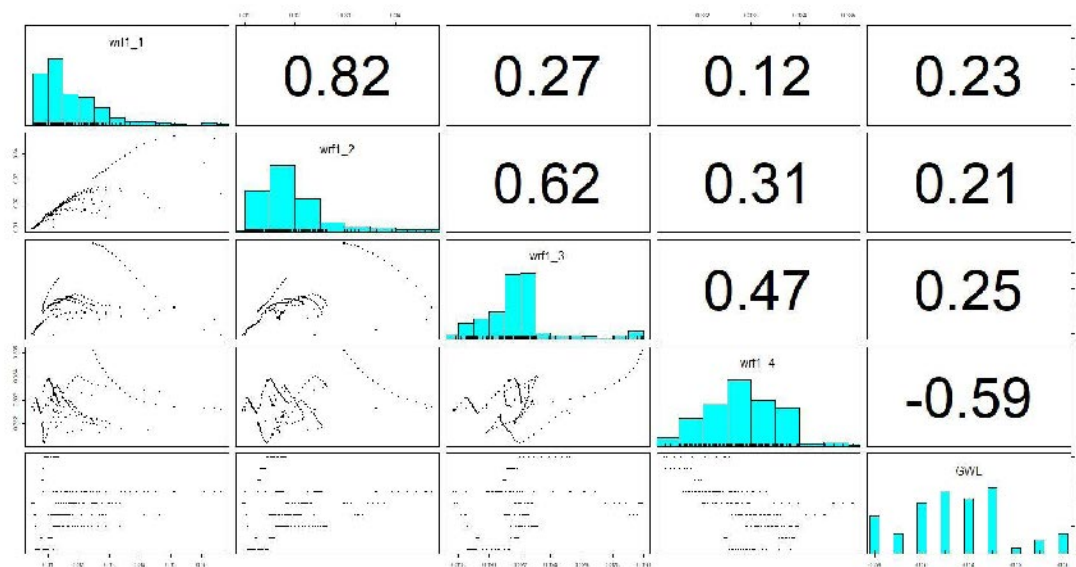
4.2.1.4 重回帰分析による WRF 結果から地下水位の算出式の検討

抜き出したデータから現地観測データ（地下水位）と WRF 結果（土壌水分量）の散布図を作成した。

該当メッシュを中心として、 1×1 、 3×3 、 9×9 、 27×27 の 4 つの窓領域をとって比較を行い、窓領域の大きさについて検討を行った。その結果、32 地点中、 1×1 の窓領域が 3 地点、 3×3 の窓領域が 4 地点、 9×9 の窓領域が 7 地点、 27×27 の窓領域が 18 地点と、大きな窓領域を取った方が、相関が高くなる傾向にあった。

つぎに、7 日、10 日、15 日、20 日、30 日の値で比較することにより、WRF での計算期間の最適化について検討を行った。その結果、7 日が 3 地点、10 日が 10 地点、15 日が 4 地点、20 日が 10 地点、30 日が 5 地点という結果となった。つまり 10 日間の計算を行えば良い地点と、20 日間の計算を行えば良い地点に大きく分かれたが、ばらついているとも言える。

散布図の例として、Kalbar1 地点で窓領域は 1×1 、WRF の計算期間は 7 日間とした WRF シミュレーション結果と地下水位の関係の図を示す（図 4.2.1.5）。これによると、地下水位と WRF 結果の相関は、第 1 レイヤー（0～10cm）が 0.23、第 2 レイヤー（10～40cm）が 0.21、第 3 レイヤー（40～100cm）が 0.25、第 4 レイヤー（100～200cm）が -0.59 となっていることがわかる。



注：窓領域は1×1、WRF の計算期間は7日間

上段・左から、WRF 土壌水分量の第1レイヤー（0～10cm）、WRF 土壌水分量の第2レイヤー（10～40cm）、第3レイヤー（40～100cm）、第4レイヤー（100～200cm）、地下水位の観測値
数字は相関係数、棒グラフは日々の値、散布図は相関分布

図 4.2.1.5 Kalbar1 地点における WRF による土壌水分量推定結果と地下水位の相関

重回帰分析を行った結果、最適な窓領域かつ最適な計算日数を取った場合には、決定係数が 0.6 を超える地点は 32 点中 26 地点（81%）、0.7 を超える地点が 22 地点（68%）となり、非常に良い結果となった。

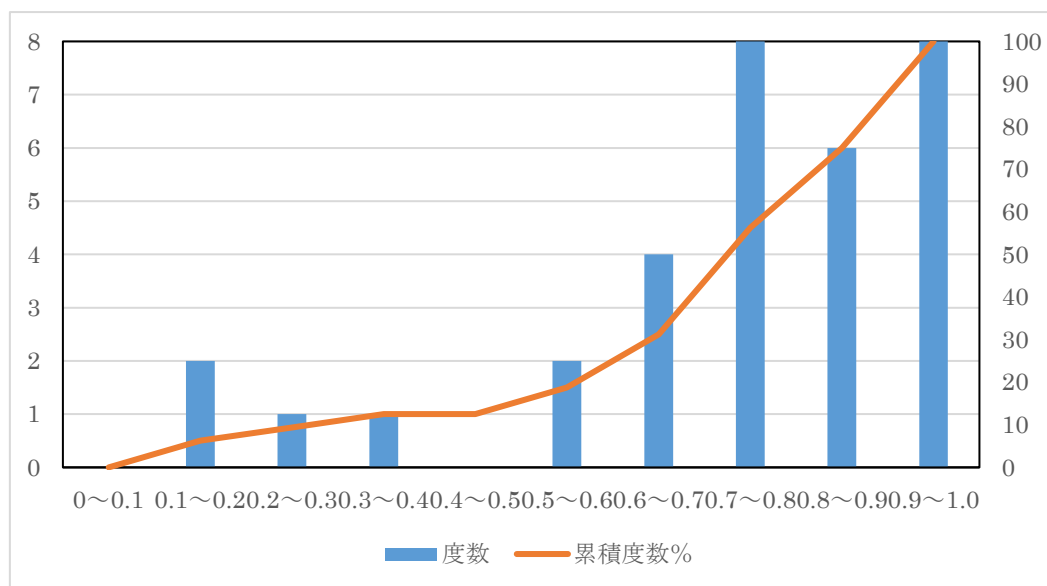


図 4.2.1.6 WRF を用いたシミュレーションによる地下水位推定の絶対係数

今後、地下水位のシミュレーションを行う際には、この結果をもととして広範囲での重回帰式を構築していく。地下水位を求めるための重回帰式の係数は次表のとおりである。

表 4.2.1.1 32 地点の地下水位を求めるための重回帰式（その1）

		推定式								調整済み決定係数	使用メッシュ	解析日数
1 Seleh2	y=	-0.50613 x\$wrf27_2 ***	2.14066 x\$wrf27_3 ***	-0.08195 x\$wrf27_4 *	-0.56306 ***					0.9222	27	30
2 Tinggi1	y=	-0.42590 x\$wrf9_2[1:169] ***	4.17750 x\$wrf9_3[1:169] ***	-20.49830 x\$wrf9_4[1:169] ***	4.83230 ***					0.7399	9	7
3 Tinggi2	y=	-1.07924 x\$wrf27_2[1:169] ***	1.08012 x\$wrf27_3[1:169] ***	-0.37203 ***						0.1803	27	7
4 Batok1	y=	-0.40570 x\$wrf27_2[1:361] ***	3.91870 x\$wrf27_3[1:361] ***	-4.44270 x\$wrf27_4[1:361] ***	-0.88260 ***					0.8633	27	15
5 Batok2	y=	-1.38390 x\$wrf27_2[1:241] ***	10.86570 x\$wrf27_3[1:241] ***	-32.19080 x\$wrf27_4[1:241] ***	4.48480 ***					0.9399	27	10
6 Brg2	y=	-0.42480 x\$wrf3_1[1:481] **	0.56180 x\$wrf3_2[1:481] *	-1.31100 x\$wrf3_3[1:481] ***	6.90840 x\$wrf3_4[1:481] ***	-2.14030 ***				0.7905	3	20
7 Brg3	y=	-1.94510 x\$wrf27_2[1:241] ***	2.39040 x\$wrf27_3[1:241] ***	12.97170 x\$wrf27_4[1:241] ***	-5.01570 ***					0.5423	27	10
8 Brg4	y=	-1.02710 x\$wrf3_2[1:169] ***	1.40070 x\$wrf3_3[1:169] ***	-9.71620 x\$wrf3_4[1:169] ***	2.56790 ***					0.9571	3	7
9 Brg5	y=	0.26990 x\$wrf1_2[1:169] ***	-2.39290 x\$wrf1_3[1:169] ***	-8.25060 x\$wrf1_4[1:169] ***	2.83980 ***					0.7824	1	7
10 Brg6	y=	0.32420 x\$wrf27_1[1:169] *	-1.68100 x\$wrf27_2[1:169] ***	6.56890 x\$wrf27_3[1:169] ***	-2.69610 x\$wrf27_4[1:169] *	-1.13350 **				0.8387	27	7
11 Brg7	y=	0.12949 x\$wrf9_1[1:481] ***	-0.53024 x\$wrf9_2[1:481] ***	1.78743 x\$wrf9_3[1:481] ***	-9.04546 x\$wrf9_4[1:481] ***	0.75717 ***				0.8891	9	20
12 Brg8	y=	0.00124 x\$wrf27_2[1:169] ***	-2.49784 x\$wrf27_3[1:169] ***	3.78859 x\$wrf27_4[1:169] ***	-1.14844 ***					0.3646	27	7
13 Brg9	y=	1.65320 x\$wrf3_1[1:241] ***	-1.90640 x\$wrf3_2[1:241] **	4.20180 x\$wrf3_3[1:241] ***	3.60850 x\$wrf3_4[1:241] ***	-3.08550 ***				0.6151	3	10
14 Brg10	y=	-0.94033 x\$wrf9_2[1:481] ***	1.62951 x\$wrf9_3[1:481] ***	-8.06996 x\$wrf9_4[1:481] ***	1.61806 ***					0.8406	9	20
15 Brg11	y=	0.85051 x\$wrf27_2[1:361] ***	-0.71143 x\$wrf27_3[1:361] *	3.93249 x\$wrf27_4[1:361] ***	-2.63710 ***					0.9110	27	15
16 Brg12	y=	0.75919 x\$wrf27_1[1:361] **	-1.07762 x\$wrf27_2[1:361] **	4.15239 x\$wrf27_3[1:361] ***	1.41402 x\$wrf27_4[1:361] ***	-2.62140 ***				0.9339	27	15
17 Brg13	y=	-0.92305 x\$wrf27_2[1:481] ***	1.37661 x\$wrf27_3[1:481] ***	4.34887 x\$wrf27_4[1:481] ***	-2.24772 ***					0.9451	27	20
18 Brg14	y=	0.80537 x\$wrf27_1[1:361] ***	-0.77332 x\$wrf27_2[1:361] *	2.81841 x\$wrf27_3[1:361] ***	-1.17716 x\$wrf27_4[1:361] ***	-0.77055 ***				0.6924	27	15
19 Brg15	y=	0.71354 x\$wrf9_1[1:361] *	-1.77520 x\$wrf9_2[1:361] ***	4.31049 x\$wrf9_3[1:361] ***	-1.61897 ***					0.7793	9	15
20 Brg16	y=	-0.75901 x\$wrf27_2[1:361] ***	0.92985 x\$wrf27_3[1:361] ***	2.44876 x\$wrf27_4[1:361] ***	-1.15423 ***					0.9161	27	15

表 4. 2. 1. 1 32 地点の地下水位を求めるための重回帰式（その 2）

		推定式								調整済み決定係数	使用メッシュ	解析日数
21 Brg17	y=	-0.73920 x\$wrf1_1[1:169]	4.98240 x\$wrf1_3[1:169]	-26.66050 x\$wrf1_4[1:169]	7.29800					0.7166	1	10
		***	***	***	***							
22 Brg18	y=	2.15700 x\$wrf1_2[1:169]	4.59930 x\$wrf1_3[1:169]	22.29190 x\$wrf1_4[1:169]	-10.03590					0.7431	1	10
		***	***	***	***							
23 Brg19	y=	-1.14470 x\$wrf27_1[1:361]	2.96910 x\$wrf27_2[1:361]	-3.27100 x\$wrf27_3[1:361]	-3.13640 x\$wrf27_4[1:361]	0.47070	0.5005	27	15			
		**	***	**	***	***	***					
24 Brg20	y=	0.82920 x\$wrf27_1[1:481]	-3.70700 x\$wrf27_2[1:481]	11.75660 x\$wrf27_3[1:481]	-14.18440 x\$wrf27_4[1:481]	1.08200	0.7118	27	20			
		*	***	***	***	***	***					
25 Jambi1	y=	-2.45020 x\$wrf3_2[1:169]	-29.49250 x\$wrf3_4[1:169]	9.19260						0.8065	3	7
		***	***	***								
26 Kalbar1	y=	0.34820 x\$wrf27_1[1:169]	-1.09820 x\$wrf27_2[1:169]	8.53510 x\$wrf27_3[1:169]	-19.30550 x\$wrf27_4[1:169]	3.38500	0.7421	27	7			
			**	***	***	***	***					
27 Kalteng1	y=	0.34096 x\$wrf9_2[1:361]	1.93317 x\$wrf9_3[1:361]	-3.81728 x\$wrf9_4[1:361]	0.09175					0.6770	9	15
		*	***	***	***							
28 Lumpur1	y=	-0.64437 x\$wrf27_1[1:361]	0.86735 x\$wrf27_2[1:361]	-0.80159 x\$wrf27_4[1:361]	-2.98902					0.1568	27	15
		***	***	***	***							
29 Lumpur2	y=	-0.52751 x\$wrf27_3	10.85712 x\$wrf27_4	-4.03911						0.9688	27	30
		*	***	***	***							
30 Muba2	y=	-16.87680 x\$wrf27_2[1:361]	49.64890 x\$wrf27_3[1:361]	-20.95840 x\$wrf27_4[1:361]	-7.94450					0.2128	27	15
		***	***	***	***							
31 Oki2	y=	0.92930 x\$wrf9_1[1:241]	-0.50150 x\$wrf9_2[1:241]	4.58070 x\$wrf9_3[1:241]	25.79030 x\$wrf9_4[1:241]	-7.82100	0.8795	9	10			
		***		***	***	***	***					
32 Selehi1	y=	-0.43357 x\$wrf9_1	0.90471 x\$wrf9_2	-0.62561 x\$wrf9_3	0.86527 x\$wrf9_4	-4.69285	0.6284	9	30			
		***	***	***	***	***	***					

注：2018 年 11 月の例、窓領域と計算期間も検討した結果。

これまでの分析では、各観測所に対して重回帰方程式を設定した。次いで、各観測所のデータを1つのデータセットに結合して、インドネシア全体の重回帰方程式を作成した。計算の対象となる期間は、2018年11月1日8:00:00（時間=25）から2018年11月15日23:00:00（時間=384）までとし、計算領域は27kmメッシュで示す。

重回帰分析の結果に基づいて、インドネシア全土の予測モデルを作成した。その重回帰式は以下のとおりである。

$$GWL = -2.70133 \times 2nd\ layer - 2.62319 \times 3rd\ layer + 3.64690 \times 4th\ layer - 0.40890$$

しかし、決定係数は0.01555であり、高くない。

実際には、作成された予測式がWRFの結果に適用され、予測された地下水位を計算することになる。今回の場合、インドネシア全土の2018年11月16日の午後12:00:00の地下水位を予測した。

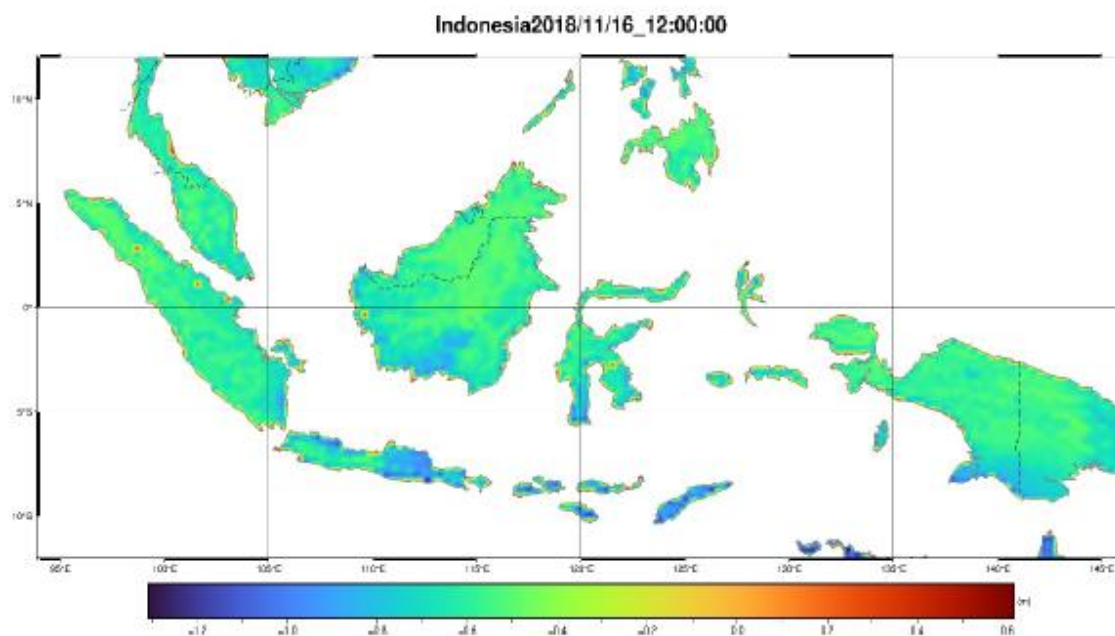


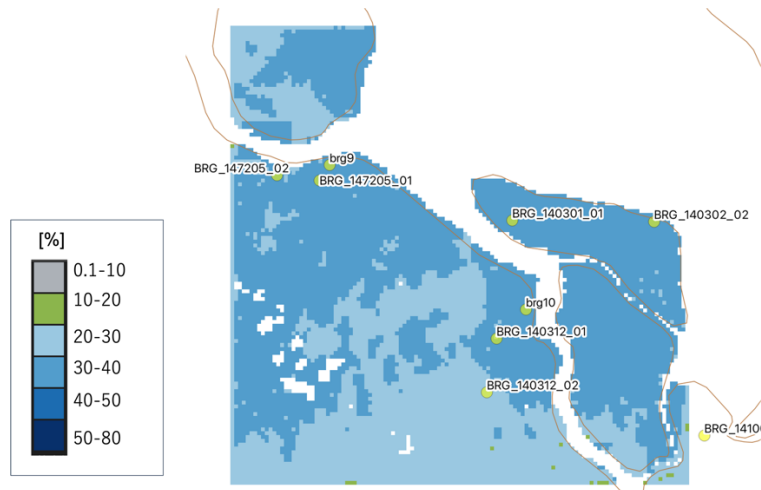
図 4.2.1.7 インドネシア全土を対象にした WRF シミュレーションによる地下水位マップ
(2018 年 11 月 16 日)

なお、後述する試行的な実証の参考とするため、WRF のインストール並びに WRF の出力から地下水位の推定方法に係るマニュアルを作成した。

4.2.1.5 WRF 結果を用いた広範囲での地下水位推定式の検討

高精度土壌水分量マップとして、第一期で得られた WRF の解析結果から 4 層（地表から 0～10cm、10～40cm、40～100cm 及び 100～200cm）の土壌水分量を抜き出し、そのうち 1 層の結果を図 4.2.1.4 に示す。対象地域はリアウ州である。空間解像度は 1km メッシュである。

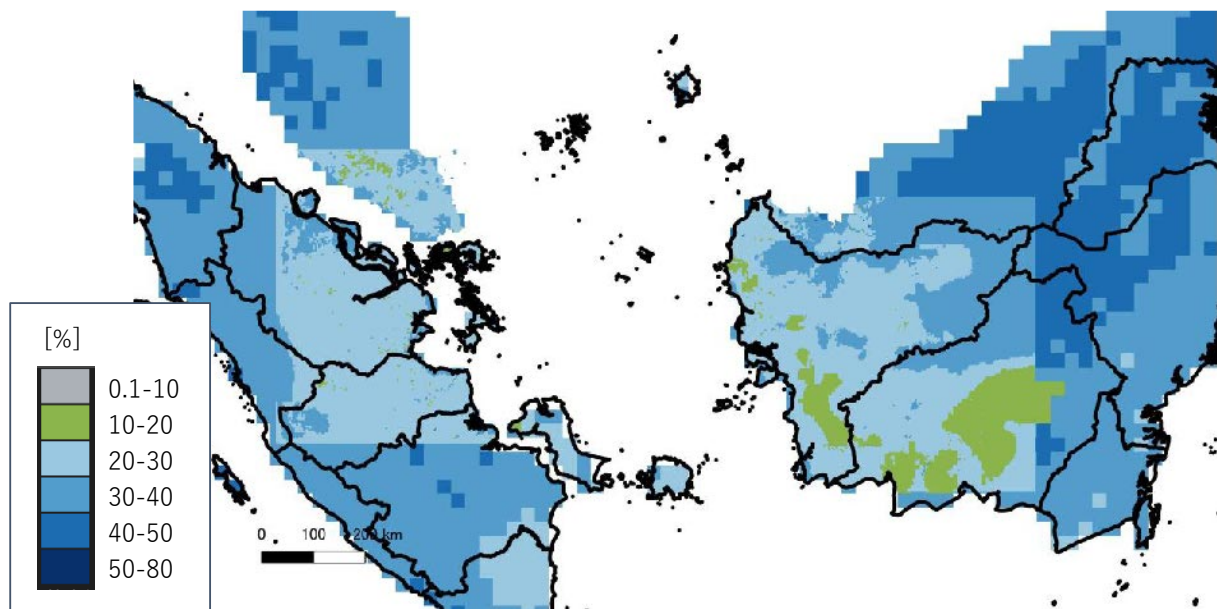
地下水位のシミュレーションを行うにあたり、表 4.2.1.1 でしめす地点ごとの重回帰式の結果をもととして広範囲での重回帰式を検討した。



注：解像度は1km グリッド。黄色のプロット点は BRG 観測所。

**図 4.2.1.8 WRF 結果で得られた土壌水分量（第1層目）の日平均値
（2019 年 8 月 16 日（現地時間））**

また、リアウ州のブンカリス地区を対象にして開発した土壌水分量推定式を用いて、本調査対象 3 州を対象として、推定した土壌水分量（地表から 2 層目）を図 4.2.1.9 に示す。



注：解像度は D03、D04 は 3km グリッド（2019 年 8 月 16 日）、D01 は 27km グリッド（2018 年 11 月 16 日）。

図 4.2.1.9 WRF 結果で得られた 3 州を対象とした土壌水分量（第2層目）

4.2.2 SAR データを用いた土壌水分量の推定

また、技術会合等で提案された 1km 解像度の高精度化（10m 目途）を目指し、SAR 画像を組み合わせることに関し、SAR データを用いての土壌水分量の推定を行った。

4.2.2.1 使用したデータ

- SAR 画像、詳細データ：122 枚の SAR 画像。これは、JICA-JAXA 協力により、JAXA より提供を受けた。
- 地下水位、土壌水分量、降水量データ：WRF 解析時に使用したデータ

以下に使用した SAR データ一覧を示す。

表 4.2.2.1 土壌水分量の推定に使用した SAR データ一覧

L2.1	センサ	運用モード	シーン ID	観測パス番号	中心フレーム番号	偏波	州名
1	PALSAR-2	SM3	ALOS2143660000-170119	151	0	HH+HV	Riau
2	PALSAR-2	SM3	ALOS2143660010-170119	151	10	HH+HV	Riau
3	PALSAR-2	SM3	ALOS2147060010-170211	150	10	HH+HV	Riau
4	PALSAR-2	SM3	ALOS2149643600-170301	36	3600	HH+HV	Riau
5	PALSAR-2	SM3	ALOS2151713590-170315	36	3590	HH+HV	Riau
6	PALSAR-2	SM3	ALOS2151713600-170315	36	3600	HH+HV	Riau
7	PALSAR-2	SM3	ALOS2164133580-170607	36	3580	HH+HV	Riau
8	PALSAR-2	SM3	ALOS2164133590-170607	36	3590	HH+HV	Riau
9	PALSAR-2	SM3	ALOS2165463600-170616	35	3600	HH+HV	Riau
10	PALSAR-2	SM3	ALOS2165690000-170617	150	0	HH+HV	Riau
11	PALSAR-2	SM3	ALOS2169830010-170715	150	10	HH+HV	Riau
12	PALSAR-2	SM3	ALOS2176780000-170831	151	0	HH+HV	Riau
13	PALSAR-2	SM3	ALOS2176780010-170831	151	10	HH+HV	Riau
14	PALSAR-2	SM3	ALOS2176780020-170831	151	20	HH+HV	Riau
15	PALSAR-2	SM3	ALOS2182250000-171007	150	0	HH+HV	Riau
16	PALSAR-2	SM3	ALOS2195410000-180104	151	0	HH+HV	Riau
17	PALSAR-2	SM3	ALOS2195410010-180104	151	10	HH+HV	Riau
18	PALSAR-2	SM3	ALOS2195410020-180104	151	20	HH+HV	Riau
19	PALSAR-2	SM3	ALOS2198810010-180127	150	10	HH+HV	Riau
20	PALSAR-2	SM3	ALOS2200880000-180210	150	0	HH+HV	Riau
21	PALSAR-2	SM3	ALOS2205020000-180310	150	0	HH+HV	Riau
22	PALSAR-2	SM3	ALOS2205760000-180315	151	0	HH+HV	Riau
23	PALSAR-2	SM3	ALOS2205760010-180315	151	10	HH+HV	Riau
24	PALSAR-2	SM3	ALOS2205760020-180315	151	20	HH+HV	Riau
25	PALSAR-2	SM3	ALOS2209160010-180407	150	10	HH+HV	Riau
26	PALSAR-2	SM3	ALOS2211970000-180426	151	0	HH+HV	Riau

L2.1	センサ	運用 モード	シーン ID	観測パ ス番号	中心フレーム 番号	偏波	州名
27	PALSAR-2	SM3	ALOS2211970010-180426	151	10	HH+HV	Riau
28	PALSAR-2	SM3	ALOS2211970020-180426	151	20	HH+HV	Riau
29	PALSAR-2	SM3	ALOS2215370010-180519	150	10	HH+HV	Riau
30	PALSAR-2	SM3	ALOS2226460000-180802	151	0	HH+HV	Riau
31	PALSAR-2	SM3	ALOS2226460010-180802	151	10	HH+HV	Riau
32	PALSAR-2	SM3	ALOS2226460020-180802	151	20	HH+HV	Riau
33	PALSAR-2	SM3	ALOS2229860010-180825	150	10	HH+HV	Riau
34	PALSAR-2	SM3	ALOS2231930000-180908	150	0	HH+HV	Riau
35	PALSAR-2	SM3	ALOS2246420000-181215	150	0	HH+HV	Riau
36	PALSAR-2	SM3	ALOS2247160000-181220	151	0	HH+HV	Riau
37	PALSAR-2	SM3	ALOS2247160010-181220	151	10	HH+HV	Riau
38	PALSAR-2	SM3	ALOS2247160020-181220	151	20	HH+HV	Riau
39	PALSAR-2	SM3	ALOS2250560010-190112	150	10	HH+HV	Riau
40	PALSAR-2	SM3	ALOS2252630000-190126	150	0	HH+HV	Riau
41	PALSAR-2	SM3	ALOS2253370000-190131	151	0	HH+HV	Riau
42	PALSAR-2	SM3	ALOS2253370010-190131	151	10	HH+HV	Riau
43	PALSAR-2	SM3	ALOS2258840000-190309	150	0	HH+HV	Riau
44	PALSAR-2	SM3	ALOS2264460010-190416	152	10	HH+HV	Riau
45	PALSAR-2	SM3	ALOS2272000000-190606	151	0	HH+HV	Riau
46	PALSAR-2	SM3	ALOS2276880010-190709	152	10	HH+HV	Riau
47	PALSAR-2	SM3	ALOS2280280000-190801	151	0	HH+HV	Riau
48	PALSAR-2	SM3	ALOS2280280010-190801	151	10	HH+HV	Riau
49	PALSAR-2	SM3	ALOS2280280020-190801	151	20	HH+HV	Riau
50	PALSAR-2	SM3	ALOS2283680010-190824	150	10	HH+HV	Riau
51	PALSAR-2	SM3	ALOS2285750000-190907	150	0	HH+HV	Riau
52	PALSAR-2	SM3	ALOS2290630000-191010	151	0	HH+HV	Riau
53	PALSAR-2	SM3	ALOS2290630010-191010	151	10	HH+HV	Riau
54	PALSAR-2	SM3	ALOS2290630020-191010	151	20	HH+HV	Riau
55	PALSAR-2	SM3	ALOS2292700000-191024	151	0	HH+HV	Riau
56	PALSAR-2	SM3	ALOS2306450000-200125	150	0	HH+HV	Riau
57	PALSAR-2	SM3	ALOS2146167170-170205	132	7170	HH+HV	Kalbar
58	PALSAR-2	SM3	ALOS2146167180-170205	132	7180	HH+HV	Kalbar
59	PALSAR-2	SM3	ALOS2146167190-170205	132	7190	HH+HV	Kalbar
60	PALSAR-2	SM3	ALOS2150823610-170309	32	3610	HH+HV	Kalbar
61	PALSAR-2	SM3	ALOS2150823620-170309	32	3620	HH+HV	Kalbar

L2.1	センサ	運用 モード	シーン ID	観測パ ス番号	中心フレーム 番号	偏波	州名
62	PALSAR-2	SM3	ALOS2151047190-170310	133	7190	HH+HV	Kalbar
63	PALSAR-2	SM3	ALOS2159103610-170504	32	3610	HH+HV	Kalbar
64	PALSAR-2	SM3	ALOS2159103620-170504	32	3620	HH+HV	Kalbar
65	PALSAR-2	SM3	ALOS2177957190-170908	133	7190	HH+HV	Kalbar
66	PALSAR-2	SM3	ALOS2179287170-170917	132	7170	HH+HV	Kalbar
67	PALSAR-2	SM3	ALOS2179287180-170917	132	7180	HH+HV	Kalbar
68	PALSAR-2	SM3	ALOS2179287190-170917	132	7190	HH+HV	Kalbar
69	PALSAR-2	SM3	ALOS2196587190-180112	133	7190	HH+HV	Kalbar
70	PALSAR-2	SM3	ALOS2197917170-180121	132	7170	HH+HV	Kalbar
71	PALSAR-2	SM3	ALOS2197917180-180121	132	7180	HH+HV	Kalbar
72	PALSAR-2	SM3	ALOS2197917190-180121	132	7190	HH+HV	Kalbar
73	PALSAR-2	SM3	ALOS2206937190-180323	133	7190	HH+HV	Kalbar
74	PALSAR-2	SM3	ALOS2213147190-180504	133	7190	HH+HV	Kalbar
75	PALSAR-2	SM3	ALOS2214477170-180513	132	7170	HH+HV	Kalbar
76	PALSAR-2	SM3	ALOS2214477180-180513	132	7180	HH+HV	Kalbar
77	PALSAR-2	SM3	ALOS2214477190-180513	132	7190	HH+HV	Kalbar
78	PALSAR-2	SM3	ALOS2227637190-180810	133	7190	HH+HV	Kalbar
79	PALSAR-2	SM3	ALOS2248337190-181228	133	7190	HH+HV	Kalbar
80	PALSAR-2	SM3	ALOS2249667170-190106	132	7170	HH+HV	Kalbar
81	PALSAR-2	SM3	ALOS2249667180-190106	132	7180	HH+HV	Kalbar
82	PALSAR-2	SM3	ALOS2249667190-190106	132	7190	HH+HV	Kalbar
83	PALSAR-2	SM3	ALOS2260757190-190322	133	7190	HH+HV	Kalbar
84	PALSAR-2	SM3	ALOS2266967190-190503	133	7190	HH+HV	Kalbar
85	PALSAR-2	SM3	ALOS2275247190-190628	133	7190	HH+HV	Kalbar
86	PALSAR-2	SM3	ALOS2281457190-190809	133	7190	HH+HV	Kalbar
87	PALSAR-2	SM3	ALOS2291807190-191018	133	7190	HH+HV	Kalbar
88	PALSAR-2	SM3	ALOS2302157190-191227	133	7190	HH+HV	Kalbar
89	PALSAR-2	SM3	ALOS2314577190-200320	133	7190	HH+HV	Kalbar
90	PALSAR-2	SM3	ALOS2150673660-170308	29	3660	HH+HV	Kalteng
91	PALSAR-2	SM3	ALOS2158953660-170503	29	3660	HH+HV	Kalteng
92	PALSAR-2	SM3	ALOS2179653660-170920	29	3660	HH+HV	Kalteng
93	PALSAR-2	SM3	ALOS2181947140-171005	130	7140	HH+HV	Kalteng
94	PALSAR-2	SM3	ALOS2185863660-171101	29	3660	HH+HV	Kalteng
95	PALSAR-2	SM3	ALOS2187933660-171115	29	3660	HH+HV	Kalteng
96	PALSAR-2	SM3	ALOS2192073660-171213	29	3660	HH+HV	Kalteng

L2.1	センサ	運用 モード	シーン ID	観測パ ス番号	中心フレーム 番号	偏波	州名
97	PALSAR-2	SM3	ALOS2194143660-171227	29	3660	HH+HV	Kalteng
98	PALSAR-2	SM3	ALOS2200577140-180208	130	7140	HH+HV	Kalteng
99	PALSAR-2	SM3	ALOS2204493660-180307	29	3660	HH+HV	Kalteng
100	PALSAR-2	SM3	ALOS2204717140-180308	130	7140	HH+HV	Kalteng
101	PALSAR-2	SM3	ALOS2210703660-180418	29	3660	HH+HV	Kalteng
102	PALSAR-2	SM3	ALOS2216913660-180530	29	3660	HH+HV	Kalteng
103	PALSAR-2	SM3	ALOS2227263660-180808	29	3660	HH+HV	Kalteng
104	PALSAR-2	SM3	ALOS2231627140-180906	130	7140	HH+HV	Kalteng
105	PALSAR-2	SM3	ALOS2233473660-180919	29	3660	HH+HV	Kalteng
106	PALSAR-2	SM3	ALOS2239683660-181031	29	3660	HH+HV	Kalteng
107	PALSAR-2	SM3	ALOS2245893660-181212	29	3660	HH+HV	Kalteng
108	PALSAR-2	SM3	ALOS2252103660-190123	29	3660	HH+HV	Kalteng
109	PALSAR-2	SM3	ALOS2252327140-190124	130	7140	HH+HV	Kalteng
110	PALSAR-2	SM3	ALOS2255137130-190212	131	7130	HH+HV	Kalteng
111	PALSAR-2	SM3	ALOS2258313660-190306	29	3660	HH+HV	Kalteng
112	PALSAR-2	SM3	ALOS2264523660-190417	29	3660	HH+HV	Kalteng
113	PALSAR-2	SM3	ALOS2270733660-190529	29	3660	HH+HV	Kalteng
114	PALSAR-2	SM3	ALOS2281083660-190807	29	3660	HH+HV	Kalteng
115	PALSAR-2	SM3	ALOS2285447140-190905	130	7140	HH+HV	Kalteng
116	PALSAR-2	SM3	ALOS2287293660-190918	29	3660	HH+HV	Kalteng
117	PALSAR-2	SM3	ALOS2293503660-191030	29	3660	HH+HV	Kalteng
118	PALSAR-2	SM3	ALOS2299713660-191211	29	3660	HH+HV	Kalteng
119	PALSAR-2	SM3	ALOS2305923660-200122	29	3660	HH+HV	Kalteng
120	PALSAR-2	SM3	ALOS2312133660-200304	29	3660	HH+HV	Kalteng
121	PALSAR-2	SM3	ALOS2318343660-200415	29	3660	HH+HV	Kalteng
122	PALSAR-2	SM3	ALOS2324553660-200527	29	3660	HH+HV	Kalteng

4.2.2.2 作成手順

1) vrt ファイルへの変換

ALOS-2 用 VRT 作成ツールを使用し、取得した SAR 画像フォルダ中にある“LED-***.5RUD”を“.vrt”ファイルに変換（ArcGIS Pro）

2) Geotiff への変換

“.vrt”ファイルを SNAP に読み込ませるため Geotiff に変換（ArcGIS Pro）

3) ノイズ処理方法の選定

SNAP 上にあるノイズ処理を全て試しサンプル化し、処理方法を決める。今回試したノイズ処理方法は、Refined Lee、Median、Lee Sigma、Lee、IDAN、Gamma Map、Frost、Boxcar の 8 種類。

- 4) ノイズ処理
Target Window Size 「3×3」, Look 「3」, フィルタサイズ 「7×7」, sigma 「0.6」 の設定で
ノイズ処理
- 5) 必要な観測点の抽出
全画像と観測点とを空間検索し、必要な観測点だけを抽出 (ArcGIS Pro)
- 6) ピクセル値を抽出
※1 地点だけの抽出は ArcGIS Pro でモデルビルダーを組むことで出来たが、3×3 の自動
化が出来なかったため全て手動で入力する。
- 7) R 上の処理
R 上の処理を行う。
 - a) 観測データの結合
複数の現地観測データを同一形式になるよう調整を行う。
 - b) 各画像の撮影時刻を抽出したピクセル値に与える
撮影時刻は手動で事前に UTC+8 にしておく
 - c) 1・2 のデータを観測点・時刻を条件に結合する
欠損している箇所は自動的に省くように設定
- 8) 重回帰分析
R で出力されたデータをもとに Excel 上で重回帰分析を行う。
- 9) バンドの分解
ラスター関数で画像をバンド 1 とバンド 2 に分解する。(ArcGIS Pro)
- 10) ラスター演算からの図の作成
重回帰分析で出てきた式をラスター演算し図を作成する。(ArcGIS Pro)

4.2.2.3 観測地点での重回帰式

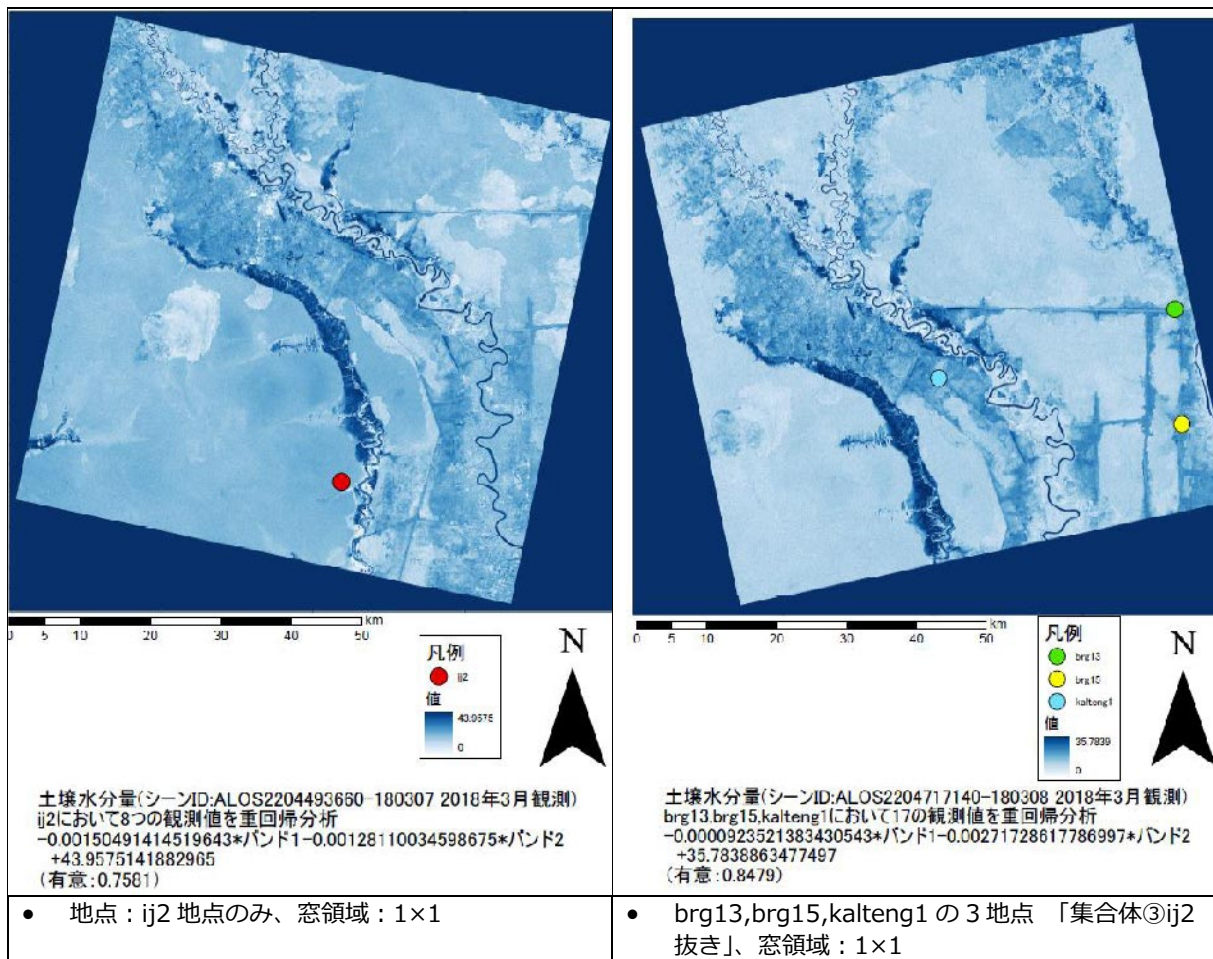
窓領域 1×1、3×3 において、実測値が複数あり、優位が最も高い地点を 1 地点だけの重回帰式を基に作成した。また、R 処理の結果、今回使用できる観測地点に集まりが見られたので（集合体）、その中でも優位が最も高い集まりを複数地点の重回帰式を基に作成した。

地点ごとの重回帰式は次表の通りであるが、窓領域 1×1 もしくは 3×3 において、重相関係数が高いものでも 0.32、0.34 であり、相対的に低い相関を示している。

表 4.2.2.2 観測地点での重回帰式

地点	窓領域	重回帰式	重相関係数
ij2 地点	1×1	$-0.00150491414519643 \times \text{バンド 1} - 0.00128110034598675 \times \text{バンド 2} + 43.9575141882965$	0.32
brg13, brg15, kaltengl の 3 地点 「集合体③ij2 抜き」	1×1	$-0.0000923521383430543 \times \text{バンド 1} - 0.00271728617786997 \times \text{バンド 2} + 35.7838863477497$	0.15
brg10 の 1 地点のみ	3×3	$-0.000241466781029246 \times \text{バンド 1} - 0.000488837354566314 \times \text{バンド 2} + 26.7279053563167$	0.34
brg13, brg15, kaltengl の 3 地点 「集合体③ij2 抜き」	3×3	$0.000944065190415274 \times \text{バンド 1} - 0.0024251699553205 \times \text{バンド 2} + 30.2292252027411$	0.12

PALSAR2 画像を用いて上表で示した地点ごとの重回帰式を用いた土壌水分量推定図を、以下に示す。



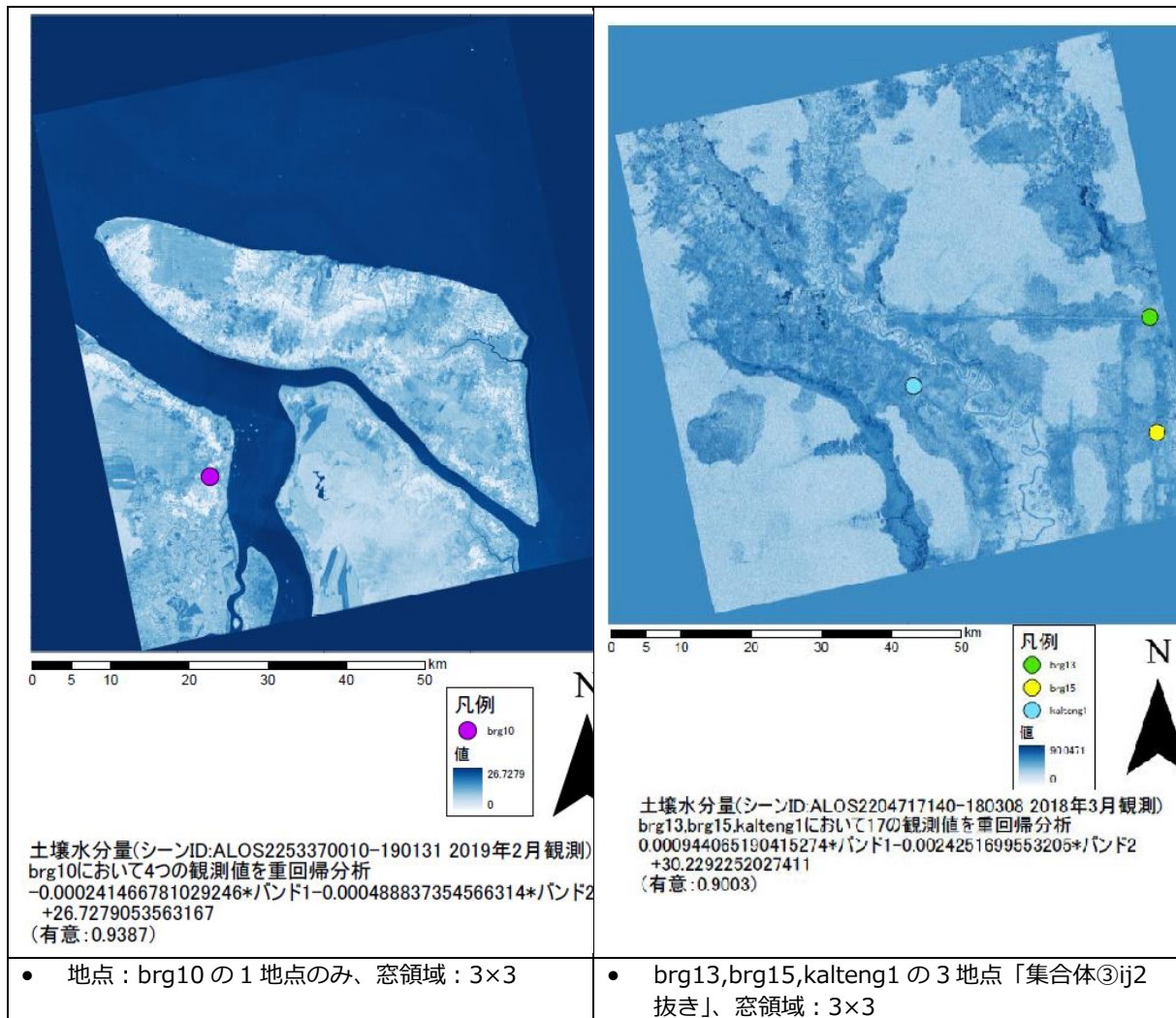


図 4.2.2.1 PALSAR2 による土壌水分量推定図

4.2.2.4 全観測地点での重回帰式

全観測地点を対象として、重回帰式を算出した。その結果、全観測地点を取るときには、窓領域を1×1よりも3×3としたほうが重相関係数は高くなるが、0.21と高くないという結果になった。

表 4.2.2.3 全観測地点での重回帰式

地点	窓領域	重回帰式	重相関係数
全観測地点	1×1	-0.00101323138890318*バンド1+ 0.00119064194653928*バンド2+ 29.1743091261637	0.16
全観測地点	3×3	-0.00160130637486663*バンド1+ 0.00173207989345127*バンド2+ 30.7414111645802	0.21

なお、後述する試行的な実証の参考とするため、上述した SAR の解析手順に係るマニュアルを作成した。

4.2.2.5 調査対象地域における SAR 画像による重回帰分析の検討

4.2.2.2 において自動化された解析システムを用いて、リアウ地域 4 地点の BRG 観測所のデータと 5 枚の SAR 画像による重回帰分析を行った。BRG 観測所の 4 地点のデータについて、異常値の有無などのクオリティチェックを完了したことから、追加の解析に使用した。また対象地域は SAR 画像のエリアに応じて、①ドゥマイ北側、②ドゥマイ南側、③ブンカリス島、の 3 つに分けられる。

重回帰分析に際し、(A)すべての地域を合わせた場合と、(B)地域ごとの場合の 2 パターンで解析した。(A) の場合、F 値は 0.0505、重相関係数は 0.72 となった。(B) の場合、F 値は地域ごとにそれぞれ、①0.49、②0.12、となった。③は t 値が 65535 と異常値となったため、F 値はなしとなった。重相関係数は、①0.86、②0.99、となった。

重回帰分析の結果、2 パターンの解析方法は両方ともに有意な結果にはならなかった。一部の地域を除くと、(B) による地域ごとの解析方法の方が、F 値・重相関係数ともに大きい。しかし異常値も見られたことから、汎用性のより高いのは (A) のすべての地域を合わせた方法である。次式に (A) の方法による重回帰式を示す。

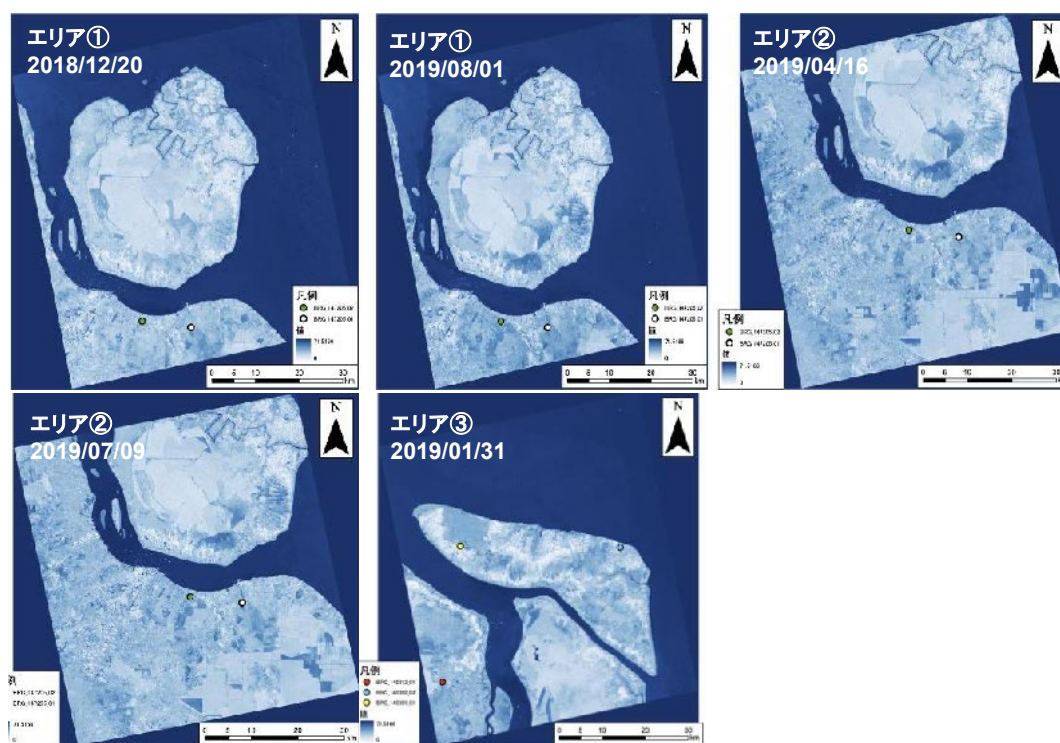
$$SM = -0.00319 \cdot B1 - 0.00865 \cdot B2 + 71.51$$

また、次式に (B) の地域ごとの方法による重回帰式を示す。ただしエリア①の場合である。

$$SM = 0.00856 \cdot B1 - 0.02176 \cdot B2 + 52.01$$

ここで、SM: 土壌水分量 [%]、B1, B2: それぞれ HH と HV の後方散乱係数の値である。

図 4.2.2.2 に (A) の方法で重回帰分析を行ったときの土壌水分量の結果を示す。



注：各画像の左上に 3 つのエリアの種類と SAR の観測日時 (UTC) を示す。

図 4.2.2.2 すべてのエリアを合わせた場合の土壌水分量の推定結果

4.2.2.6 WRF を基本とした SAR データの検証

SAR で推定された土壌水分量の検証にあたり、SAR で推定された土壌水分量がより確からしいと想定されるグリッドを検出し、そのグリッドにおいて、WRF（1層目の土層）と SAR の土壌水分量を比較した。

今回使用する L バンドの SAR データは、波長がより短い X バンド及び C バンド（Sentinel など）に比べると、植生層を比較的貫通することができる（Ottinger and Kuenzer, 2020）。また、このような SAR で推定された土壌水分量は地表面の物性や起伏、凸凹、傾斜などによって隣り合うグリッド間でも観測値が変動する。具体的な検証方法は以下の通りである。

1. 乾季と雨季の SAR 画像を用意する。
2. World Cover（Zanaga et al., 2020）から裸地エリアを抽出する。
3. SAR から推定された土壌水分量において、解像度 0.001 度グリッド（約 100m）で平均化する。
4. 裸地エリアについて、乾季よりも雨季の SAR で推定された土壌水分量が多い場所を検出する。
5. 4. で検出された場所において、SAR（約 100m グリッド（0.001 度グリッド））と WRF（1km グリッド）の土壌水分量を比較する。

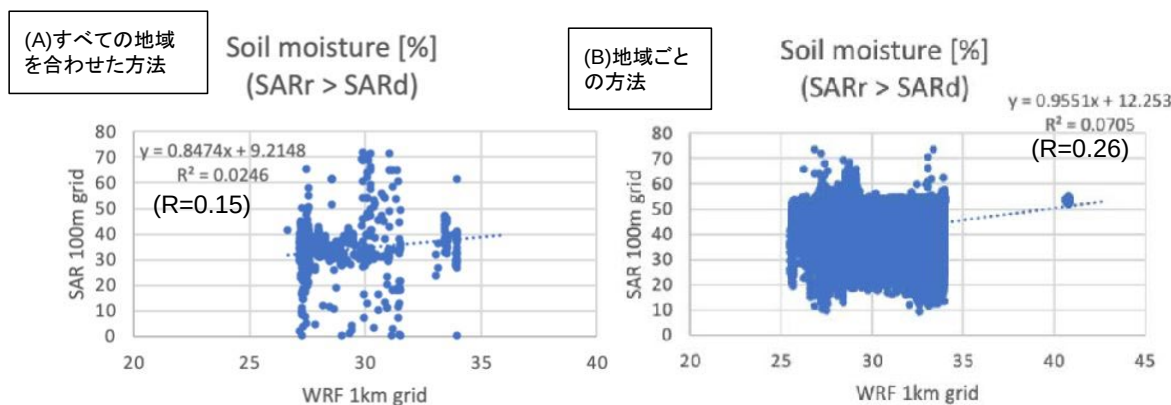
本業務においては、上記 4. で検出したグリッドにおいて SAR で推定された土壌水分量を約 100m グリッドに平均化した。数 10m グリッドでの平均化も検討したが、解析に時間を要したため約 100m グリッドにおける平均化を採用した。

上記 4. で検出された場所は、SAR から推定した土壌水分量が適切に表現できていると仮定する。その上で、5. において、SAR と WRF でそれぞれ推定された土壌水分量を比較する。

SAR で土壌水分量を推定する際には、以下の 2 通りの方法にて、重回帰分析を行った。

- (A) 全ての地域を合わせた方法
- (B) 地域ごとに分析する方法

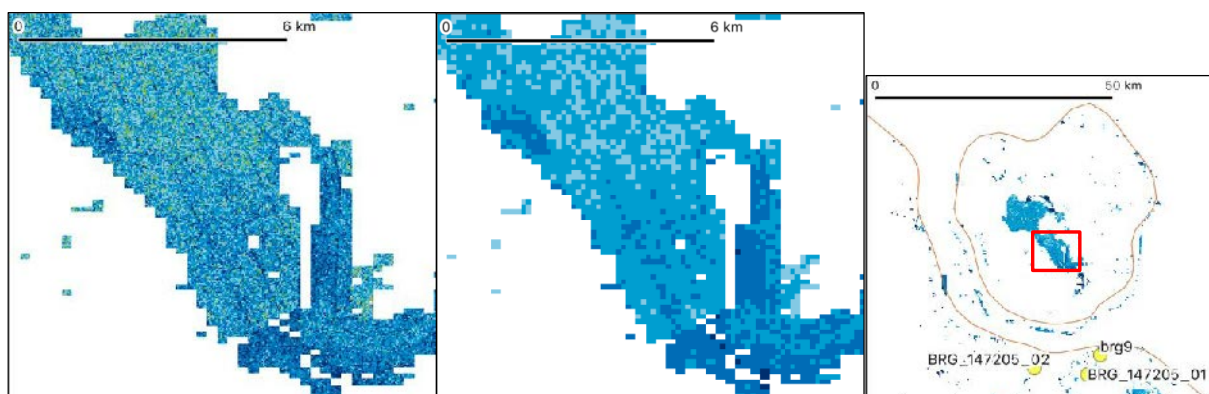
図 4.2.2.3 は 2 種類（(A)と(B)）の重回帰分析の方法により SAR で推定された土壌水分量と WRF のそれとの散布図を示す。(B)では SAR で推定された土壌水分量の変動は約 10～75%となり、(A)のそれの変動（約 0～75%）よりも小さい。相関係数は (A)が 0.15、(B)が 0.26 となった。以上より、土壌水分量は地域ごとの傾向が強いことを意味する。ただし、より広範囲に SAR から土壌水分量を推定する場合には、地域ごとの土壌水分量の傾向を予め把握しておき、地域ごとに重回帰式を作成する必要がある。



注：日時は現地時間の 2019 年 8 月 2 日 0 時台。

図 4.2.2.3 SAR で推定された土壌水分量と WRF のそれとの散布図

図 4.2.2.4 左に (B) の方法で作成された裸地における土壌水分量マップ (10m グリッド) を示す。同図右には、同図左を約 100m グリッドに平均化したものを示す。



左：(B) の方法で作成された一部地域（ドゥマイ）の裸地における土壌水分量マップ（10m グリッド）

右：左の図を約 100m グリッドに平均化したもの。

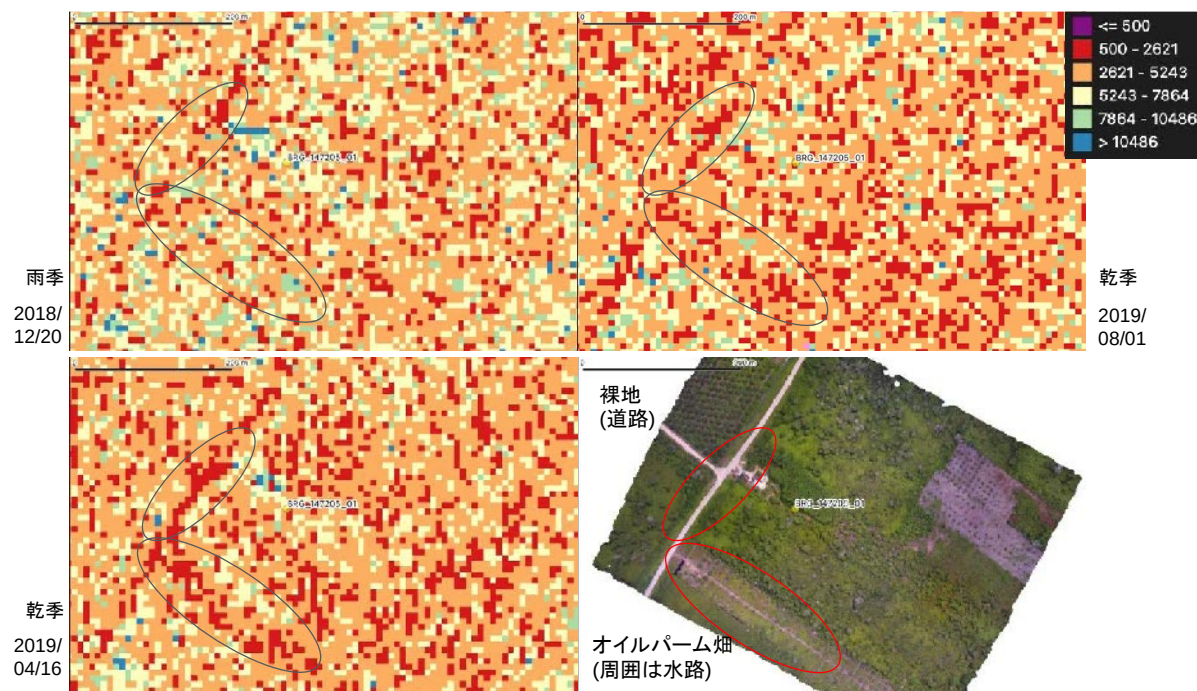
注：日時は現地時間の 2019 年 8 月 2 日 0 時台。

図 4.2.2.4 地域ごとに分析する方法（上記 (B)）で作成された一部地域（ドゥマイ）の裸地における土壌水分量マップ図

4.2.2.7 ドローン画像を用いた SAR データの検証

ここでは、ドローンの画像（オルソモザイク画像）を用いて、より正確な地表面状態を把握した上で、SAR データの感度を定性的に確認する。図 4.2.2.5 は雨季と乾季を含む 3 枚の SAR 画像について、送受信を水平偏波で行ったときの後方散乱係数とドローンによるオルソモザイク画像を比較したものである。対象場所はドゥマイにある 147205_01 の BRG 観測所付近である。

背の高い木が比較的少ない道路やアブラヤシプランテーションなど（図中の○で囲った個所）に着目すると、雨季の方が乾季よりも後方散乱係数が大きい。後方散乱係数は、冠水している場合、値が小さくなることから、当該地域は、雨季においても冠水はしていないと思われる。また一般に土壌水分量が多いと後方散乱係数は高くなる（深見，1993）。誘電率は乾燥土よりも水の方が高いためである。よって、乾季・雨季の土壌水分量の違いが SAR データにある程度反映されていることが確認できた。



注：SAR 画像の横に記載された日時は SAR の観測日（UTC）である。

図 4.2.2.5 雨季と乾季を含む 3 枚の SAR 画像について、送受信を水平偏波で行ったときの後方散乱係数と、同じエリアにおけるドローンによるオルソモザイク画像

4.3 地下水位推定モデル（マップ）

4.3.1 土地利用との関係式

4.2 で実施した重回帰分析で得られた回帰式を用いて、地下水位の広域化に関し（地下水位マッピング）、土地利用の観点から検討を行った。

4.2 で利用した観測データの観測点の土地利用の状況を、既存の土地利用図⁷⁸から推定し、以下に示す 8 つの土地利用タイプに分類した。

表 4.3.1.1 土地利用図での土地利用区分

番号	土地利用の内容	分類定義
1	一次、二次マングローブ	攪乱されていないマングローブ林（一次マングローブ林）及び攪乱を受けているマングローブ林（二次マングローブ林）
2	一次、二次湿地林	攪乱されていない湿地林（一次湿地林）及び攪乱を受けている湿地林（二次湿地林）
3	プランテーション林	主にパルプ材生産用の産業植林
4	多年生作物農地	多年生作物を生産する農地、果樹園
5	アブラヤシ	アブラヤシのプランテーション
6	低木、混合乾燥地農地、スワンプ低木林	低木林、乾燥地農業生産地、湿生の低木林
7	裸地	木本・草本類の生えていない土地
8	田	田畑

⁷⁸ <https://nfms.menlhk.go.id/peta>

4.2 の重回帰分析の結果で得られた係数（A1～A4、及び B）と、上記土地利用との関係を下図に示す。

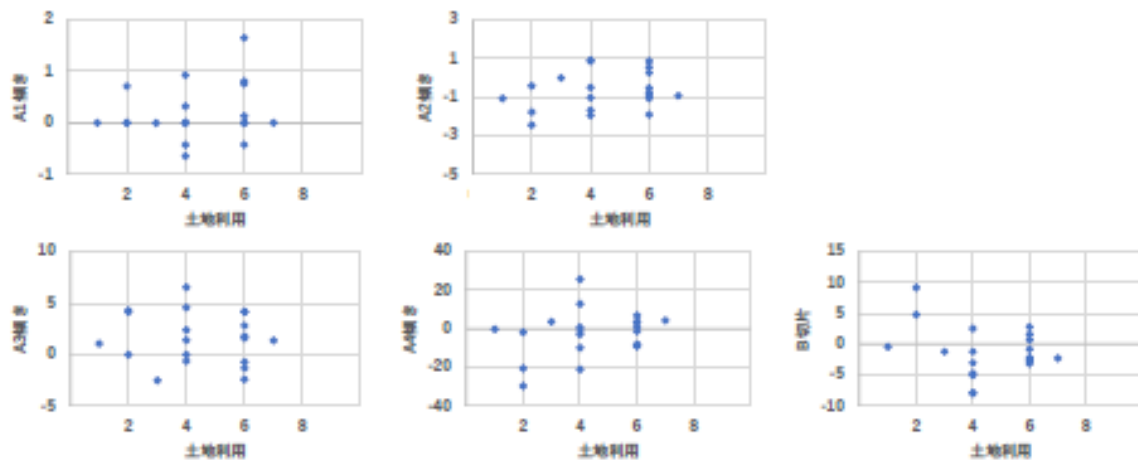


図 4.3.1.1 重回帰分析の係数と土地利用の関係

4.3.2 土壌水分と地下水位との関係式

重回帰分析の結果で得られた係数（A1～A4、及び B）から、地下水は、次に示す式により推定する。

$$GWL = (A1 \times SM1 + A2 \times SM2 + A3 \times SM3 + A4 \times SM4 + B) \times 100$$

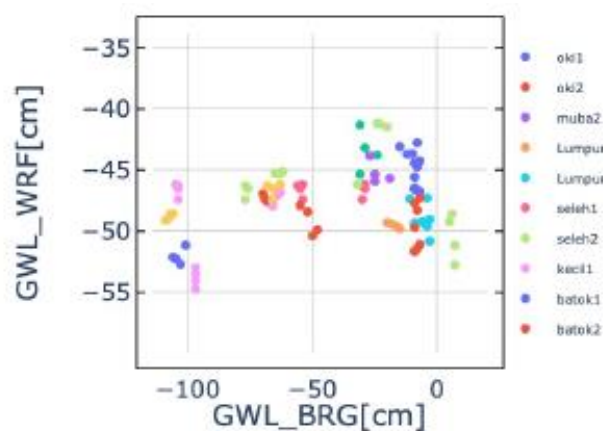
ここで、

A1～A4 及び B：重回帰分析で得られた係数

GWL：地下水位（cm）

SM1～SM4：WRF から得られた、地表から 1～4 番目に近い土層の土壌水分量（）

上記の推定式から、ある土地利用における地下水位を計算した。WRF から推定された水位と実際の観測値との関係を以下に示す。



注：係数（A1～A4 , B）の設定は、重回帰分析の結果から、土地利用に応じて大まかに設定した。解析日数並びに使用メッシュは、今回は一律としている。

図 4.3.2.1 WRF から計算された地下水位と観測値との関係の例

上図からは、実際の観測値と推定結果との相関はまだ低い。しかし、後述するように、現地検証の際に実際の観測所の周辺において実測したところ、5cm 程度の誤差であったことから、上記比較で用いた観測地はそれほどの誤差が無いものと思われる。

4.3.3 土壌水分の広域推定

これまでの解析結果を基に、土壌水分状況の広域での推定を行った。BRG 観測所のすべての地点（スマトラ島、カリマンタン島等を含む）を合わせて、重回帰式を検討した。重回帰分析のチューニングの結果から地下水位は次式で推定される。調整済みの決定係数は 0.00155 となった。

$$GWL = (-2.7SM_2 - 2.62SM_3 + 3.64SM_4 - 0.4) \times 100$$

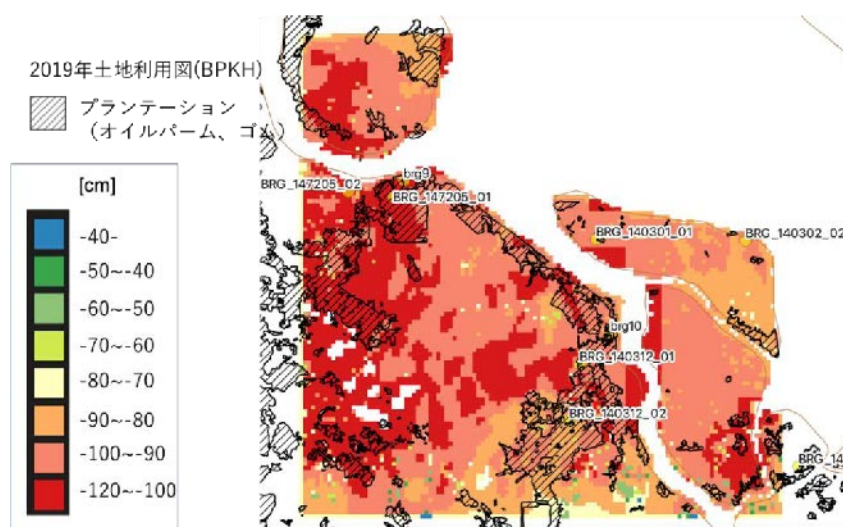
ここで、

A1～A4 及び B：重回帰分析のチューニングの結果得られた係数（A1：0、
A2：-2.7、A3：-2.62、A4：3.64、B：-0.4）

GWL：地下水位（cm）

SM1～SM4：WRF から得られた、地表から 1～4 番目に近い土層の土壌水分量
（m3m-3）

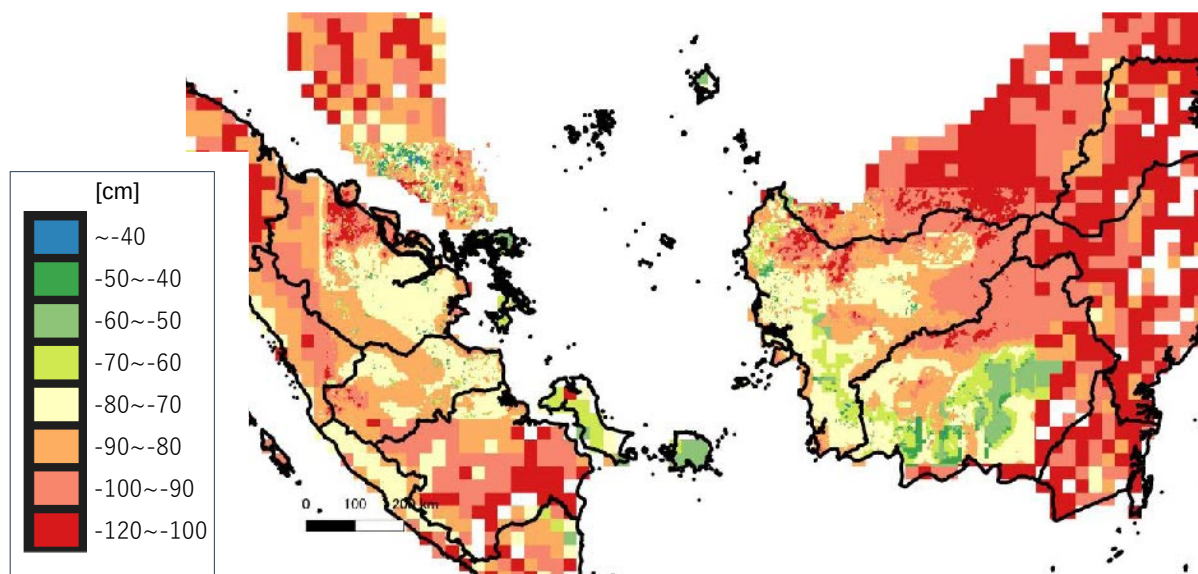
広域での地下水位の推定を行った結果を図 4.3.3.1 に示す。既存の観測データとは対照的に、沿岸部において地下水位が低いエリアがある。これは、WRF では海水による地下水位の押上が考慮されていないことが原因と考えられる。



注：リアウ地域における 1km グリッド地下水位。黄色のプロット点は BRG 観測所。斜線部分はプランテーションのエリア。BPKH（環境林業省の支所 Balai Pementapan Kawasan Hutan）による 2019 年度土地利用図参考にした。

図 4.3.3.1 WRF 結果から推定された 1km メッシュ地下水位（2019 年 8 月 16 日（現地時間））

また、リアウ州のブンカリス地区を対象にして開発した地下水位推定式を用いて、本調査対象 3 州を対象として WRF（3 km グリッド及び 27 km グリッド）結果から推定した地下水位を図 4.3.3.2 に示す。

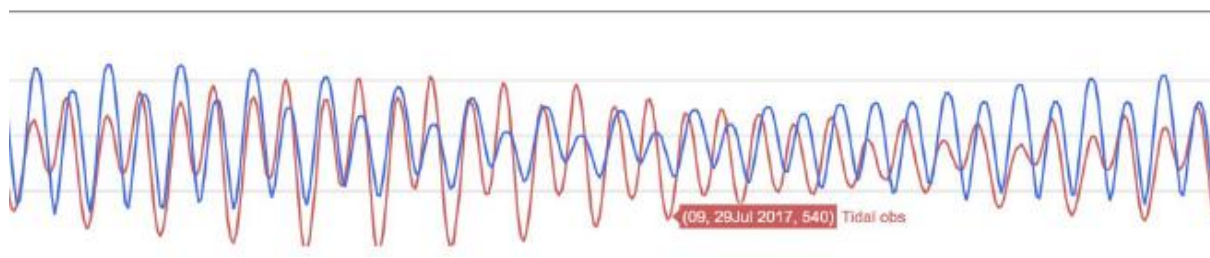


注：解像度は D03、D04 は 3km グリッド（2019 年 8 月 16 日）、D01 は 27km グリッド（2018 年 11 月 16 日）。

図 4.3.3.2 WRF 結果から推定された 3 州を対象とした地下水位

沿岸部において地下水位が低いエリアがあったが、これは、WRF では海水による地下水位の押上が考慮されていないことが原因であると考えられるために、WRF による地下水位の推定結果を補正するため、潮位と地下水位の関連性を調査した。

本業務ではマラッカの地点において、世界の潮位観測ネットワーク（Permanent Service for Mean Sea Level: PSMSL）から収集し分析された海面データを用いた。生データは 1 時間ごとである。



注：①赤：Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL)⁷⁹による観測データ（マラッカ）、②青：インドネシア海洋研究センター潮汐予報システム（ブンカリス）⁸⁰ 現地時刻に変換して、①と②を重ねた。

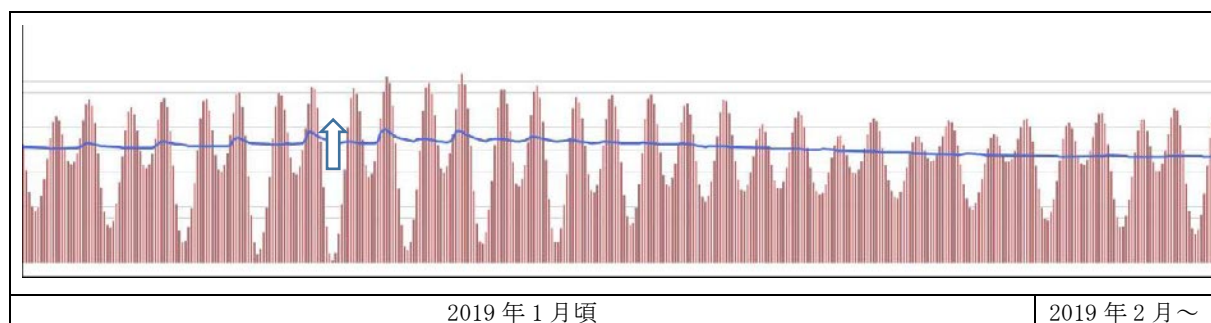
図 4.3.3.3 入手した潮汐データの時間最大値

月ごとの潮位に対する地下水位との応答について、明確な傾向は得られていなかった。降雨が多いときを除いても相関関係は得られなかった。一方、図 4.3.3.4 のとおり、時間単位で潮位に

⁷⁹ Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL)：世界の潮位観測ネットワーク（GLOSS など）から収集し分析された海面データ。<https://www.psmsl.org/data/obtaining/stations/1746.php>。*最新データ□2020 年 12 月まで。ダウンロードしたデータは UTC。

⁸⁰ インドネシア海洋研究観測センター潮汐予報システム（Badan Riset dan Observasi Laut (BROL - under ministry of sea and fisheries) and Indonesian Navy）。http://bpol.litbang.kkp.go.id/imro-ofs/index.php#show_form*リアルタイムデータあり。ダウンロードしたデータは UTC。

対する地下水位の応答がみられる。



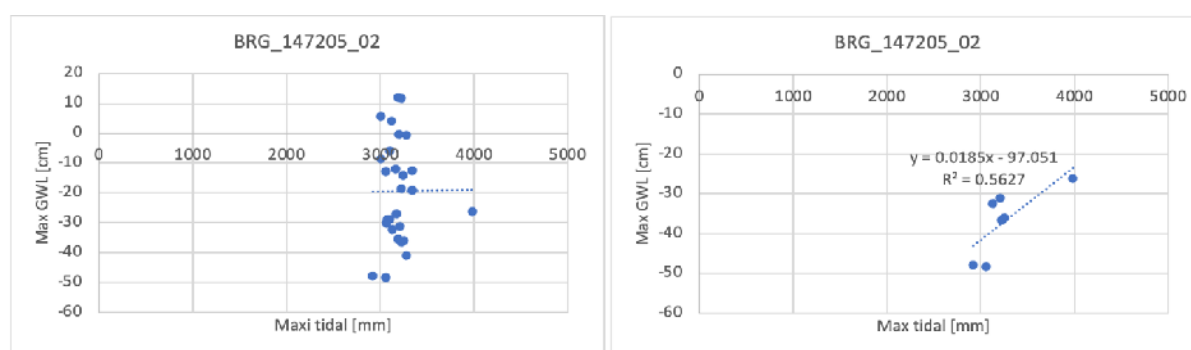
注：Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL)の潮汐データと BRG 観測データ

図 4.3.3.4 潮位と地下水位の関係（時間最大値）

BRG 観測所の地下水位データと PSMSL の潮位データを月ごとの最大値でそれぞれ比較した結果、月積算雨量が 80mm 未満のとき、相関が得られたのは 147205_02 の 1 地点のみであり、決定係数は 0.56 となった（図 4.3.3.5）。このとき、回帰式は次式で表される。

$$GWL = 0.0185Tidal - 97.051$$

ここで、GWL：地下水位[cm]、Tidal：潮位[mm]。



注：地下水位は 147205_02 の BRG 観測所のデータを用いた。左はしきい値なし。右は月積算降雨 80mm 未満のときの散布図。

図 4.3.3.5 潮位と地下水位の散布図（それぞれ月最大値）

しかし、一般的にこの地域の潮位の振幅は 1m 前後であるため、147205_02 の DTM の標高は 2.64m であり、潮位の影響を顕著に受けているとは言い難い。実際に現地での観測でも、この地点では時間ごとの応答も見られていない。一方、標高 2m のエリアに位置する brg9 では、時間ごとの応答が見られていた。よって、本業務では、標高 2m またはそれ以下の低地エリアにおいては、上記の回帰式を用いて WRF 結果から得られた地下水位を補正することとした。

WRF をシミュレーションをした時期（2019 年 8 月）の月最大潮位は 3080mm であったことから、上式に代入すると月最大地下水位は -40.071cm となる。本業務では標高 2m 以下かつ傾斜角が 0.05 以下の平らなエリアにおいて、地下水位を一律 -40.071cm とする。

図 4.3.3.6 はリアウ地域において LiDAR の標高から計算された傾斜と、BRG 観測所から得られた無降水期間が開始する前日の地下水位（普段の地下水位）との関係である。この関係より、傾斜角が 0.05 より大きいエリアでは、地下水位面は比較的低くなる。そのため、標高 2m 以下かつ

傾斜がある場合、次の回帰式から地下水位を補正する。

$$GWL = -253.23slope - 39.315$$

ここで、GWL: 地下水位[cm]、slope: 傾斜[mm]である。

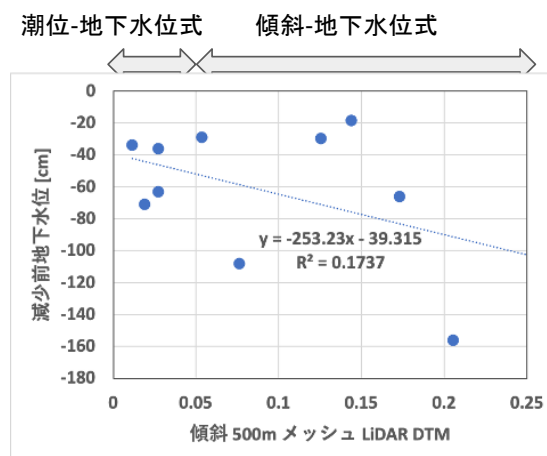
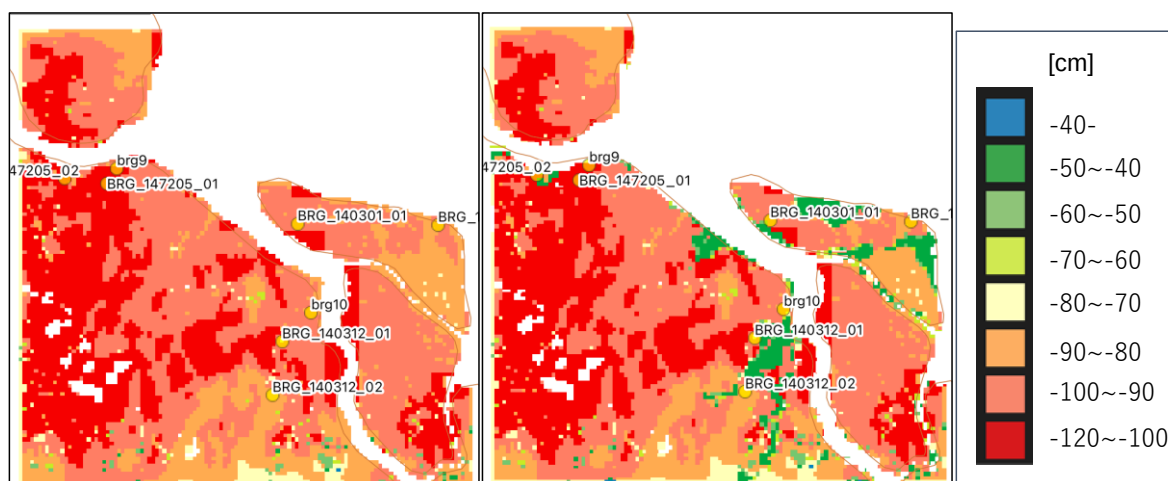


図 4.3.3.6 LiDAR の標高から計算された傾斜と、BRG 観測所から得られた無降水期間が開始する前日の地下水位の関係

WRF で推定された地下水位の補正結果を図 4.3.3.7 に示す。スマトラ島及びブンカリス島の海岸エリアや河川沿いの標高が低いところを中心に、補正されたのがわかる。また標高 2m の境界部分では、地下水位が段階的に変化しているところもある。これは、標高約 2m を境目に傾斜が比較的大きい (0.05 以上) ことを意味している。補正に用いた標高データは、LiDAR の DTM 500m グリッド及び衛星データによる ETOP01 (1.8km グリッド、部分的に使用) である。



注：左は補正前、右は補正後。

注：補正に用いた標高データは、LiDAR の DTM 500m グリッド及び衛星データによる ETOP01 (1.8km グリッド)

図 4.3.3.7 WRF 結果から推定された地下水位を補正した結果 (2019 年 8 月 16 日 (現地時間))

4.4 地下水位推定モデルによる温室効果ガス（二酸化炭素）排出削減量推定モデルの開発及び検証

4.4.1 文献レビュー

CO₂ 排出と地下水位の関係に関して、文献レビューを行った。

二酸化炭素放出量に関しては、Hatano (2019)の水位・CO₂ の関係図を参考に、これまでの分析結果を踏まえて定式化を行っている。地下水位情報から CO₂ の推定には下の関係図を用いることとする。

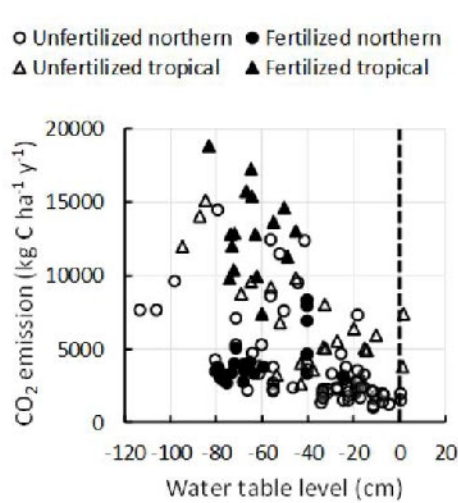


図 4.4.1.1 地下水位情報と CO₂ 排出量の関係図

4.4.2 二酸化炭素排出量と地下水位の関係

二酸化炭素放出量に関しては、Hirano ら (2016) を参考に生態系純生産量 (NEP) に着目し、水位との関係式を検討した。Hirano ら (2016) では、森林地域（火災跡地なし）のみで線形関係が成り立つとしており、この関係式を適用するためには火災履歴と植生量 (LAI/NDVI) を考慮する必要があるとした。これまで着目していた推定式は、地下水位の年内変動を考慮できていなかった。また、火災で失った炭素や火災後に回復したバイオマス量による炭素固定も考慮する必要があった。

今回、NEP (NEE)⁸¹と地下水位との関係に着目した。図 4.4.2.1 より、森林地域かつ火災跡地のない地域 (UF、DF) に関しては直線関係（決定係数 R²=0.82）が認められた。

$$y = -485x - 167$$

⁸¹ 生態系交換量 (NEE : Net ecosystem CO₂ exchange) は、生態系と大気との間での、単位時間、単位土 地面積あたりの CO₂ 交換量。生態系純生産量 (NEP : Net ecosystem production) は、生態系全体での正味の炭素吸収量であり、総一次生産量と全群集の呼吸量との差。

そこで、森林に関しては、推定式 $y = -485 \times x - 167$ を用いることとする。

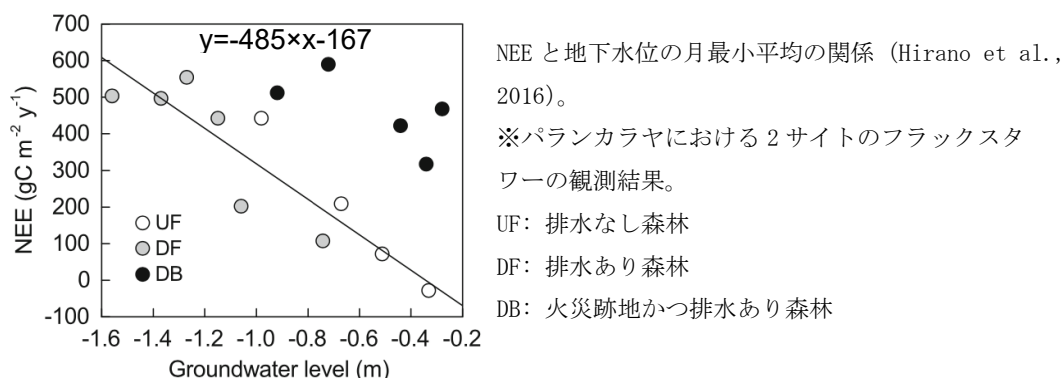


図 4.4.2.1 生態系交換量と地下水位の月最小平均の関係 (Hirano et al., 2016)

一方、火災跡地 (DB) はこの直線上にはのっていない ($R^2=0.44$)。このときの回帰直線は次式のようにになる。

$$y = -251x + 327$$

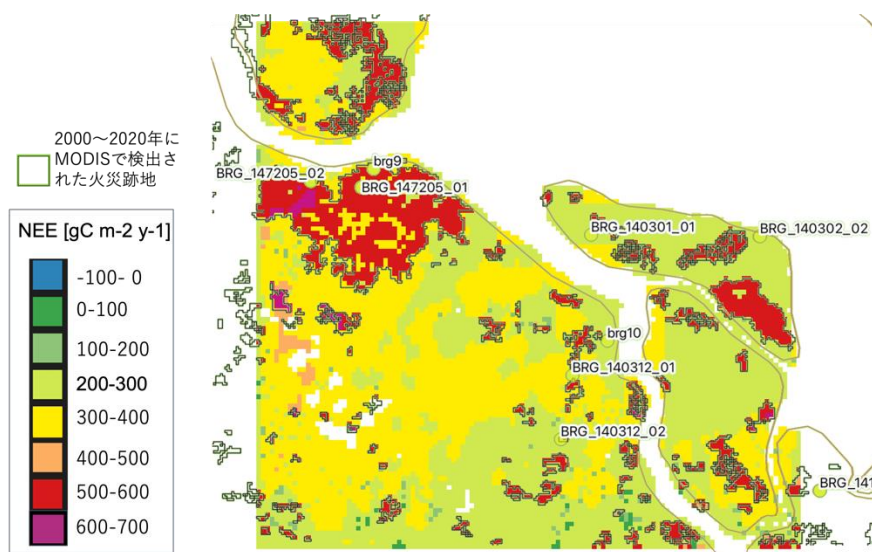
火災があった地域や森林伐採など人為的改変があった地域に関しては、CO₂ 放出量も固定量も大きくなる傾向がある。そのため、火災や森林伐採など人為的改変があった地域は、CO₂ 収支は個別に評価する必要がある。Ohkubo ら (2021) は約 13 年にわたりパランカラヤにおいて CO₂ フラックスを計測してきた。このサイトでは 2009 年と 2014 年の 2 回焼失を経験している。

本業務では、火災跡地の有無に応じて、上記 2 つの推定式を用いることとする。2000～2020 年において MODIS の衛星により検出された火災跡地とそれ以外の地域に分けて、上記 2 つの推定式を適用した。WRF で推定された 1km グリッド地下水位の日平均値の結果を用いて、二酸化炭素放出量に関する物理量をマッピングした (図 4.4.2.2)。本来は、地下水位の月最小平均値を用いるが、ここでは、火災の危険性が比較的高まる 8 月において、地下水位の日平均値を用いた。

火災跡地でない地域に着目すると、WRF で推定された地下水位が高いエリア (図 4.4.2.2 の南側で地下水位が -50～-100 cm) は生態系交換量の最大が 400 gCm⁻²y⁻¹ (オレンジ色) となり、地下水位が低いエリア (図 4.4.2.2 の北西側で地下水位が -120～-100cm) の生態系交換量の最大 (500 gCm⁻²y⁻¹ (赤色)) に比べて、生態系交換量が小さい。地下水位の高さ (深さ) に応じて、生態系交換量が変化することが確認された。

一方、火災跡地では、生態系交換量の最大は 600 gCm⁻²y⁻¹ (紫色) となり、火災跡地でない地域のそれ (500 gCm⁻²y⁻¹) と比べて大きい。

そのため、二酸化炭素放出量の推定に際しては、火災跡地の有無に応じて、それぞれに応じた推定式を用いて推定する。



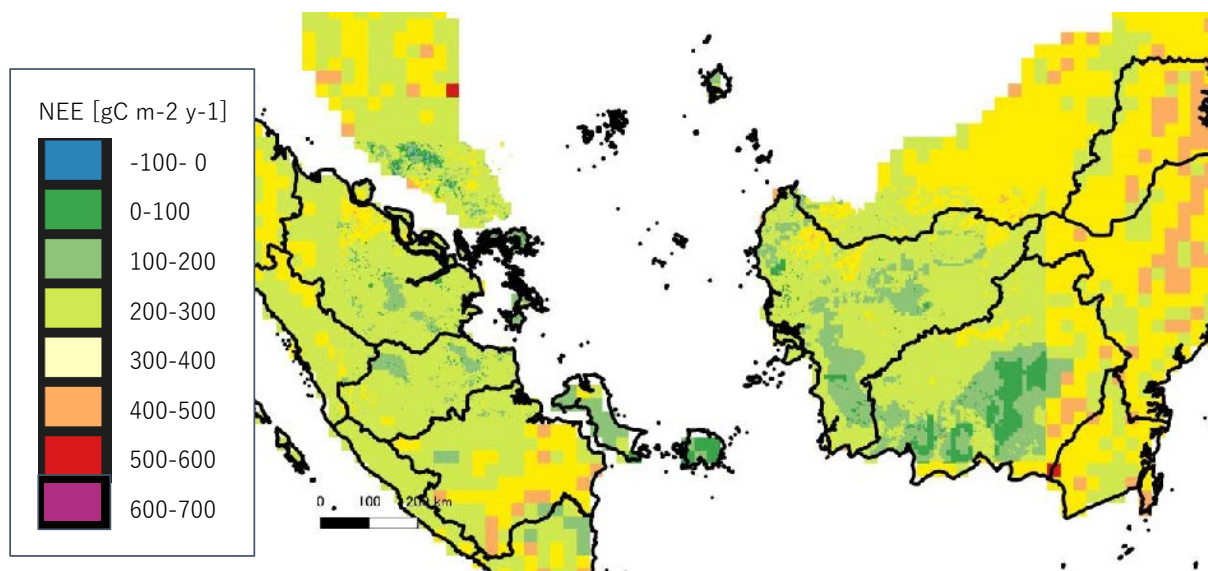
注：リアウ地域における 1km グリッド地下水位の日平均値を用いて算出された。

黄色のプロット点は BRG 観測所。

注：実線枠内は 2000～2020 年に MODIS の衛星で検出された火災跡地を示す。

図 4. 4. 2. 2 WRF 結果から推定された生態系交換量の推定（2019 年 8 月 16 日（現地時間））

また、リアウ州のブンカリス地区を対象にして開発した生態系交換量の推定式を用いて、本調査対象 3 州を対象として WRF（3 kmグリッド及び 27 kmグリッド）結果から推定した生態系交換量を図 4. 4. 2. 3 に示す。



注：解像度は D03、D04 は 3km グリッド（2019 年 8 月 16 日）、D01 は 27km グリッド（2018 年 11 月 16 日）。

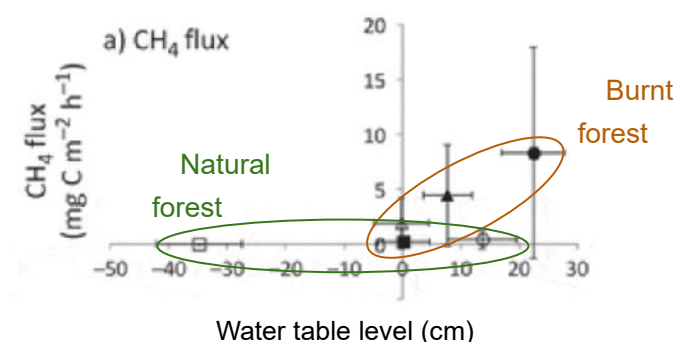
図 4. 4. 2. 3 WRF 結果から推定された 3 州を対象とした生態系交換量

4.5 地下水位推定モデルによる温室効果ガス（メタン）排出削減量推定モデルの開発及び検証

4.5.1 文献レビュー

メタン排出と地下水位の関係に関して、文献レビューを実施した。

メタン放出量に関しては、泥炭湿地林からプランテーションへの転換の際にアブラヤシ生産のために酸性土壌を中和することから、湛水した嫌気状態の熱帯泥炭土壌を pH3.4 から pH6.6 に調整したところ、67 日目にメタン生成量が約 26 倍になった（Ito ら未発表）ことから、その定式化を行っている。また、Adjil et al. (2014) は、火災跡地においてはメタン排出量は地下水位に応じて高くなることを示していることから、地下水位情報からメタン放出量の推定には次図の関係図を用いることとする。



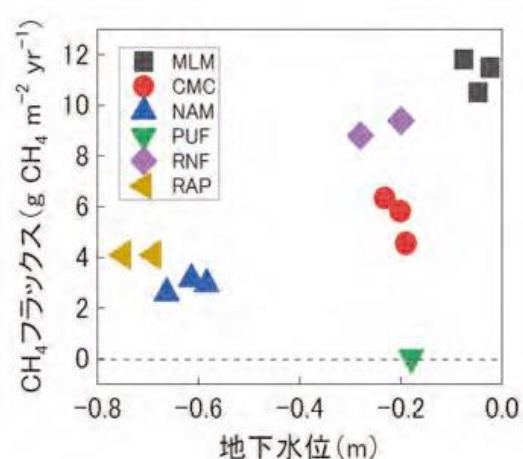
(Adjil et al., 2014)

図 4.5.1.1 地下水位情報と CH4 排出量の関係図

また、Hatano (2019) は以下の土地利用履歴にも言及していることから、Hatano (2019) を参考にするためには、少なくとも火災履歴の土地利用情報等が必要であることが明らかになった。また、下記(1)においては、火災で失った炭素もカウントする必要があることから、より細かく解析する場合は、火災後に回復したバイオマス量による炭素固定も考慮する必要がある。

- (1) CO₂ は施肥の有無
- (2) CH₄ は火災の履歴
- (3) (N₂O も施肥の有無)

その結果、生態系スケールのフラックス（排出量）について、下図（平野, 2021）のように地下水位との関係に注目した。観測地はボルネオ島/カリマンタン島（サラワク州、中カリマンタン州）の 4 サイト、スマトラ島（リアウ州）の 2 サイトであるが、中カリマンタン州（パラカラヤ）の結果（PUF）は直線式から外れてしまうが、それ以外のサラワクとスマトラの 5 サイトの結果は、攪乱の程度や地理的分布に関係なく、地下水位と CH₄ 放出量の関係は、一つの曲線で近似できるとした。決定係数は 0.55 である。



MLM：マレーシア・サラワク州（ボルネオ島）の未排水の泥炭林、CMC：サラワク州の泥炭林二次林、NAM：サラワク州のアブラヤシプランテーション（Wong et al., 2020）、PUF：インドネシア・中央カリマンタン州（ボルネオ島）の未排水の泥炭林（Sakabe et al., 2018）、RNF：インドネシア・リアウ州（スマトラ島）の未排水の泥炭林、RAP：リアウ州のアカシア（パルプ材）プランテーション（Deshmukh et al., 2020）

$$y = 8.2e^{1.56x}$$

出典：平野（2021）

図 4.5.1.2 東南アジアの熱帯泥炭地における年平均地下水位と年積算 CH4 フラックス（放出量）の関係

上式に WRF で推定された 1km グリッドの地下水位の日平均値を代入して、メタン放出量に関する物理量をマッピングした（図 4.5.1.3）。本来は地下水位の年平均値を使用するが、地下水位の多少の変動によりメタン放出量の結果が異常値になることはないため、試験的にメタン放出量のマッピングを行った。

ブンカリス島東側やリアウ州の南側などの地下水位がより高いところではメタン放出量が大きい。一方、多量施肥と考えられているアブラヤシプランテーション（図 4.5.1.3 の破線部分。ただしゴムも含む。）では、地下水位が低くても多量のメタンが出ている可能性が高い。当該地域においてメタン放出量推定式の立案を試みたが、地下水位が高い場所は農地ではないため、一般に施肥を行っていないことから、水位とメタン放出量の関係をオイルプランテーションの条件（施肥の条件）で分けることは難しい。そのため、メタン放出量の推定式はアブラヤシプランテーションで分類しないこととした。

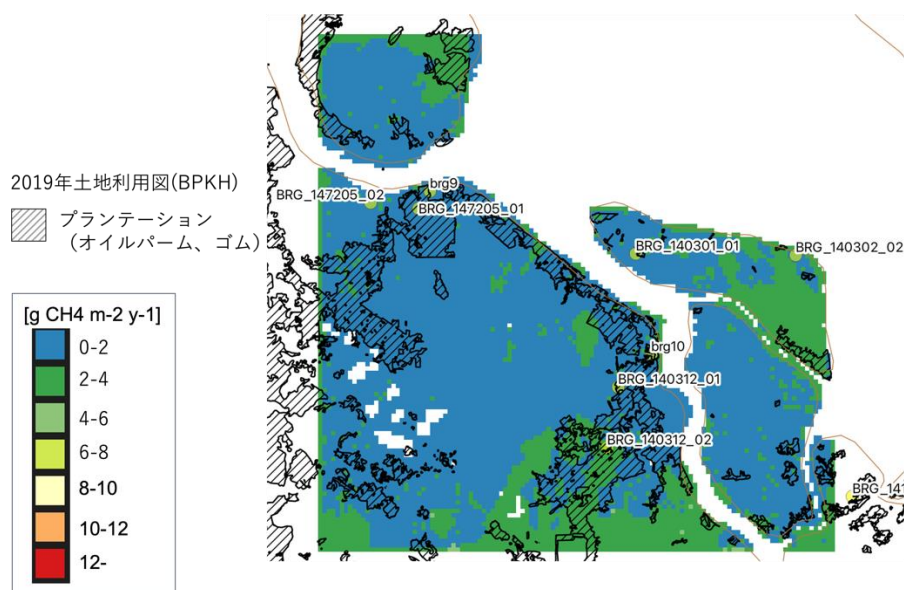


図 4.5.1.3 WRF 結果から推定されたメタン放出量（2019 年 8 月 16 日（現地時間））

また、リアウ州のブンカリス地区を対象にして開発したメタン放出量の推定式を用いて、本調査対象 3 州を対象として WRF（3 km グリッド及び 27 km グリッド）結果から推定したメタン放出量を図 4.5.1.4 に示す。

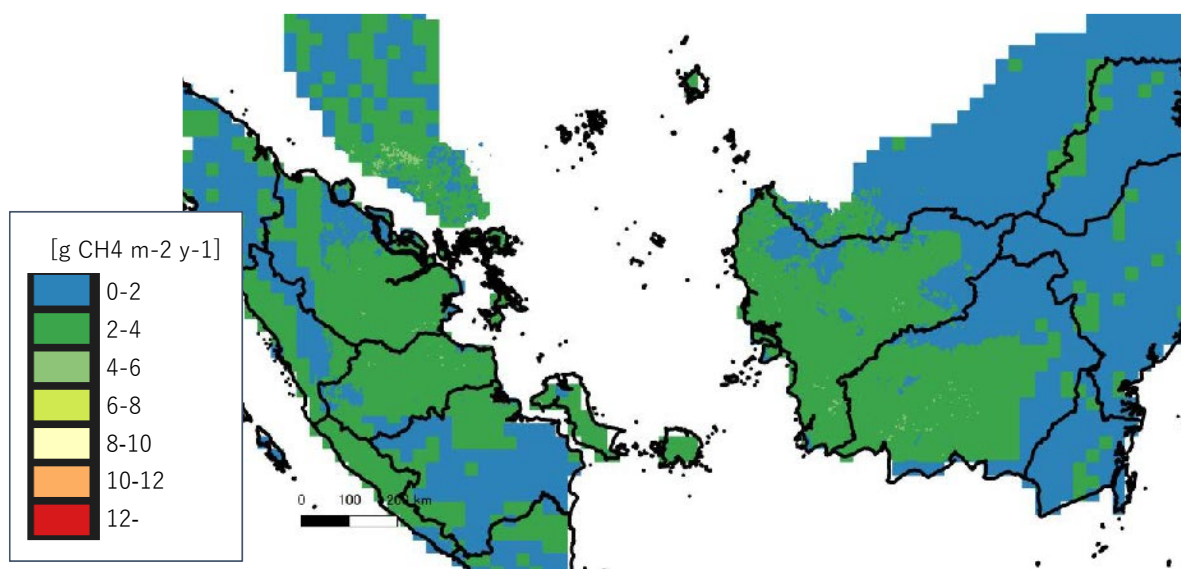


図 4.5.1.4 WRF 結果から推定された 3 州を対象としたメタン放出量

4.6 地下水位推定モデルによる泥炭火災の頻度と強度予測モデルの開発及び検証

4.6.1 火災インデックス

火災リスクを評価する際、火災インデックスとしては従来から KBDI (Keetch-Byram Drought Index) が使用されてきたが、Taufik et al. (2019)は南スマトラのアカシアプランテーションにおいて、地上気象観測データ及び土壌水分量を用いて従来の火災インデックスである KBDI の改良を行い、あらたな指標である mKBDI (Modified Keetch-Byram Drought Index) を提案した。ここでは、従来の日雨量や年平均降水量、日最大気温の入力情報に加え、先行降雨の日雨量や地下水面係数を取り入れた。地下水面係数は土壌表層の含水率と各種補正係数（後述）で構成される。

Taufik et al. (2022)は火災インデックス (mKBDI) をさらに改良し、インデックスのスケールを修正した指標である PFVI (Peatland Fire Verification Index) を提案した。地下水面係数の算出に際しては、採取した土壌から実験室で求めた土壌水分特性曲線情報を取り入れた。観測された土壌水分量から得られた火災インデックス DIobs と PFVI の差を最小とするような各種補正係数を調整したところ、KGE (Kling-Gupta Efficiency) など 3 つの指標を用いて評価した結果、火災インデックスとして表現できるとした。

本モデルを検討する際には、当初は、Modified Keetch-Byram Drought Index (mKBDI) の活用を検討していたが、Taufik et al (2022)により mKBDI が PFVI と改良されたことから、今回は、PFVI での検討を行った。また、GSMaP と雨量計で計算した結果を比較し、広域化の可能性について検討した。

4.6.2 地下水位と土壌水分の変動

本調査においては、泥炭地火災からの防災を考慮した土地利用管理に向けて、まずはカリマンタン及びスマトラにおける少雨・多雨時における地下水位と土壌水分量の変動を解析する。

多雨期においては、実効雨量に対する地下水位の応答解析を行う。増山 (2009) の方法を用いて両者の回帰分析を行う。LiDAR 計測をもとにして得られた 500m メッシュの地形モデル (DTM: Digital Terrain Model) (Vernimmen et al. 2019) 及び土地利用図 (Prayoto et al. 2017) を用いて考察する。

少雨期においては、予め抽出した連続無降水期間に対し、減少前の地下水位と連続無降水日数 14 日間を想定したときの地下水位減少量の関係を解析する。また連続無降水日数と土壌水分量の関係を解析する。土地利用図 (Prayoto et al. 2017) と Landsat8 衛星から得られた NDVI による酸素活性化指標を用いて、少雨期における上記 2 つの解析結果を考察する。

また土地利用ごと地下水位と土壌水分量の関係性を分析する。少雨・多雨期に限らず、すべての雨を対象とする。

最後に、衛星全球降水マップ (GSMaP) を用いて PFVI 及び KBDI に適用する。地上雨量計による PFVI 及び KBDI と、計測された土壌水分量から得られた DIobs を用いて、火災インデックスの衛星降雨への適用可能性を検討する。得られたすべての火災インデックスから地域ごとの火災発生傾向を調査する。火災発生傾向の調査として、MODIS や VIIRS からの衛星観測により検出されたホットスポット、既存の泥炭地マップ、DTM の地形情報 (Vernimmen et al. 2019) を用いる。

雨に対する地下水位の応答について、連続無降水期間を 14 日間と想定したときの、地下水位減少量と減少前地下水位の関係を求めた。

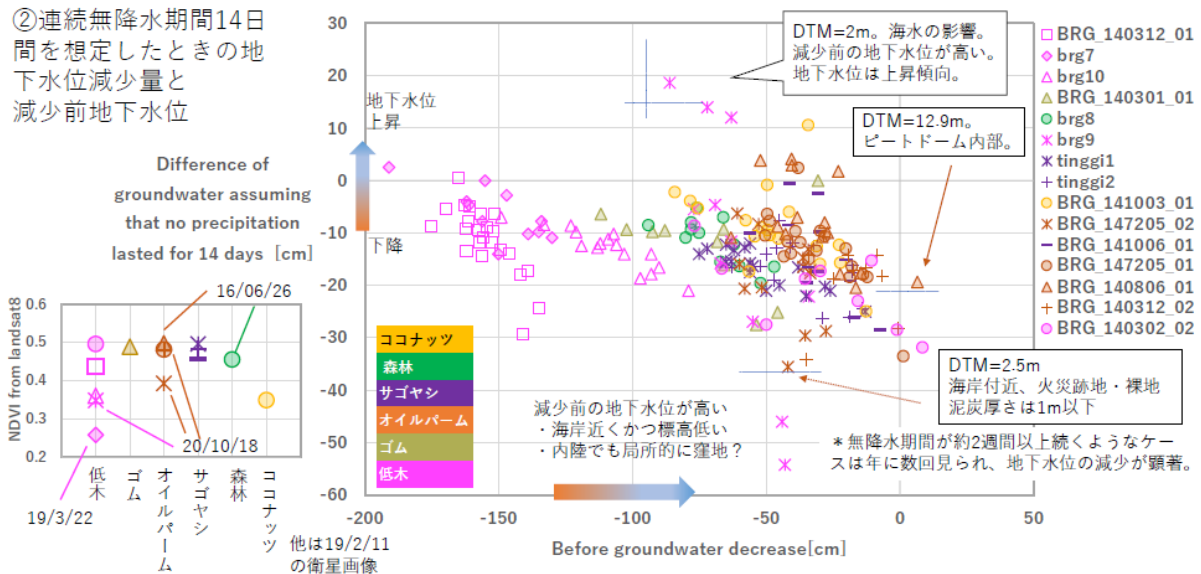


図 4.6.2.1 連続無降水期間 14 日間を想定したときの地下水位減少量と減少前地下水位

同じ植生タイプでは、基本的に、NDVI が大きいほど（植物の活性度が高い）、最大の地下水位減少量が多いことを確認した。連続無降水期間における土壌水分量は、同じ植生タイプで比較すると、NDVI が大きいほど土壌水分量が低いことが確認した。

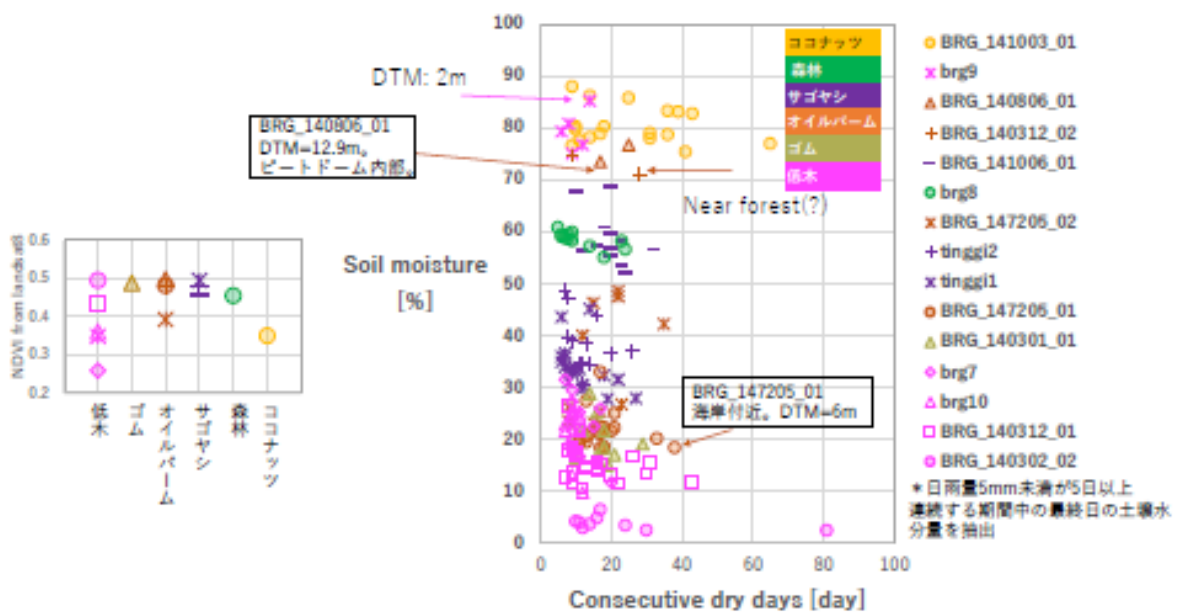


図 4.6.2.2 連続無降水期間における土壌水分量

一方、連続無降水期間における土壌水分量は、同じ植生タイプで比較すると、NDVI が大きいほど、土壌水分量が低いことが確認できた。

4.6.3 泥炭火災インデックスの推定

泥炭火災インデックス手法として、これまではmKBDI (Taufik et al. 2015) を検討してきた。mKBDI (Taufik et al. 2015) は湿地の地域に合わせてKBDI (Keetch et al. 1968) を修正したものである。入力値として従来の日雨量と日最大気温に加えて地下水面係数（地下水位と土壤水分特性曲線の情報）が追加された。さらに、Taufik et al. 2022 により、新たに指標（PFVI : Peatland Fire Verification Index）が提案された。これはスケールの最大値が従来の203から300に修正された。従来のKBDI及び修正されたPFVIの数式を以下に示す。

$$KBDI^t = KBDI^{t-1} + DF^t - RF^t$$

ここで、 DF^t : 干ばつ指数 [mm]、 RF^t : 雨量の要素 [mm]、 $KBDI^{t-1}$: 前日の指標 [mm]、一般的には干ばつ係数 ($\{DF\}^t$) は以下のとおり。

$$DF_{(Ro,ET)}^t = \frac{(300 - PFVI^{t-1})(0.968e^{(0.0875 \times T_m + 1.552)} - 8.3) \times 10^{-3}}{1 + 10.88e^{(-0.001736 \times R_0)}}$$

日雨量が5.1mm以上のとき、雨量係数が火災インデックスを低下させる。

$$\begin{aligned} (R^t - 5.1), R^t &\geq 5.1 \text{ mm/day, } 1^{st} \text{ rainy day} \\ R &= \{ R^t, R^{t-1} \geq 5.1 \text{ mm/day, } 1^{st} \text{ subsequent rainy days} \\ 0, R^t &< 5.1 \text{ mm/day, mm day} \end{aligned}$$

現在、地域の気候情報、土壌及び水文特性を考慮に入れた修正されたKBDIが提案されている。東南アジアの赤道気候で使用するための修正された平均年間降雨量と蒸発散量の両方を考慮した調整済み干ばつ係数DFは次のとおり。

$$DF_{adj(Ro,ET)}^t = \frac{(300 - PFVI^{t-1})(0.4982e^{(0.0905 \times T_m + 1.6096)} - 4.268) \times 10^{-3}}{1 + 10.88e^{(-0.001736 \times R_0)}}$$

よって地域の気候情報を考慮した修正されたKBDIは以下のとおり。

$$mKBDI^t = mKBDI^{t-1} + DF_{adj(Ro,ET)}^t - RF^t - WTF^t$$

mKBDIはKBDIを修正したものである。あらたに地下水面係数WTFが導入された。

$$\begin{aligned} WTF^t &= a_H - b_H \times \{(1 - \theta(h)^t)\} \times 300 \\ \theta(h) &= (1 + [h/\alpha]^n)^{-m} \\ DI_{OBS} &= 300 * [1 - \frac{(\theta_t - \theta_{fc})}{(\theta_s - \theta_{fc})}] \end{aligned}$$

ここで、

WTF^t : 地下水面係数 [mm]、 θ_t : 1 日ごとの土壌水分量、 θ_{fc} : 実地の土壌水分量の下限值

θ_s : 飽和土壌水分量

R_0 : 年平均雨量 [mm]、 T^m : 日最大気温 [°C]、 h : 1 日ごとの地下水位[m]、 $\theta(h)$: 含水率

Taufik et al. (2022)によると、新たな指標 (PFVI : Peatland Fire Verification Index) として、スケールの最大値が従来の 203 から 300 に修正された。

$$PFVI^t = PFVI^{t-1} + DF_{adj(R_0, ET)}^t - RF^t - WTF^t$$

本モデルを検討する際には、当初は、mKBDI の活用を検討していたが、Taufik et al (2022)により mKBDI が PFVI に改良されたことから、今回は PFVI での検討を行う。

地上雨量計による PFVI 及び KBDIadj と、計測された土壌水分量から得られた DIobs を用いて、火災インデックスの衛星降雨への適用可能性を検討する。火災インデックスは雨による影響を受けやすく、今回、インドネシア泥炭地における WRF による雨量推定精度を十分に検証していないため、WRF を用いた火災インデックスの精度検証は行わないこととする。

火災インデックスの広域への適応可能性を検討するために、一つの観測地点のデータ (BRG データ) を基にした計算に加えて、広域データである GSMaP のデータを使用した。観測所に応じた KGE 精度の変動は、KBDIadj のほうが PFVI のそれよりも小さかった (図 4.6.3.1)。BRG データ、GSMaP とともに、PFVI の KGE が最小で約-1.5 となり、PFVI の精度が極めて低い場合がある。土壌水分特性曲線の情報は Taufik et al. (2022) のものを用いているため、今回の地域においてそれを表現できていない可能性がある。また、GSMaP で計算された PFVI が KGE=0.71 と高いときもある (140312_01) が、GSMaP のデータはその地域の代表的な降雨を表現できている場合とそうでない場合がある。火災インデックスの広域への適応可能性としては、精度が比較的安定している KBDIadj を用いて、GSMaP から算出するのが妥当であると考えられる。PFVI の場合は、地域ごとの地下水位、土壌水分量特性曲線の情報が必要になる。

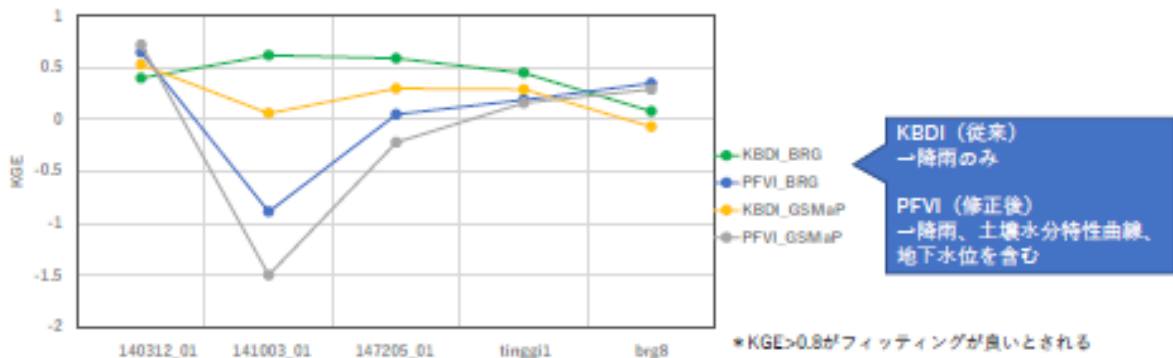


図 4.6.3.1 火災インデックスの精度の比較

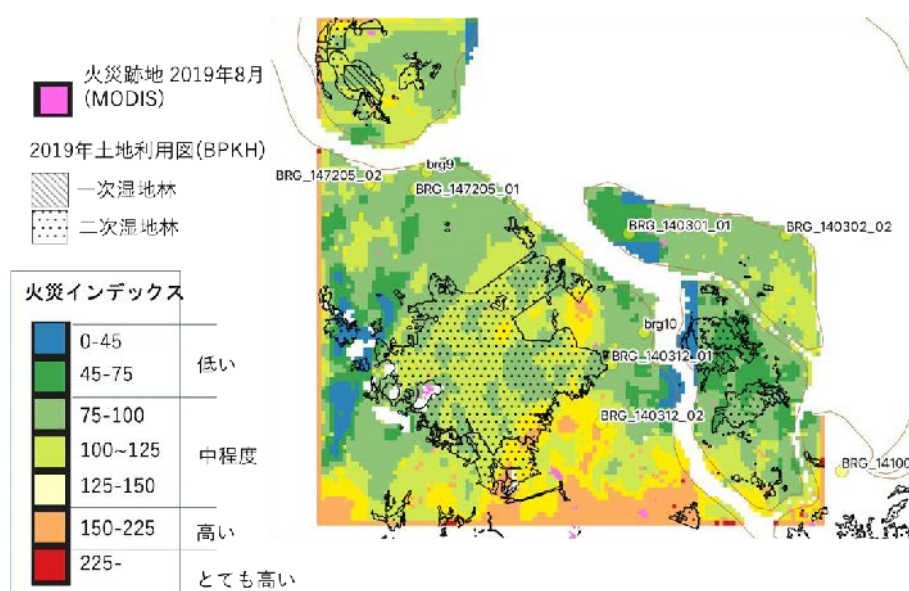
火災インデックスのマップを作成するにあたり、WRF で推定された 1km グリッド地下水位マップの結果を用いて、KBDIadj に適用した (図 4.6.3.2)。GSMaP と地下水位との関連性について十分な結果が得られていないため、GSMaP を用いた火災インデックスのマップは作成しないこととした。また PFVI は土壌水分特性曲線の情報が必要であるため、今回は火災インデックスのマップの作成には用いていない。

火災インデックスは海岸付近で比較的低くなり、泥炭地において理解しやすい結果となった。なお、KBDIadj は地下水位の情報を用いないため、降雨情報が作用した結果であることに注意する。

一方、地下水位マップの結果によると、現地の観測データとは異なり、海岸付近で地下水位が高い結果となった。結果的に、泥炭地の海岸付近の地下水位の特徴をある程度考慮できた結果になった。

MODIS 衛星で2019年8月の1ヶ月間に検出された火災跡地（下図のピンク色）のエリアが、リアウ州南側の火災インデックスが高いエリア（下部のオレンジ色）に分布している。

また一次、二次湿地林エリア（図 4.6.3.2 のハッチ部分）においては火災跡地のエリアが比較的少ない。自然林では蒸発散が盛んで、乾期には地下水位が著しく下がることもあるが、表層は湿っているため火災が殆ど起きないとされる。従って、火災予想・警報モデルから、一次、二次湿地林エリア（特に一次湿地林エリア）は火災予想・警報モデルから除外する可能性も視野に入れる。

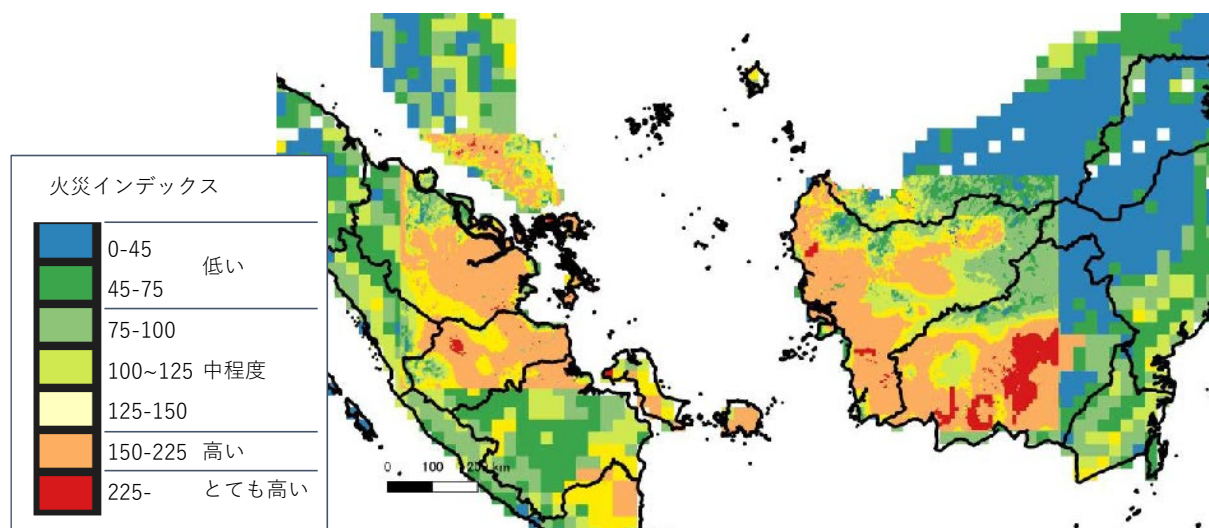


注：リアウ地域における 1km グリッド地下水位を用いて算出された。黄色のプロット点は BRG 観測所。

図 4.6.3.2 WRF 結果から推定された火災インデックス KBDIadj (2019 年 8 月 16 日 (現地時間))

一次湿地林及び二次湿地林をそれぞれ斜線、ドットでハッチングした。MODIS 衛星による火災跡地はピンクで色付けされた。

また、リアウ州のブンカリス地区を対象にして開発した火災インデックス KBDIadj の推定式を用いて、本調査対象 3 州を対象として WRF (3 km グリッド及び 27 km グリッド) 結果から推定した火災インデックス KBDIadj を図 4.6.3.3 に示す。



注：解像度は D03、D04 は 3km グリッド (2019 年 8 月 16 日)、D01 は 27km グリッド (2018 年 11 月 16 日)。

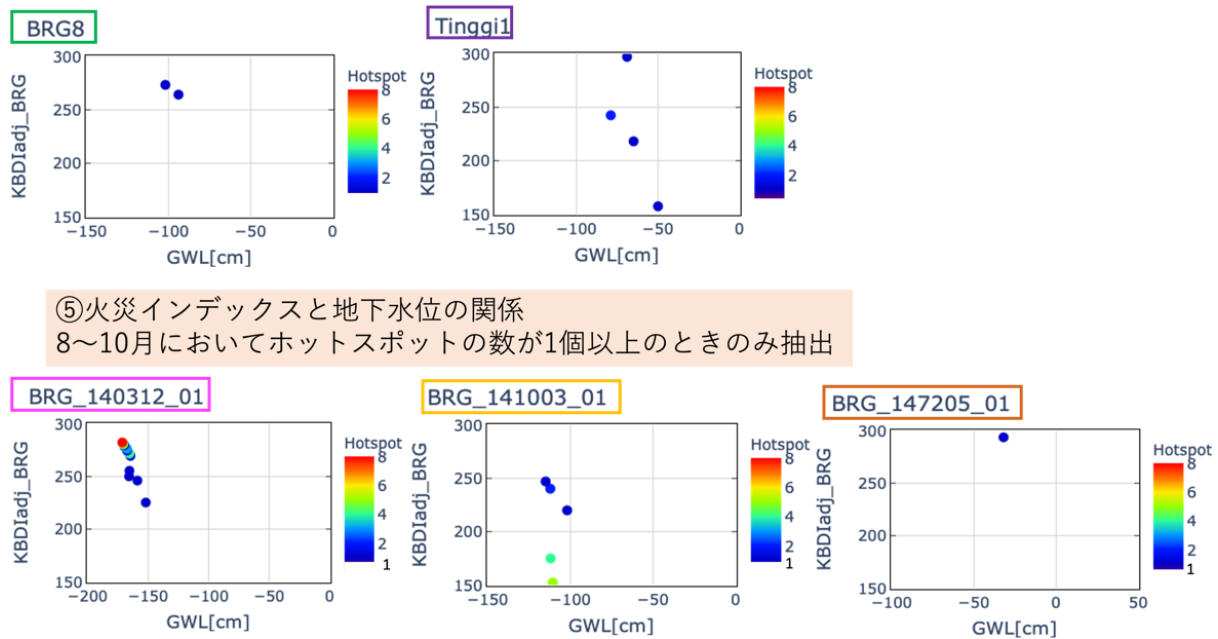
図 4.6.3.3 WRF 結果から推定された 3 州を対象とした火災インデックス KBDIadj

4.6.4 火災頻度と火災インデックスとの関係

火災インデックスから地域ごとの火災発生傾向を調査した。火災発生傾向の調査として、MODIS や VIRS からの衛星観測により検出されたホットスポットを用いるとともに、現地調査で確認された植生情報と、現地調査を行っていない観測所においては Prayoto et al. (2017) による土地利用図を用いる。

ホットスポットと BRG から計算された KBDIadj の関係を調査したところ、1 日あたりのホットスポットの数が 4 個以上の事例数は、火災危険度が「高いクラス」では 2 事例、「最も高いクラス」では 15 事例であった。ここで、ホットスポットの数とは 10km 四方の範囲における MODIS や VIRS からの衛星観測から検出された総数とする。KBDIadj が「最も高いクラス」に分類されるときには、ホットスポットも比較的検出されやすいことがわかる。

また 1 日あたりのホットスポット数が 1 個以上のときについて、BRG から計算された KBDIadj と地下水位の関係を図 4.6.2.5 に示す。火災が頻発する 8～10 月に着目した。土地利用に応じた連続無降水期間の土壌水分量と照らし合わせて考察したところ、KBDIadj の計算に使用した 5 つの BRG 観測所のデータのうち、3 つは KBDIadj が「最も危険クラス」に分類されているにも関わらず、1 日あたりのホットスポット数が最大で 1 個と少ない結果となった。残り 2 つのうち、141003_01 のココナツエリアでは連続無降水期間の土壌水分量が 70%程度と高いが、1 日あたりのホットスポットが 1～5 個と比較的多く検出された。このエリアは小島群かつ海岸付近に位置する。土壌水分量は高いがホットスポットが比較的多く検出されているため乾季の火災危険性への注意が必要である。140312_01 のアブラヤシでは連続無降水期間の土壌水分量が 10～20%と低く、1 日あたりのホットスポット数が最大で 8 個となり、KBDIadj を計算した 5 つのエリアの中で最多となった。



注：8～10月における1日あたりのホットスポット数が1個以上のときのみをプロットした。

図 4.6.4.1 5つのBRG観測所データから計算された火災インデックス（KBDIadj）と地下水位日最大の散布図

4.6.5 ドローンによる火災モニタリング

火災のモニタリングに関して、初期の火災をいかに早く検出し、消火活動を行うことができるかが、延焼を食い止めるために重要である。一方、MODIS などを用いたホットスポットの情報は解像度が10kmと粗いため、初期の火災を検出するのは難しい。本節では2022年8月18日にリアウ州東部のプララワンにて行ったドローンを用いた火災のモニタリング結果を示す。

用いたカメラは可視カメラ(Phantom 4 Pro)及び赤外線カメラ(Inspire1&サーモカメラ)である。作成された地図の面積は2.280haである。ドローンの操作にあたり、以下の自動航行を行った。可視カメラについては、オーバーラップ率85%、サイドラップ率85%、高度50mである。赤外線カメラにおいては、オーバーラップ率90%、サイドラップ率90%、高度50mである。

図4.6.5.1の左は2022年8月18日にリアウ州東部プララワンにて空撮された動画のスクリーンキャプチャである。図4.6.5.1の右は可視カメラのオルソ画像を地図化したものである。左右の画像ともに、火災跡地とそうでないところでは、色の違いが明確に判別できる。また左の画像からは所々で煙も確認できる。右の画像より、アブラヤシが広がっているのが確認できる。当日は雨の中、バッテリーの劣化も懸念されるなか、自動航行により撮影を完了した。

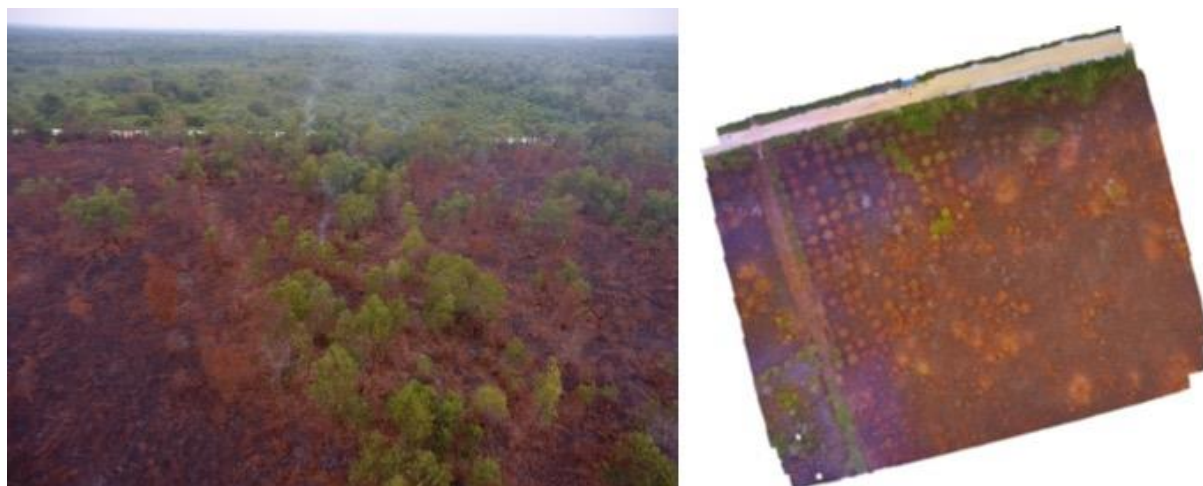
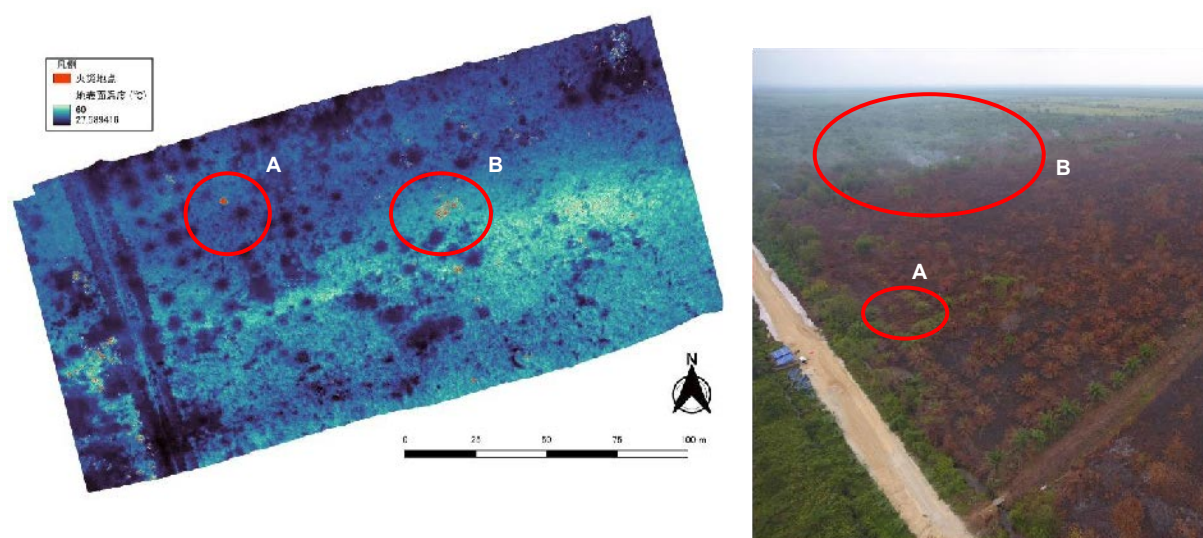


図 4.6.5.1 リアウ東部プララワンにて空撮されたドローンの可視画像及び可視カメラのオルソ画像を地図化した例（2022 年 8 月 18 日撮影）

図 4.6.5.2 の左は熱赤外カメラのオルソ画像による解析結果（画像を結合させ地図化したもの）である。熱赤外カメラの画像から検出された火災点を赤で表示している。しきい値の温度を 60 度と設定した。赤色の部分においては 100 度を超える場所が多く見られた。

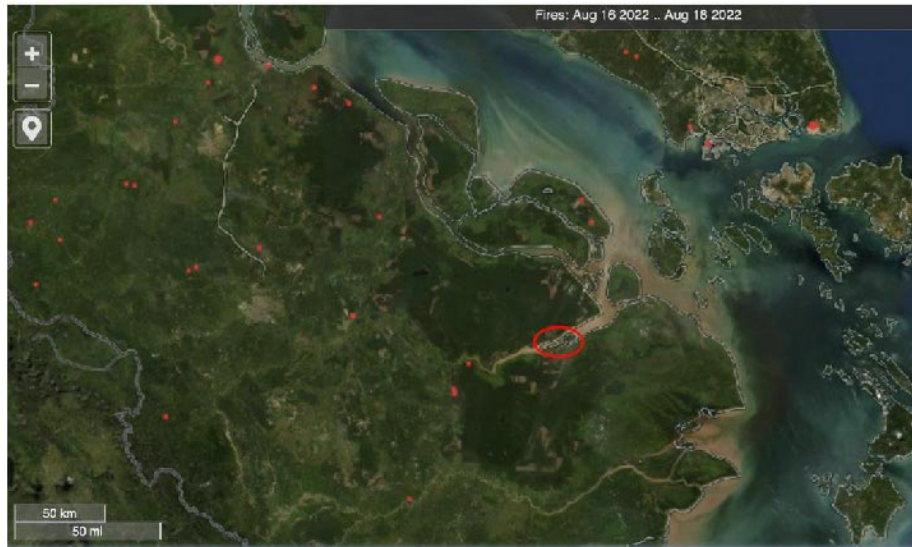
図 4.6.5.2 の右は熱赤外カメラで検出された火災点 A・B と同じ場所を可視カメラで撮影した結果である。A は煙が見られないが、B は煙が確認されている。



注：左：熱赤外カメラの画像から検出された火災点を赤で表示している。右：熱赤外カメラで検出された火災点 A・B と同じ場所を可視カメラで撮影した結果

図 4.6.5.2 熱赤外カメラのオルソ画像による解析結果及び同じ場所の可視カメラ撮影写真の比較（2022 年 8 月 18 日撮影）

また、図 4.6.5.3 は 2022 年 8 月 16～18 日（UTC）における MODIS 及び VIIRS で検出されたホットスポットを赤で示す。ただしドローンのモニタリングを行った日から 2 日前を含む。モニタリング場所は赤い円の周辺である。ドローンでモニタリングを行った場所において、衛星画像によるホットスポットは検出されていなかった。



注：2022年8月16～18日（UTC）におけるMODIS及びVIIRSで検出されたホットスポットを赤で示す（FIRMS: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>）。モニタリング場所は赤枠の周辺である。

図4.6.5.3 2022年8月16～18日（UTC）におけるMODIS及びVIIRSで検出されたホットスポット

以上より、煙やMODISでは捉えられない火災に対して、熱赤外を用いたドローンの火災モニタリングが有効であることがわかった。ドローンによる火災モニタリングの実用には、ある程度広範囲でも良いので、火災エリアをいかに早く見つけるかが重要となる。

4.7 地下水位推定モデルによる泥炭マッピング

4.7.1 泥炭地マッピングの検証

インドネシア農地資源研究開発センター（BRGM）やインドネシア土地情報局（BIG）が提供するボーダリングデータを、GSMaP 土壌水分マップなどの各種衛星データやLiDAR地形データなどから比較を行った。比較の結果の例を下述する。

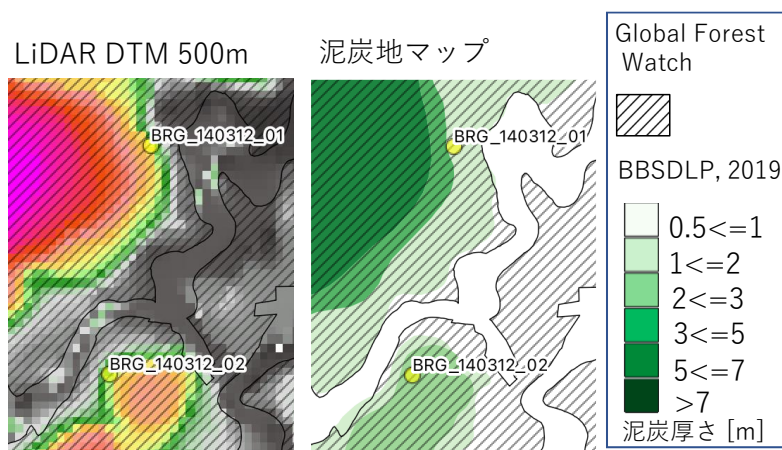


図4.7.1.1 既存のボーダリングデータの比較

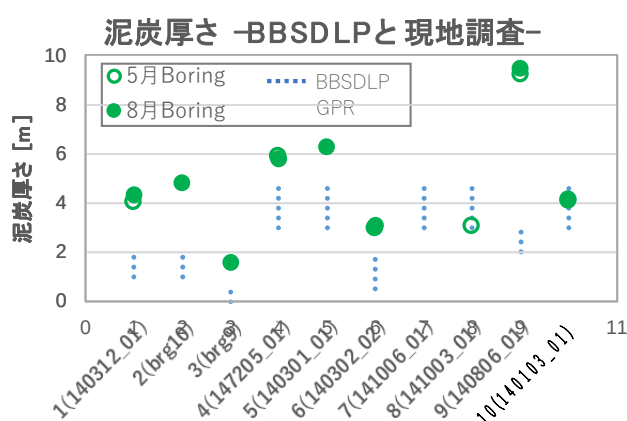
上図によると、斜面部分において BBSDLP（右図の緑色）は Global Forest Watch（GFW）（右図の斜線）よりも泥炭地の範囲が小さいが、LiDAR DTM の標高モデル（左図）は GFW の境界に沿っている。また、LiDAR DTM や GFW に比べて BBSDLP は解像度が少し粗いように見える。このように、既存のボーダリングデータは解像度等によって境界部分が全く異なるように見受けられたことから、既存の泥炭地マッピングの検証が必要となった。

インドネシア農地資源研究開発センター(BBSDLP)が公開している泥炭地のボーダリングデータ(BBSDLP, 2019)では、泥炭厚さは 50cm から 7m 以上までの 6 つに区分されている（図 4.7.1.3 の凡例を参照）。この泥炭地マップは、衛星データによる標高、ボーリング調査、植生や気候データによって作成されている（BBSDLP, 2020）。

泥炭地マッピングの検証にあたり、既存の泥炭地マップ（BBSDLP, 2019）をハンドオーガボーリング、地中レーダー（GPR）の現地計測結果と比較するとともに（図 4.7.1.2）、LiDAR による標高図や水文、植生情報、Global Forest Watch（GFW）のボーダリングデータも参照して考察した。図 4.7.1.3 に泥炭地マップ（BBSDLP, 2019）とボーリング調査結果、現地画像を照らし合わせた概要図を示す。

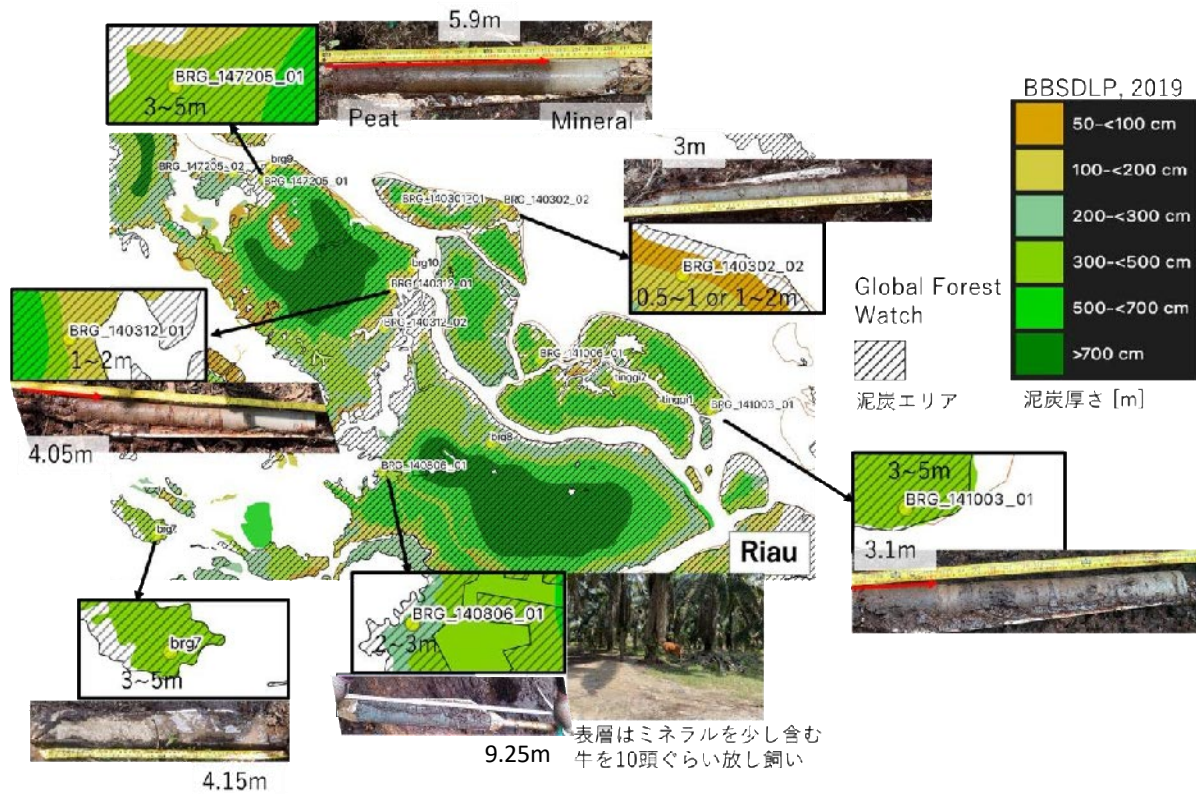
ここで、GPR から泥炭厚さを求めるにあたり適切な誘電率について検討した。GPR が計測する深さ方向の距離が誘電率に応じて変化するためである。誘電率は物質によって変わる。例えば乾燥した砂、コンクリート、湿った粘土で誘電率はそれぞれ、3～6、6～8、8～15 である（IDS, 2013）。より適切な誘電率を検討するため、地下水位の実測値が最も低い 8 月の 1(140312_01)地点において、上記 3 パターンの物質に近い誘電率（それぞれ 6.2、8、12）を用いて GPR から泥炭厚さを推定した。それらの結果とボーリングの結果が最も近いときの誘電率を調査した。地下水位が高い場合は減衰が大きくなり物標の判別が難しくなるためである。今回用いた GPR の機器のモデルは IDS TR80 であり、周波数が 600MHz のアンテナを用いた。地中の深さが数 m～10m ほどを計測するには周波数が 200MHz がのぞましいが、当該アンテナの不具合により 600MHz のものを使用した。

最適な誘電率は 8 となり、コンクリートの上限値もしくは湿った粘土の下限値のあたりに存在することがわかった。よって今回は誘電率として 8 を用いることとする。



注：緑点がハンドオーガボーリング、青い点線が泥炭地マップ（BBSDLP, 2019）。泥炭地マップは、泥炭厚さのクラスの下限から上限までをプロットした

図 4.7.1.2 ハンドオーガボーリングを用いた泥炭厚さの結果と BBSDLP の泥炭地マップでの泥炭の厚さの比較

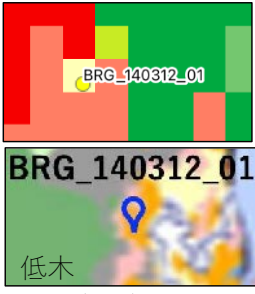
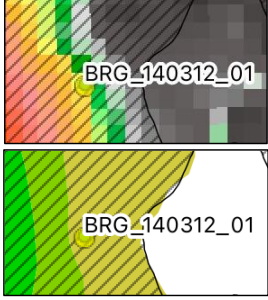
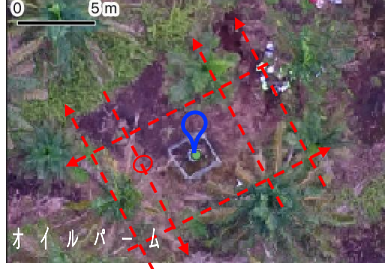
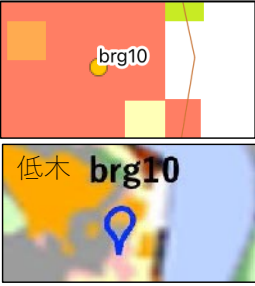
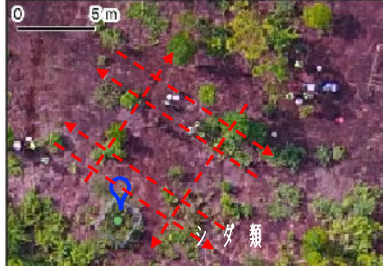
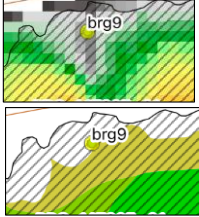
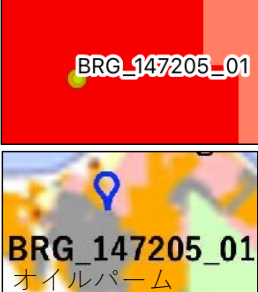
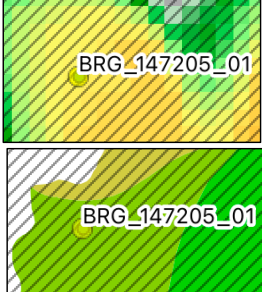


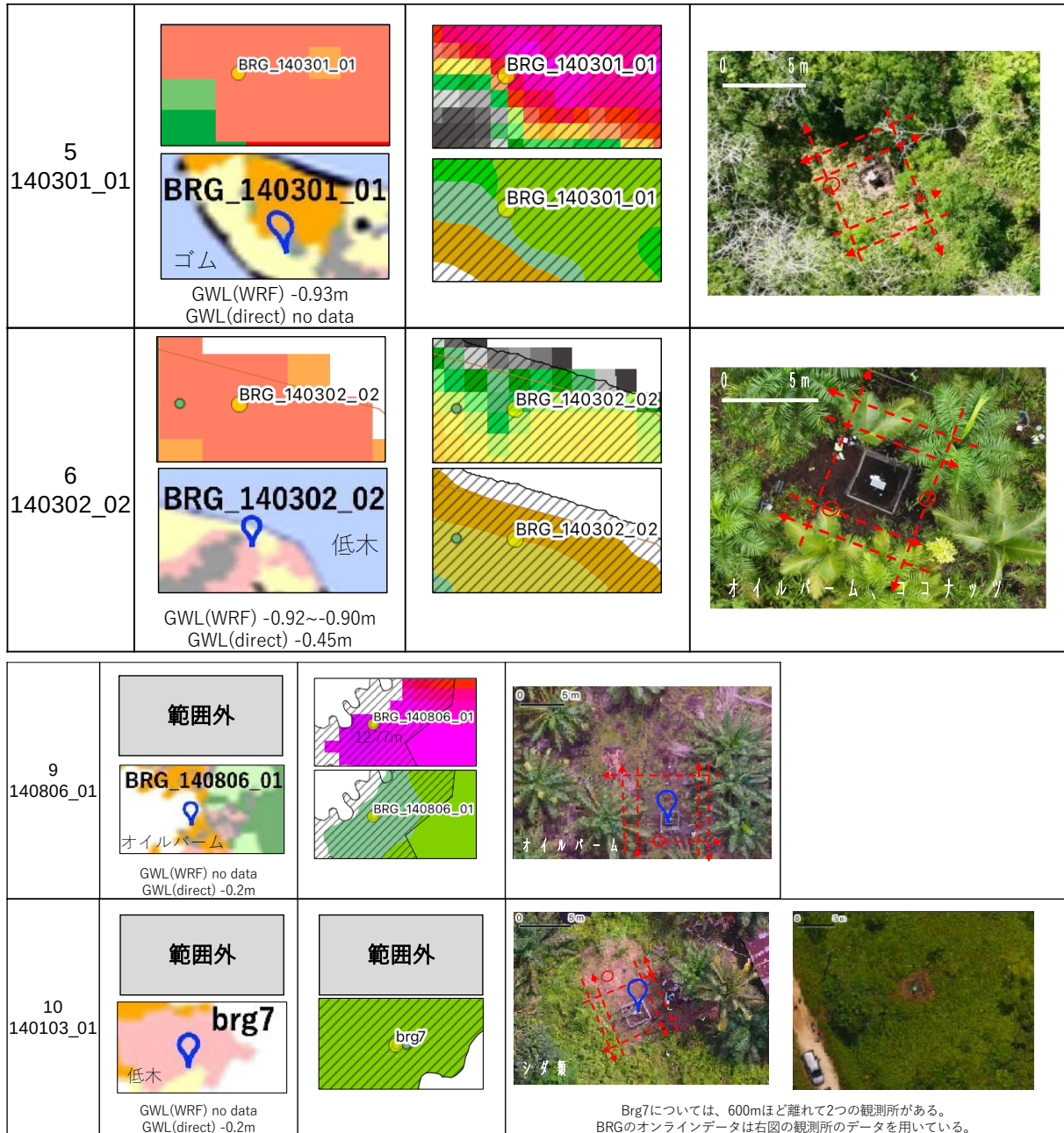
注：使用している画像は、2022年5月及び8月に撮影した画像

図 4.7.1.3 ハンドオーガーボーリングを実施した場所の画像や現地画像と泥炭地マップ (BBS DLP, 2019)

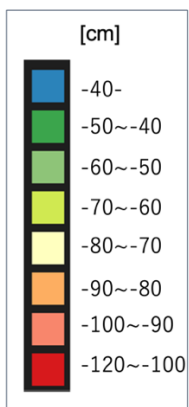
さらに泥炭地マップ (BBS DLP, 2019) や標高図 (Vernimmen et al., 2019)、WRF で推定された 1km グリッド地下水位マップ、植生分布図 (Prayoto et al., 2017)、ドローン画像から作成されたオルソモザイク画像について、観測所ごとの比較表を表 12 に示す。

表 4.7.1.1 観測所ごとの各種画像比較

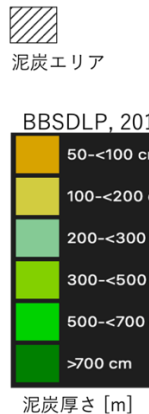
No. 観測所名	地下水位マップ/直接計測/ 植生分布図	BBSDLP 泥炭地マップ/ LiDAR 標高図/	ドローン (植生) / GPR or ボーリング (泥炭厚さ)
1 140312_01	 BRG_140312_01 低木 GWL(WRF) -0.79m GWL(direct) -0.79m	 BRG_140312_01 BRG_140312_01	 0 5m オイルパーム
2 brg10	 brg10 低木 brg10 GWL(WRF) -0.92m GWL(direct) no data	 brg10 brg10	 0 5m シダ類
3 brg9	 brg9 低木 brg9 GWL(WRF) -1.00m GWL(direct) -0.67m	 brg9 brg9	 シダ類 GPR  brg9の観測所周辺をシダ類(赤い破線枠内)が繁茂  画像Cの赤枠拡大
4 140205_01	 BRG_147205_01 BRG_147205_01 オイルパーム GWL(WRF) -1.04m GWL(direct) -0.61m	 BRG_147205_01 BRG_147205_01	 0 5m ゴム



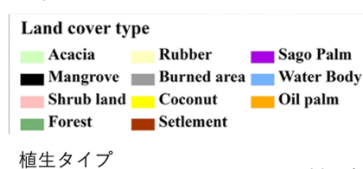
WRFで推定された
地下水位



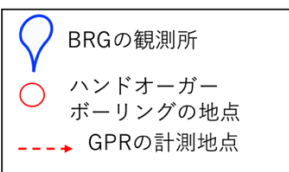
Global Forest
Watch



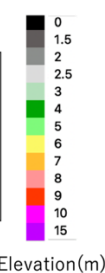
Prayoto et al. 2017



植生タイプ



Vernimmen et al. 2019



注：左から 1 列目：上段は WRF で推定された地下水位、下段は植生分布図（Prayoto et al., 2017）。下段に地下水位の実測値（5 月調査時）及び WRF で推定された地下水位を表示している。

左から 2 列目：上段は LiDAR で計測された 500m グリッドによる標高図 (Vernimmen et al. 2019)、下段は泥炭地マップ (BBSDLP, 2019)。斜線部分も泥炭地マップ (GFW)

左から 3 列目：ドローンの空撮画像から解析されたオルソモザイク画像もしくは空撮画像。

(赤い破線は GPR の計測経路。赤丸はボーリング位置。黄色い点は BRIN から入手した観測所の位置情報。青いピンや緑の点はドローン画像から検出した観測所の位置情報。GPR 及びボーリングの調査位置は 8 月調査時のものを優先的に表示している。)

泥炭地における特徴について、泥炭厚さや植生、水文環境や地形、水系距離等とともに分析した。土地利用や地形条件から、以下の 3 つに分類し、その分類に基づいた泥炭地マップの検証結果を以下に列挙する。

表 4.7.1.2 土壌水分量タイプと土地利用や地形条件との関係

土壌水分量タイプ	土地利用や地形	該当する観測所 (2017～2021 年の土 壌水分量データと現 地調査の結果)	説明、火災に関する情報
A	ピートドーム内の平らな場所 (アブラヤシ)、メランティの島 エリア (ココナッツやツゲ)、海 岸付近で水路との距離が近い (シダ)、[例外]傾斜が高くても 水路との距離が近い (アブラヤ シ)	BRG_140806_01、 BRG_141003_01、 BRG_141006_01、 brg9、[例外] 140312_01 の一部	土壌水分量が常に 40%以上と高い。 火災跡地と思われる brg9 はシダが繁 茂している。141003_01 の 5、6km 先 で 2021 年に火災。140806_01 の約 1km 先で 2014 年に火災。
B	傾斜が比較的高い。アブラヤ シ、ココナッツ、ゴム、シダ、 苔	brg7、brg10、 BRG_140302_02、 BRG_140312_01、 BRG_140301_01	土壌水分量が常に 50%以下と低い。 140302_02 では枯れ葉・枯れ枝が多 い。ここは 2014 年の火災ではココ ナッツが生き残ったので植生の変化 なし。140301_01 では 2018 年に 700m 先で火災。brg7 では 2014 年に 2～ 4km 先で、2021 年に 5km 先で火災。
C	海岸付近でゴムのエリア	BRG_147205_01	少雨・多雨期を通して土壌水分量が 最小で 20%程度、最大で 50%以上と幅 広く変化。

注：本業務の現地調査で訪問した観測所のみを記載。火災に関する情報は、観測所を管理する現地住民へのインタビューから得られた。「例外」についての記述は、現地調査で得られた結果を反映させている

(a) 土壌水分量タイプ B:傾斜があるところ (140312_01、140302_02、brg10) では、泥炭地マップ (BBSDLP, 2019) の泥炭厚さは GPR あるいはボーリング調査との誤差が大きい

140312_01 において、ボーリングによる泥炭厚さが約 4m である (図 4.7.1.2)。ここは水路からの距離が 20m ほどであり、水路表面からの水面も高い。そのため、場所によっては地下水位が高い可能性がある。また苔も所々で見られたことから、土壌が湿潤状態になりやすいと考えられる。土壌水分量も 70～80%程度と高い。また WRF で推定された地下水位は周辺よりも低い。これが斜面による影響かどうかは不明である。ただし、WRF の結果 (2019 年 8 月 16 日) と地下水位の実測値 (2022 年 5 月 17 日) は時期が異なる。WRF で推定された地下水位は、地形に応じた相対的な地下水位を確認するために用いていることに留意する。

BBSDLP の泥炭地マップは LiDAR による標高図よりも空間解像度が粗くみえる。たとえば、140302_02 においては、海岸に沿って垂直方向に僅かな谷が形成されているが、BBSDLP の泥

炭地マップではそのような地形は見られない（表 4.7.1.1）。Brg10 についても傾斜地域であるため、BBSDLP の泥炭地マップと GPR との誤差が大きい（表 4.7.1.1）。

- (b) 土壌水分量タイプ C：海岸エリア（brg9）では、BBSDLP の泥炭地マップは誤差が大きい（泥炭地の境界値）。

海岸付近の Brg9 について、既存のボーダリングデータの精度について限られた地点で確認した。この地域の BBSDLP の泥炭地厚さは 0.5m 以下と範囲外となっている。一方、GWF の泥炭地エリアには含まれる。GPR によると泥炭厚さが 3～6.5m と確認された。土壌の保水性の観点から、ここは標高が低く海岸付近、かつ水路からの距離が近いこと、海水流入により周期的に地下水位が高くなると考えられる。そのため、土壌水分量が高く保たれてきた可能性がある。水文環境の観点からも泥炭がある程度存在している可能性は否定できない。

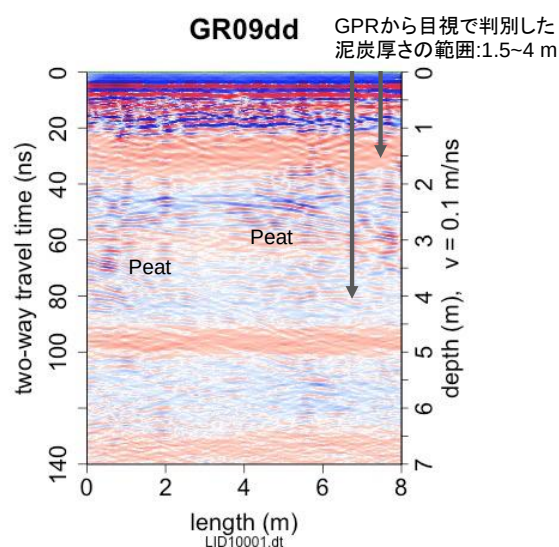
- (c) 土壌水分量タイプ A：ピートドーム上の平坦なエリア（140806_01）では局所的に泥炭厚さが深いところがある。

比較的平坦なエリアである 140806_01 についても、BBSDLP の泥炭地マップと GPR やボーリング調査との誤差が大きい結果となった（図 4.7.1.2）。ボーリング調査で得られた泥炭厚さが 5 月、8 月ともに 9m 以上であった。GPR では 1.5～4m ほどの泥炭厚さが計測された。BBSDLP は 2～3m である。LiDAR による高解像度の標高図をみると局所的に標高が高くなっているところがあるが、BBSDLP の泥炭地マップではそのような局所的な泥炭厚さの違いは見られない（表 4.7.1.1）。

この地域の特徴として、表層付近はミネラル土壌が混ざっていた。観測所から 100-200m 離れた BRG 管理人の家の付近は明らかに土の色が違ふことから、この周辺地域一帯はミネラル土壌が含まれると考えられる。

GPR とボーリングの結果の誤差が大きい理由については、GPR による泥炭厚さが誤差を含んでいる可能性が考えられる。9(140806_01)について、ここはピートドームの平らな場所に位置し地下水位が常に高い（5 月・8 月ともに -20cm）。水分が多く含まれるため、GPR で深い泥炭を判別することができていない可能性も考えられる。図 4.7.1.4 は観測所 9(140806_01)における GPR の結果の例である。

以上のように、GPR の結果が誤差を含む場合、ボーリング結果によって、泥炭厚さはより詳細な空間スケールで変化することが分かり、泥炭地マップでは表現しきれていない部分があった。



注：2022年8月に実施。

図 4.7.1.4 観測所 9(140806_01)における GPR の計測結果の例

以上の5地点（140312_01、brg10、140302_02、brg9、140806_01）の検証結果をまとめる。

- 既存のボーダリングデータ（BBSDLP）を標高図やボーリング調査、GPR と比較した結果、既存のボーダリングデータは解像度の低さによって、局所的な泥炭厚さの変動を見落としていたり、泥炭の境界部分や傾斜部分が表現されない傾向がある。
- 泥炭土壌の保水性を確認するために植生情報も用いて説明づけることができた。
- BBSDLP のボーダリングデータは泥炭厚さ 0.5m 以下は含まれないため、海岸付近の標高が低いエリアではボーダリング情報が適切に表現されていない傾向がある。
- この地域でのボーリング調査の結果、泥炭厚さがある程度あることがわかり、水文、地形情報からも常に土壌水分量が高い地域である。

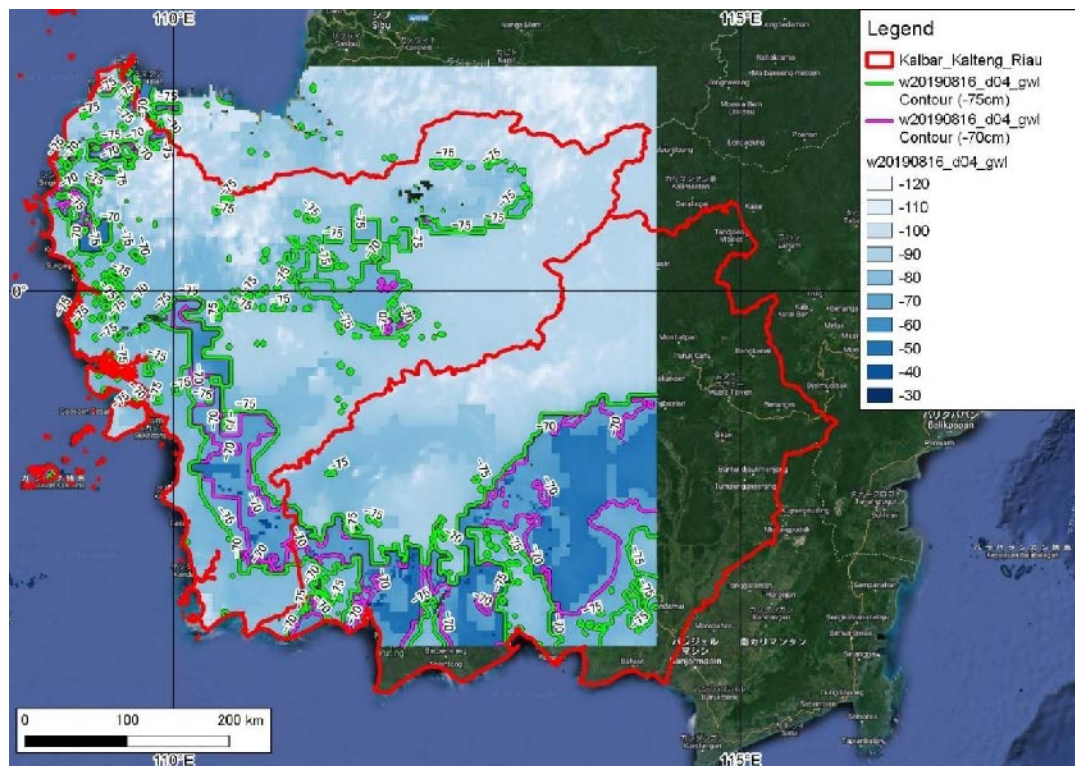
また、以上の5地点を除くほかの地点については、BBSDLP はボーリングあるいは GPR の結果に概ね近い数値を示していた。

4.7.2 地下水位推定モデルによる泥炭マッピング

ここでは WRF の結果を基に推定した地下水位推定モデル（3km グリッド）を基に、既存地理空間情報（BBSDLP 泥炭図、土地被覆図(2019)、SRTM 標高図、環境省推進費ボーリング(2016&2017)等）を用いた泥炭マッピングについて記述する。

(1) 地下水位推定モデル（3km グリッド）と BBSDLP 泥炭図の比較（中央カリマンタン州）

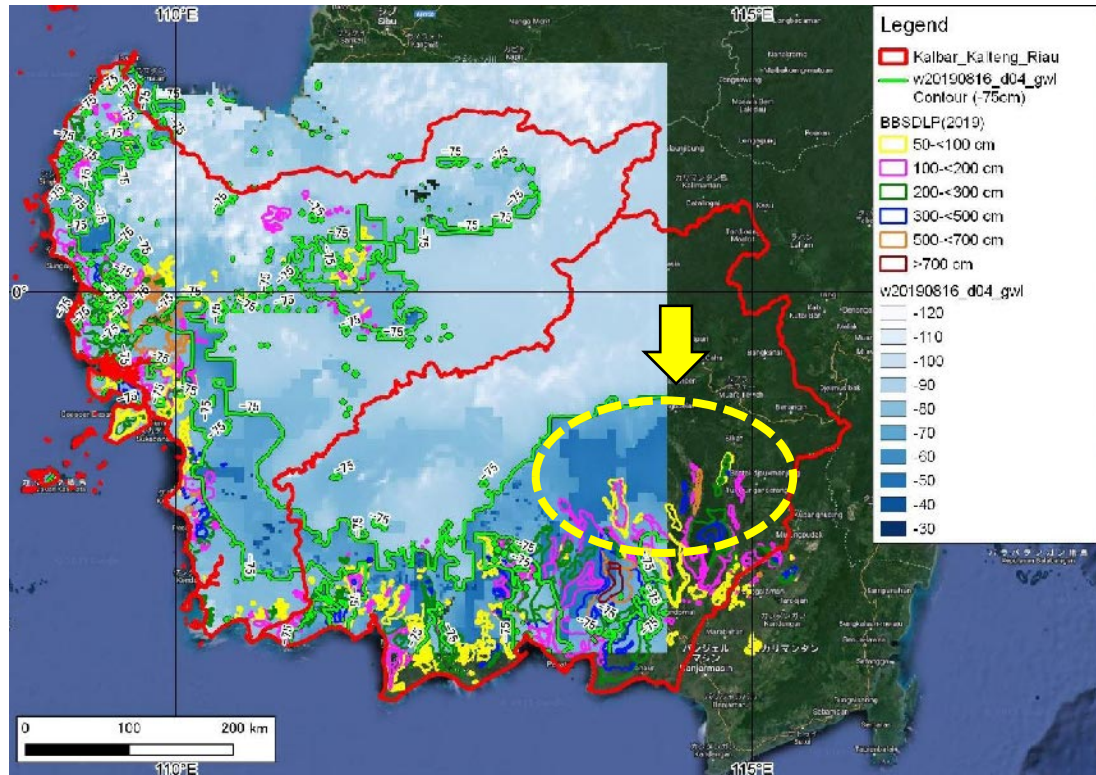
図 4.7.2.1 に、地下水位が浅い場所を濃い青色（最大-30cm 程度）、深い場所を淡い青色（最大-120cm 程度）で示し、さらに、地下水位の等深度線-70cm と-75cm を水色と赤紫色で示した。図 4.7.2.2 に、地下水位と泥炭地の分布を把握するため、BBSDLP の泥炭図を重ねたところ、地下水位等深度線（-70cm、-75cm）が、中央カリマンタンの泥炭地の分布と概ね一致することが分かった。このうち、中央カリマンタン州中央部（パランカラヤ北部）には、地下水位の浅い場所が存在する（図 4.7.2.2 の黄色い点線内）。主に地下水位が-50cm から-40cm 程度で浅く、BBSDLP(2019)の泥炭図ではマッピングされていない、未確認の泥炭地が存在する可能性が高い場所が存在することが明らかとなった。



出典：調査団作成

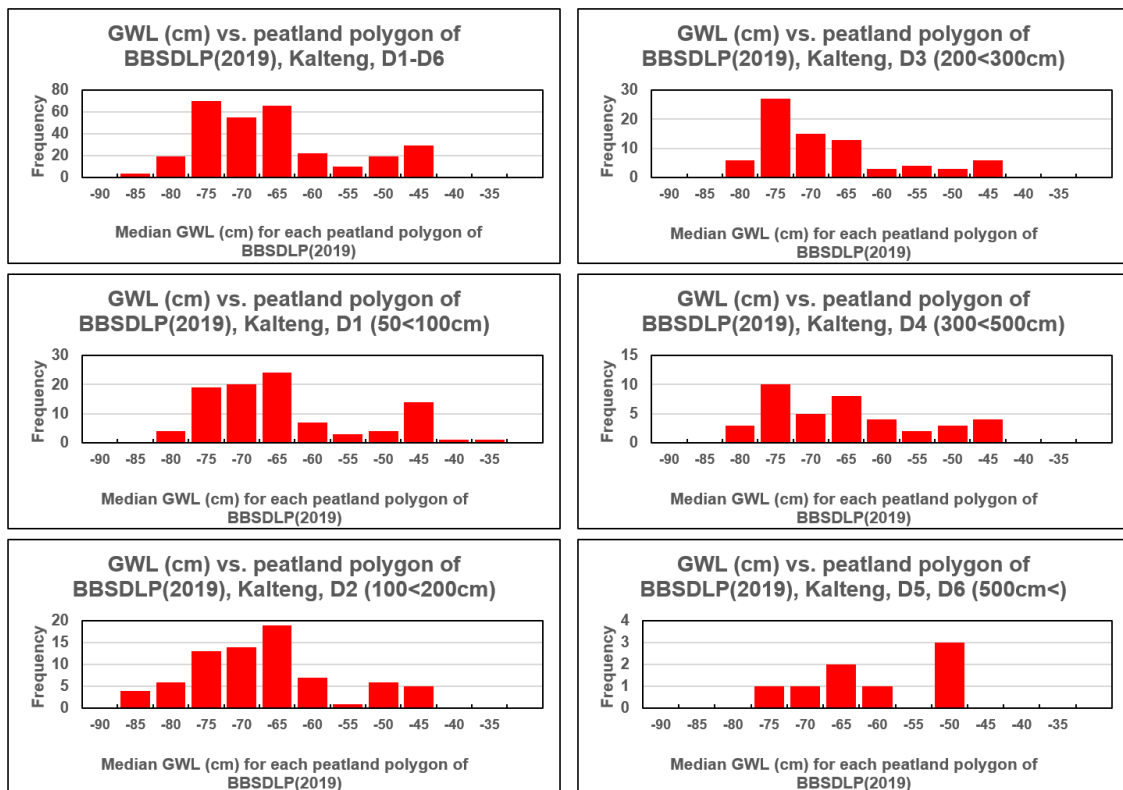
図 4.7.2.1 中央・西カリマンタン州における WRF/地下水位分布（-70cm、-75cm 等深度線）

図 4.7.2.3 に、中央カリマンタン州の BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの WRF 地下水位の頻度分布を示す。BBSDLP 泥炭図に格納されている泥炭図ポリゴンごとに、3km グリッドの WRF 地下水位値を抽出した結果である。泥炭の厚さは、図 4.7.2.2 の右側凡例のとおり、D1 から D6 に区分されている。D1 から D6 のすべての厚さを見ると、最も深い地下水位は概ね-80cm~-75cm 程度で、図 4.7.2.1 で示した-75cm 地下水位等深度線は、泥炭地の境界線ともいえる。さらに、泥炭の厚さごとに比較すると、D1~D3 までは、-75cm から-65cm 付近にピークが認められるが、D4 では-75cm から-45cm まで幅広く分布し、最も厚い泥炭 D5 及び D6 では、地下水位のピークは-50cm にシフトしている。



出典：調査団作成

図 4.7.2.2 中央・西カリマンタン州の泥炭分布と地下水位等深度線（-75cm）



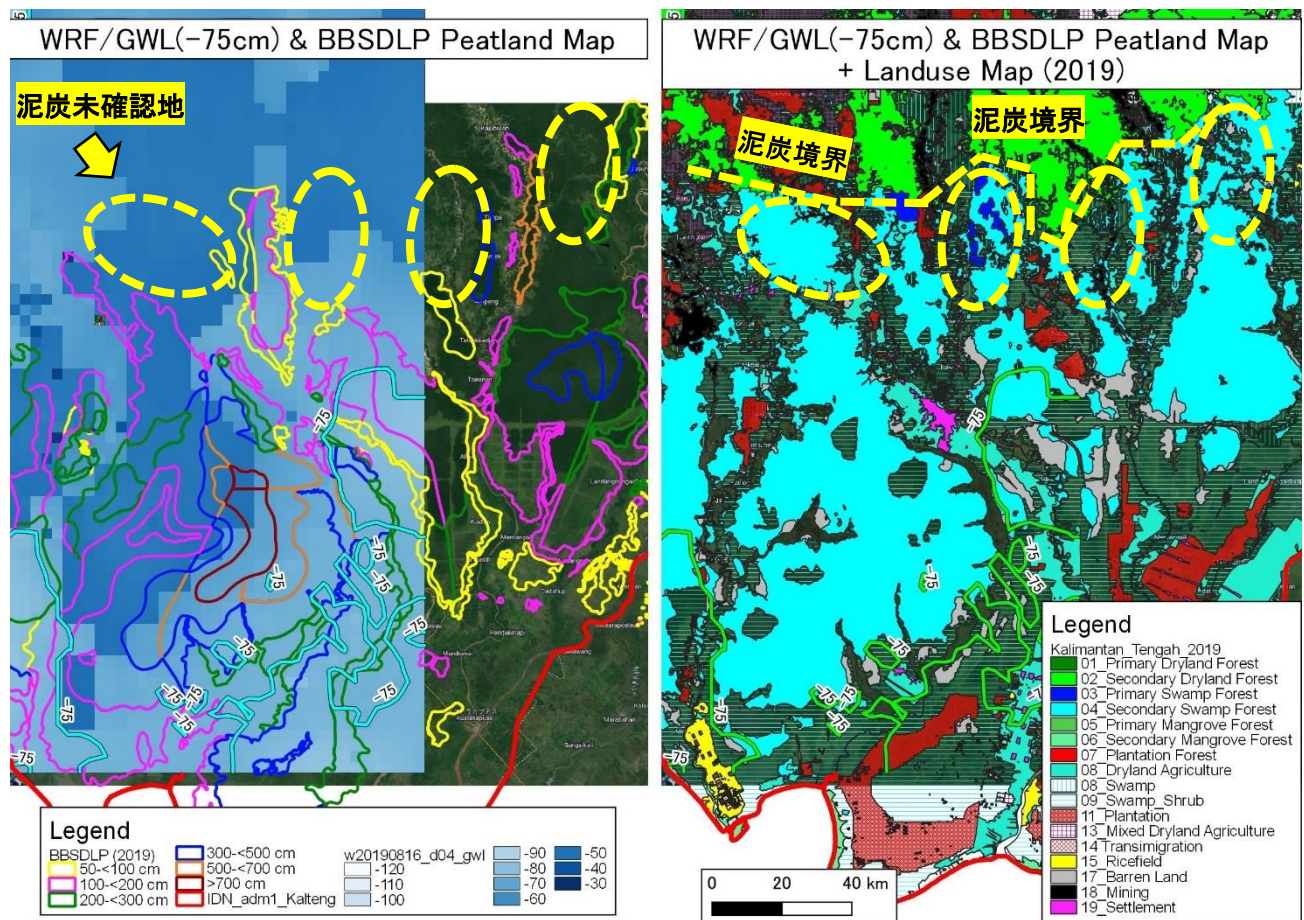
出典：調査団作成

図 4.7.2.3 中央カリマンタン州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位頻度分布（各泥炭図ポリゴンで 3km グリッドの WRF 地下水位値を抽出した結果）

(2) 地下水位推定モデル (3km グリッド)、BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図 (2019) の比較

中央カリマンタン州北部の地下水位等深度線 (−75cm) と BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図 (2019) を図 4.7.2.4 に示す。左図の泥炭分布範囲は、右図の土地被覆図の 04_Secondary Swamp Forest の範囲にほぼ一致し、泥炭地の北側境界は、非泥炭地植生である黄緑色の 02 Secondary Dry Forest と接する。従って、土地被覆図 (2019) は、泥炭地のボーダリングに有用であることが分かった。

一方、04_Secondary Swamp Forest の黄色点線部分のように一部は泥炭分布範囲と重ならない場所があることから、泥炭地の分布とほぼ一致する 04_Secondary Swamp Forest には、未確認の泥炭地が存在することも分かった。



出典：調査団作成

図 4.7.2.4 中央カリマンタン州における地下水位等深度線 (−75cm)、BBSDLP 泥炭図 (左図) 及び土地被覆図 (右図)

(3) BBSDLP (2019) 泥炭図と SRTM/DEM 標高値の比較 (中部カリマンタン州)

BBSDLP (2019) 泥炭図の泥炭地における標高値を調べるため、泥炭の厚さごとに SRTM/DEM の標高値を調べた。図 4.7.2.5 に中部カリマンタン州における BBSDLP (2019) 泥炭図と SRTM/DEM を、図 4.7.2.6 に 3 州における BBSDLP (2019) 泥炭図と SRTM/DEM 標高値のヒストグラムを示す。

中部カリマンタン州及びリアウ州では、泥炭地は概ね 50m 以下の標高を示す。西カリマンタン州には、一部 75m 程度の標高値もある。また、泥炭の厚さ毎に比較すると、相対的に厚い泥炭地

の場合に、標高が厚い傾向を示す（図 4.7.2.7(1)-(3)）。例えば、中部カリマンタン州の D5-D6（500cm 以上）では、標高 20-35m、西カリマンタン州の D5（500-700cm）で標高 5-25m、また、リアウ州の D6(700cm 以上)では、標高 20-35m を示す。SRTM/DEM は地盤高ではなく樹高を示すものの、いわゆるピートドームの地形特徴を表していると考えられる。

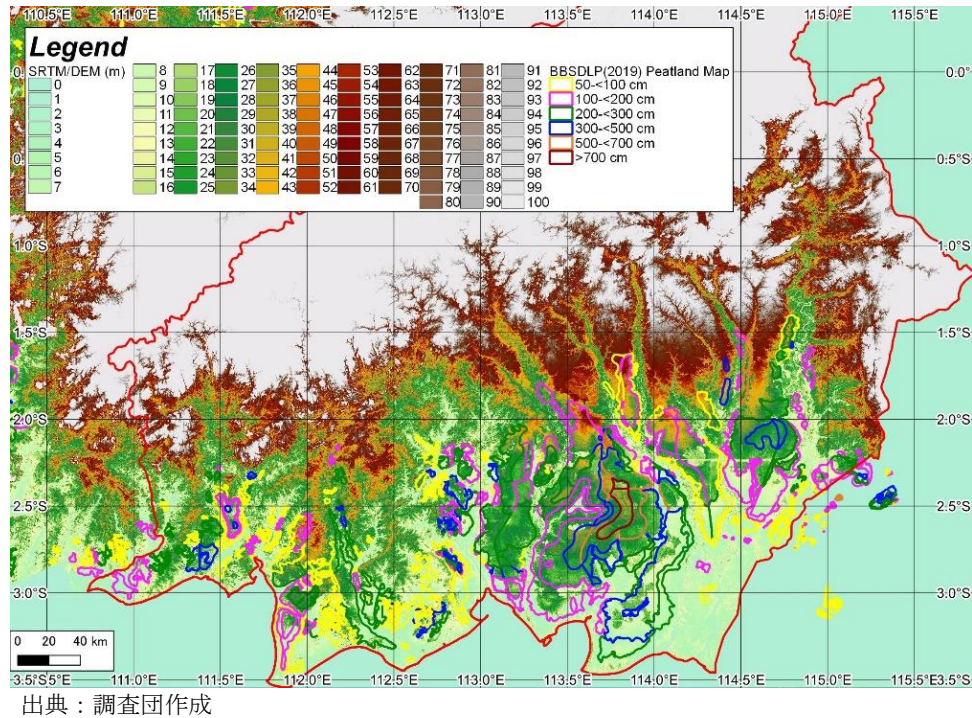


図 4.7.2.5 中部カリマンタン州における BBSDLP(2019) 泥炭図と SRTM/DEM 標高値

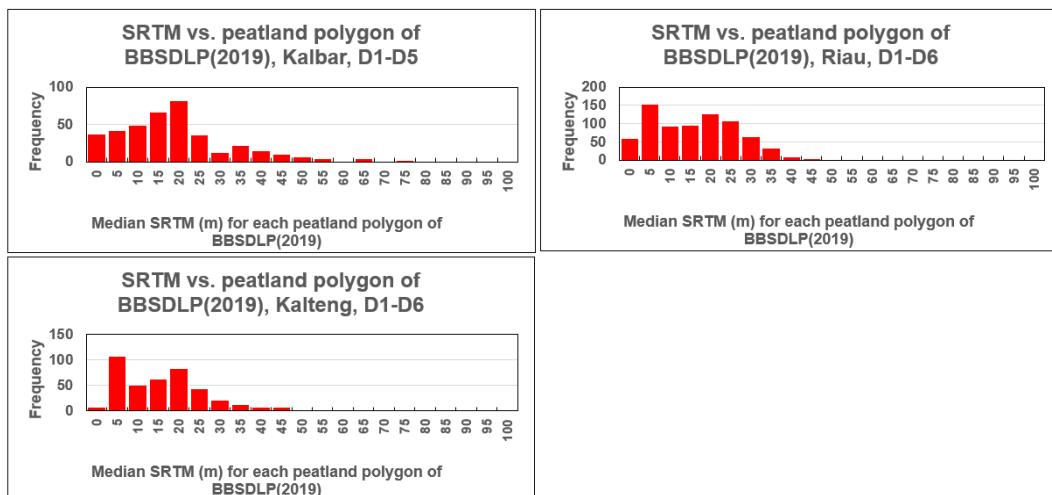
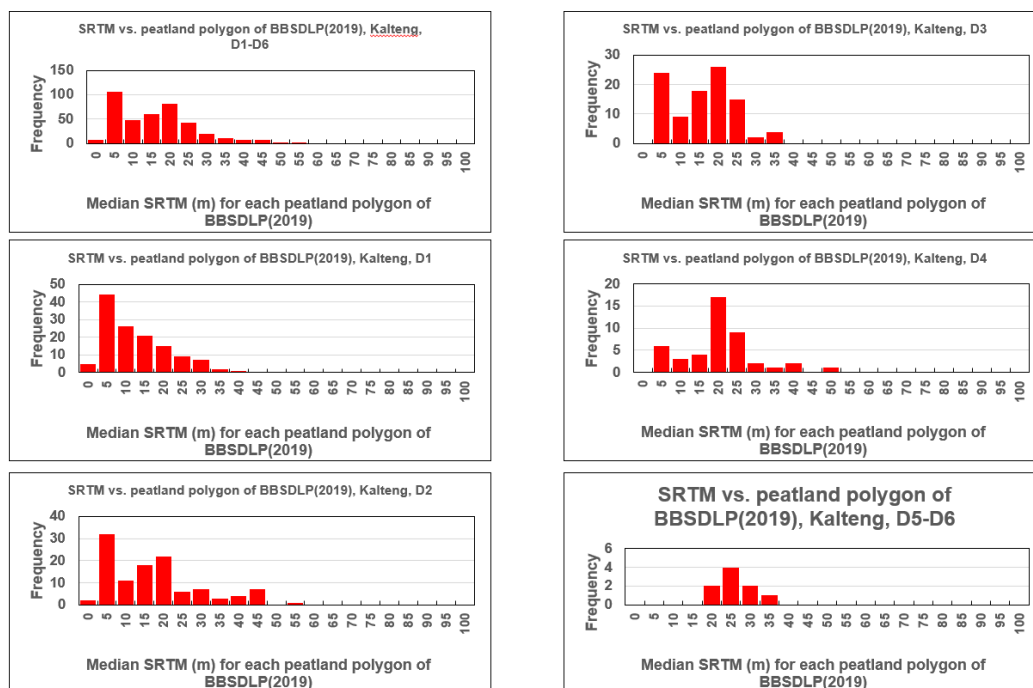
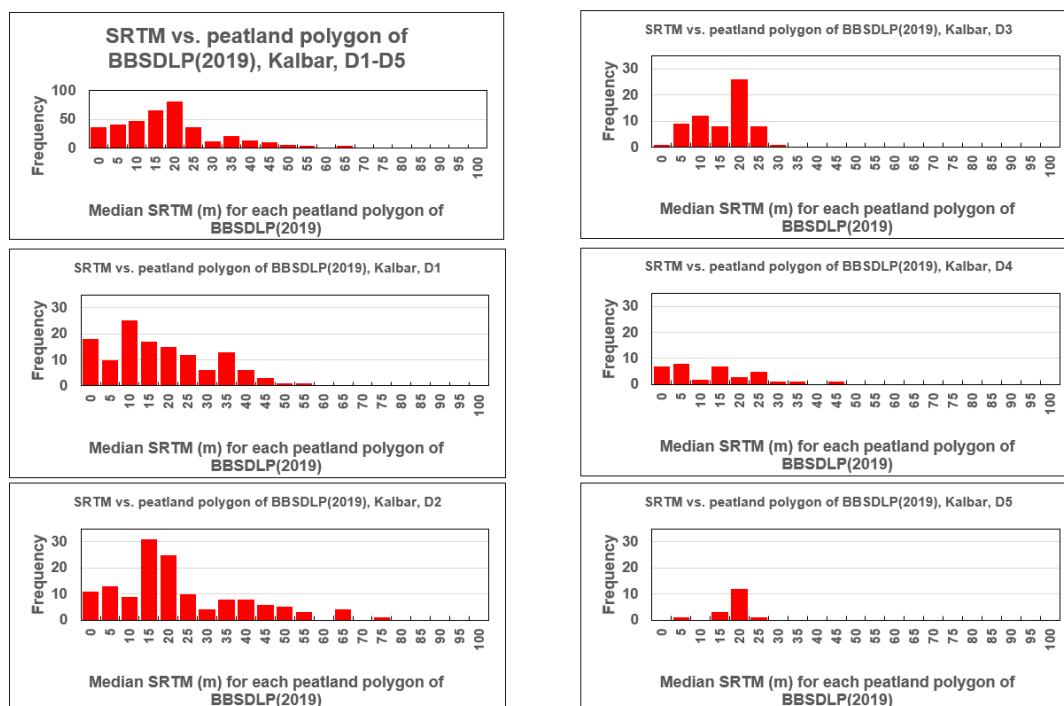


図 4.7.2.6 3 州における BBSDLP(2019) 泥炭図と SRTM/DEM 標高値



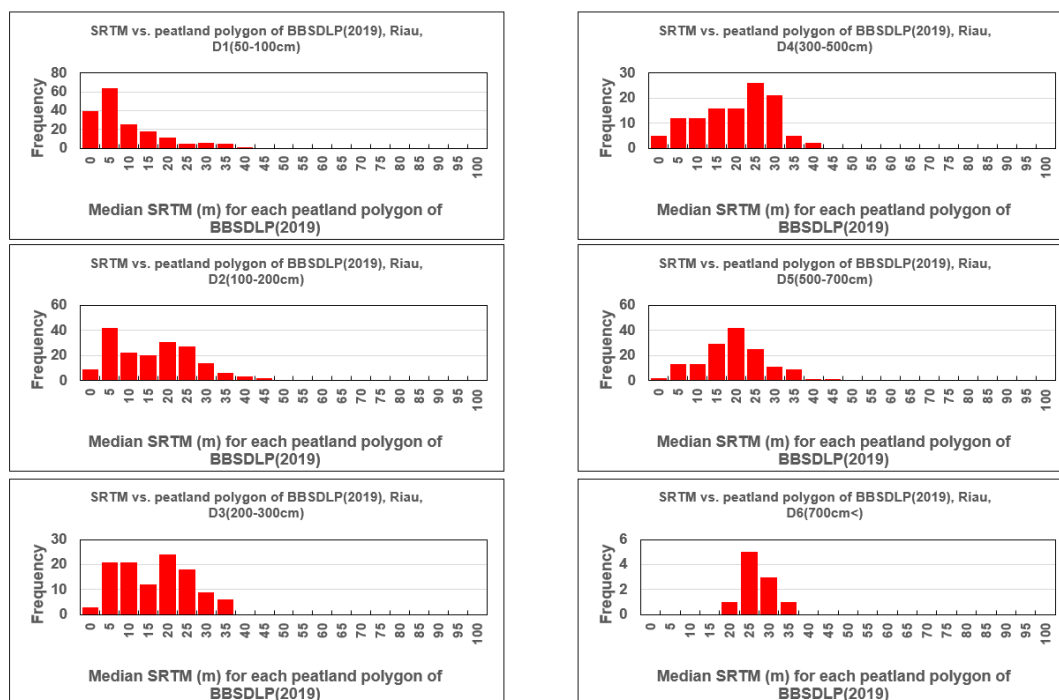
出典：調査団作成

図 4.7.2.7(1) 中部カリマンタン州における BBSDLP(2019) 泥炭図の厚さ毎と SRTM/DEM 標高値のヒストグラム



出典：調査団作成

図 4.7.2.7(2) 西カリマンタン州における BBSDLP(2019) 泥炭図の厚さ毎と SRTM/DEM 標高値のヒストグラム



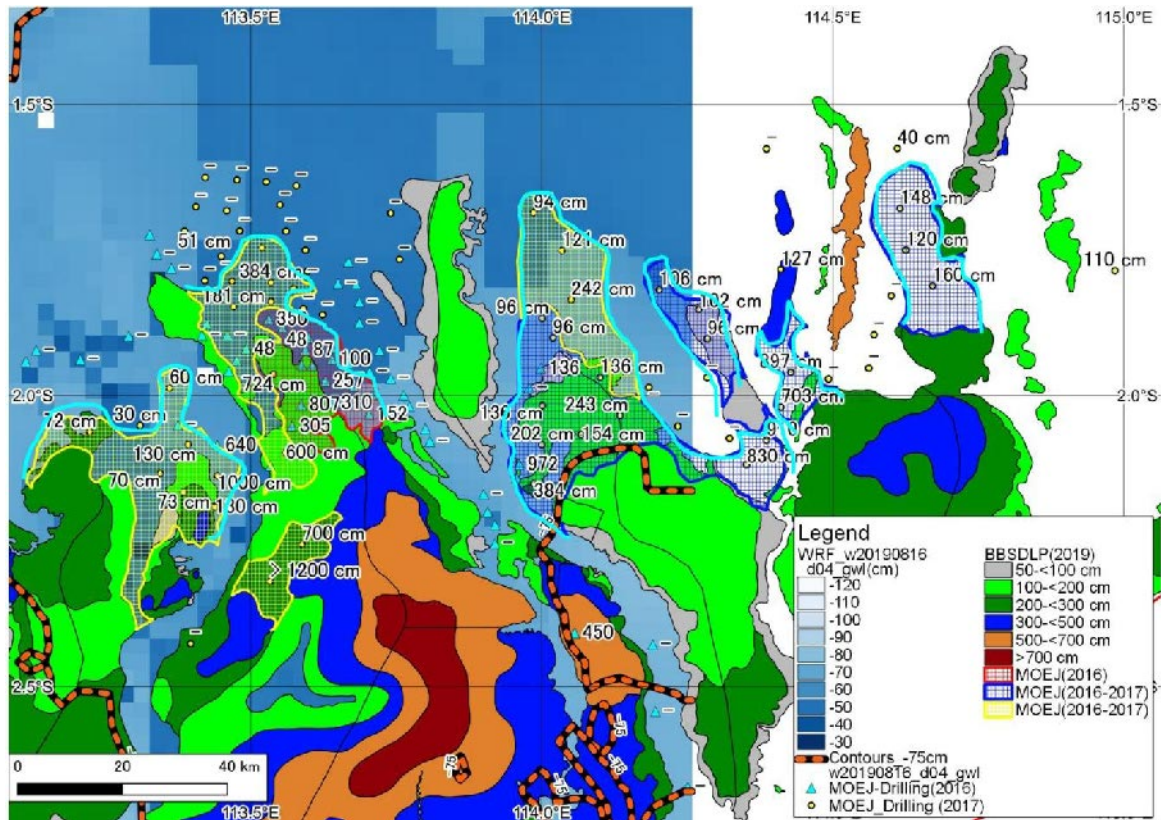
出典：調査団作成

図 4.7.2.7(3) リアウ州における BBSDLP(2019) 泥炭図の厚さ毎と SRTM/DEM 標高値のヒストグラム

(4) 環境省ボーリング（2016&2017）による泥炭未確認地の評価・検討

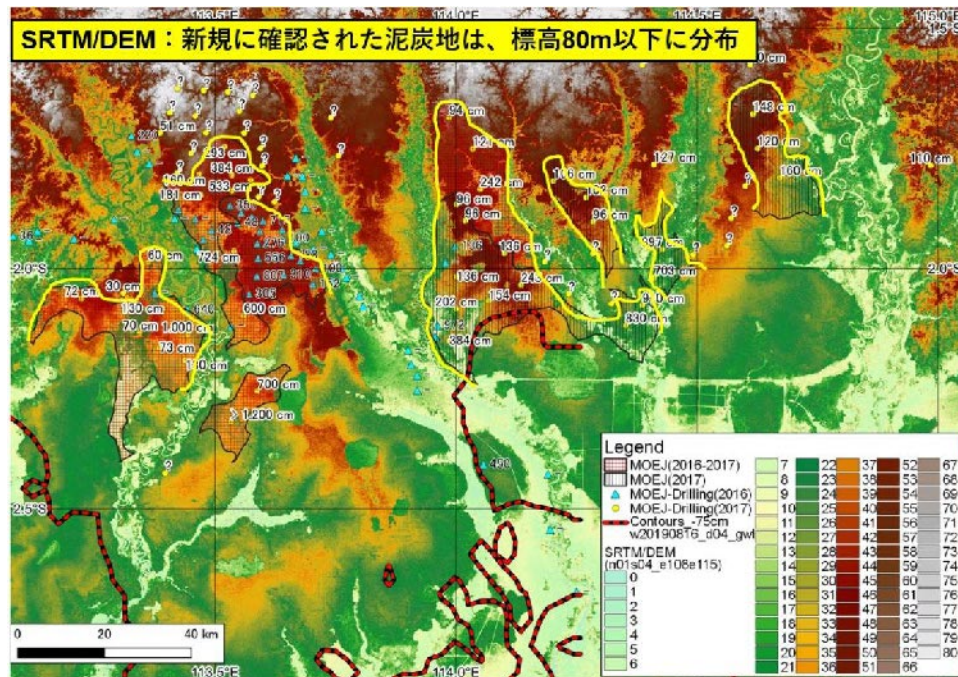
前述の通り、未確認泥炭地が、中央カリマンタン州中央部に存在しているが、本地域の泥炭ポテンシャル評価のためのボーリング調査（合計 136 孔）が、2016 年及び 2017 年に環境省環境研究総合推進費「ボルネオの熱帯泥炭林における炭素動態の広域評価システムの開発プロジェクト」で実施されている⁸²。ボーリングの位置と泥炭の厚さ、及び 2016 年と 2017 年にボーリングによって泥炭が確認された範囲を黄色格子、赤色格子線、青色格子線で示すと、未確認の泥炭地を広い範囲で確認していることがわかる（図 4.7.2.8）。さらに、ボーリング地点の標高値を SRTM/DEM の標高値で調べると、概ね標高値は 80m 以下であることがわかる（図 4.7.3.9）。

⁸² https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/pdf/end_houkoku/2-1504.pdf



出典：調査団作成

図 4.7.2.8 地下水位等深度線（-75cm）、BBSDLP 泥炭図、環境省（2016&2017）のボーリング調査による泥炭マッピング結果（新規確認泥炭範囲は、水色線で示される赤格子線、黄色格子線及び青格子縦線内）



出典：調査団作成

図 4.7.2.9 中部カリマンタン州における BBSDLP(2019) 泥炭図及び環境省ボーリングの SRTM/DEM 標高値

以上から地下水位推定モデルによる泥炭マッピングは、以下の手順で行うことができる。

- ① BBSDLP(2019)泥炭図の泥炭地における WRF 地下水位は、-90cm~-50cm 程度
- ② SRTM/DEM 標高値は、80m 以下
- ③ 土地被覆図(2019)のカテゴリーは、03_Primary Swamp Forest または 04 Secondary Swamp

以上①~③により、泥炭マッピング（ボーダリング）が可能となる（泥炭地境界が把握される）。ただし、土地被覆図（2019）において、03_Primary Swamp Forest または 04 Secondary Swamp に分類されているものの、BBSDLP 泥炭図で泥炭に分類されていない場所は、未確認泥炭地（泥炭地ポテンシャル）となる。

中央カリマンタン州においては、WRF 結果から推定した地下水位、既存の泥炭図、土地被覆図から泥炭地ポテンシャルが推定できた。さらに、この推定した泥炭地ポテンシャルを基に、既存のボーリングデータを用いて泥炭マッピングが可能となった。中央カリマンタン州で検証した方法論を西カリマンタン州及びブリアウ州にも適用する。

(5) 地下水位、BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図（2019）の比較（西カリマンタン州）

地下水位の分布と BBSDLP の泥炭図から、泥炭マッピングに有用な地下水位等深度線について検討するため、1cm 間隔の地下水位等深度線を作成し、BBSDLP 泥炭図（西カリマンタン州南部 Ketapan 周辺）を重ね合わせた（図 4.7.2.10 左図）。中央カリマンタン州では、地下水位当深度線-75cm が、泥炭マッピングに有効であったが、本地域では、主要な泥炭地は地下水等深度線-75cm から-82cm に分布し、一部では-60cm から-50cm の地下水等深度線（図 4.7.2.10 赤紫線）と重なる（図 4.7.2.10 上部黄色点線内）。

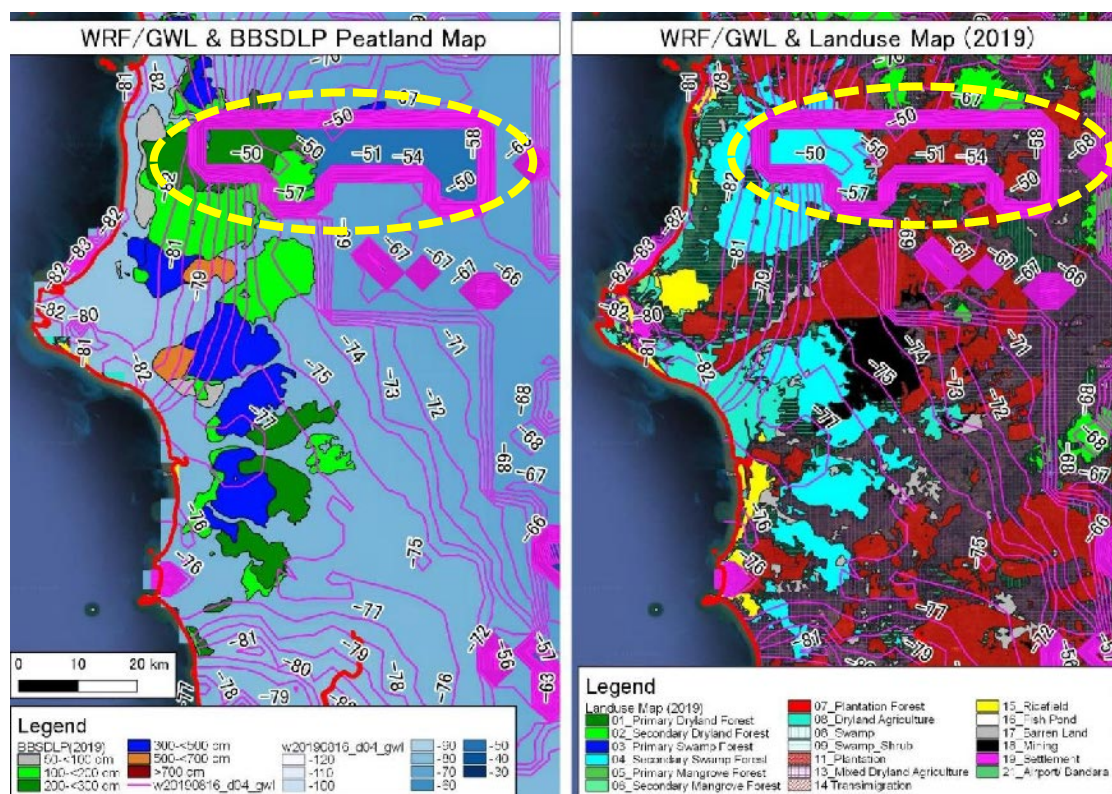
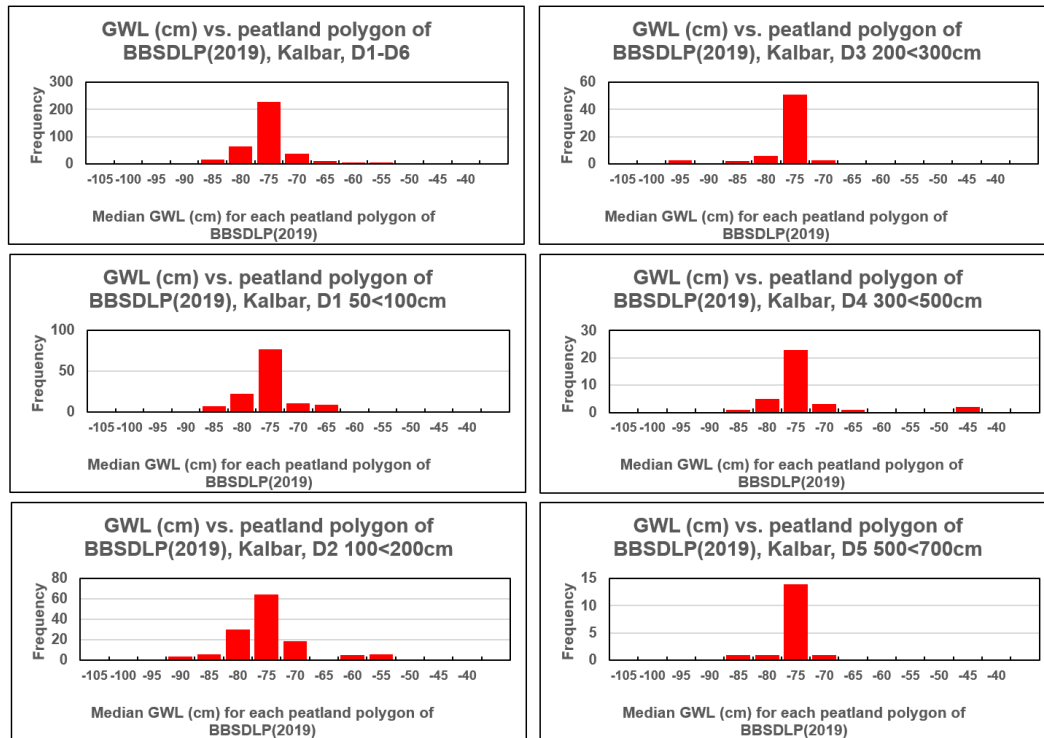


図 4.7.2.11 に、西カリマンタン州の BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの WRF 地下水位の頻度分布を示す。西カリマンタン州の泥炭の厚さは、D1 から D5 に区分されている。D1 から D5 のすべての厚さを見ると、いずれも地下水位は概ね-80cm から-75cm に集中し、-80cm 地下水位等深度線が泥炭地の境界線といえる。また、泥炭の厚さごとに比較すると、最も厚い泥炭 D5 を含めて、地下水位のピークは-75cm に集中し、中央カリマンタンの傾向とは異なる。



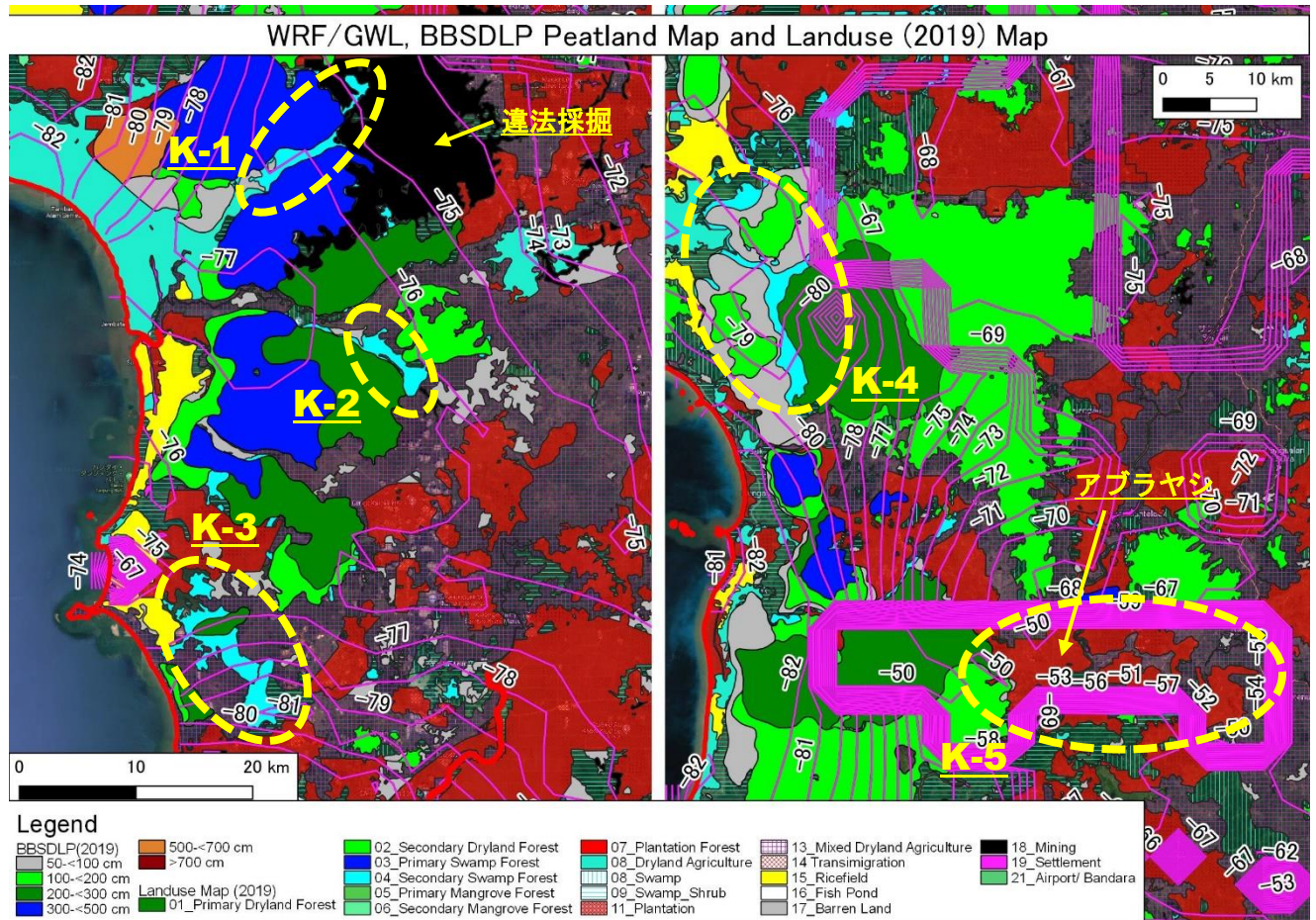
出典：調査団作成

図 4.7.2.11 西カリマンタン州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位頻度分布
(各泥炭図ポリゴンで 3km グリッド WRF 地下水位値を抽出した結果)

さらに、土地被覆図（2019）では、中央カリマンタン州の場合、泥炭の分布は 04 Secondary Peatswamp Forest の分布とほぼ同様であったが、西カリマンタン州でも同様の傾向を示す（図 4.7.2.12）。また、中央カリマンタン州と同様、BBSDLP 泥炭図ではマッピングされていない、未確認の泥炭地が図 4.7.2.12 に 3 箇所確認できる（黄色点線内）。K-1 地区は、泥炭の厚さ 300–500cm の隙間に存在し、泥炭が存在する可能性が高い。K-2 地区は、泥炭の厚さが 100–200cm と 200–300cm の間に存在するが、衛星画像を見ると疎らな植生であるため、K-1 地区ほどポテンシャルは高くはない。K-3 地区は、衛星画像上で河川沿いの森林も認められ、泥炭が存在する可能性が高い。K-4 地区は、厚さ 50–100cm の泥炭の東側 1km 程度の範囲に広がる標高 100m 以下の低地であることから、泥炭が存在したとしても非常に薄い（100cm 以下）と考えられる。K-5 地区は、地下水位が-50cm 程度で浅く、厚さ 200–300cm の泥炭と接するため、泥炭が存在する可能性が高い。衛星画像上では、広くアブラヤシプランテーションを確認できるため、泥炭は全く存在しないと考えられる。

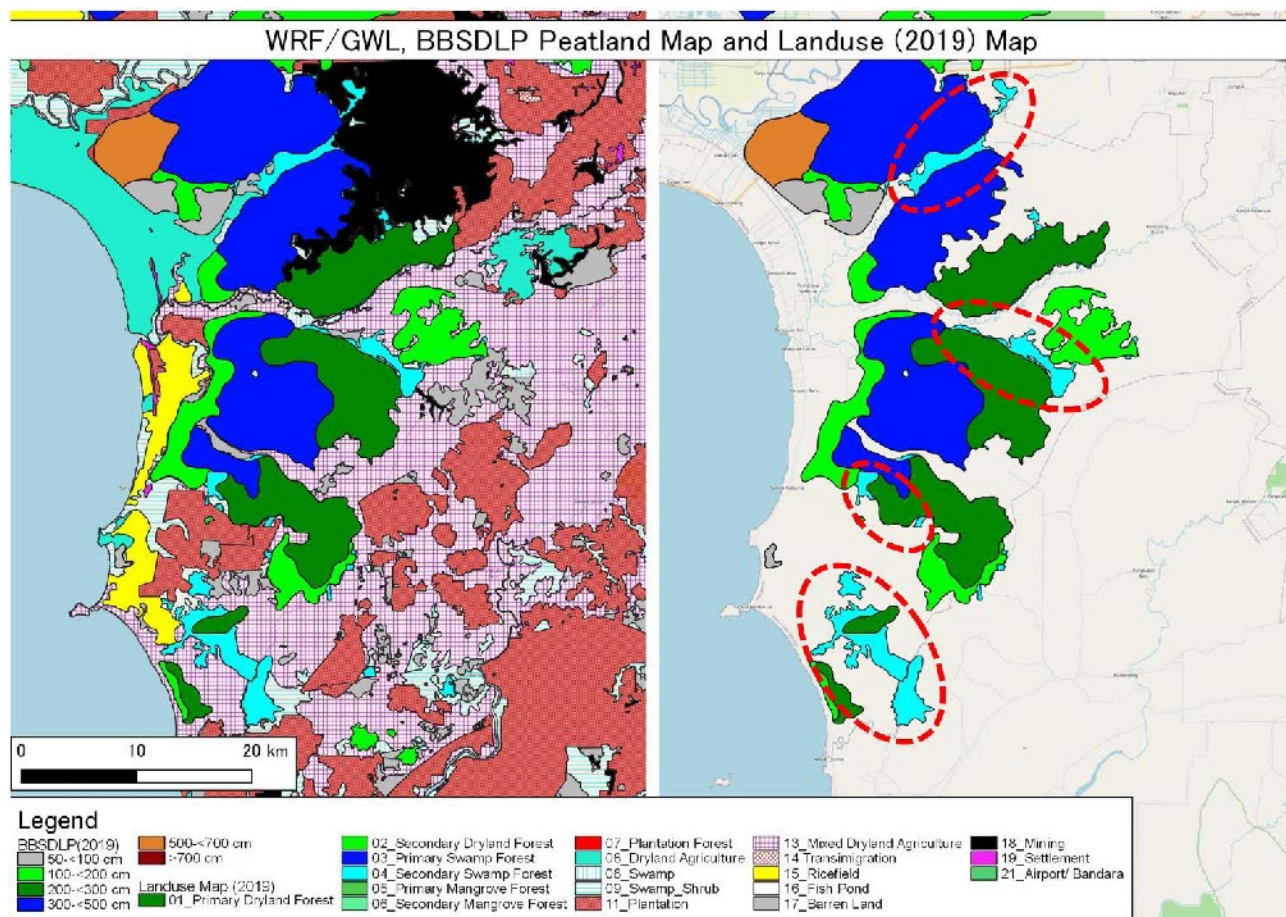
以上示した通り、土地被覆図(2019)の 04 Secondary Peatswamp Forest は、泥炭の分布とほぼ一致することから、泥炭地のボーダリングに有効である。そこで、土地被覆図(2019)と BBSDLP(2019)泥炭図を比較し、泥炭図にポリゴン（泥炭）が設定されず、04 Secondary Peatswamp Forest が存在する場所は、泥炭地ポテンシャルエリアとみなすことができる。従って、

土地被覆図(2019)から 04 Secondary Peatswamp Forest のポリゴンを抽出し、BBSDLP(2019)泥炭図に接合すれば、改訂版の BBSDLP(2019)泥炭図ができあがることになる(図 4.7.2.13 の赤点線部が新規泥炭ポテンシャルサイト)。



出典：調査団作成

図 4.7.2.12 西カリマンタン州における BBSDLP 泥炭図と土地被覆図(2019)から想定される泥炭ポテンシャル(K-1 から K-5 までがポテンシャル地区を示す)



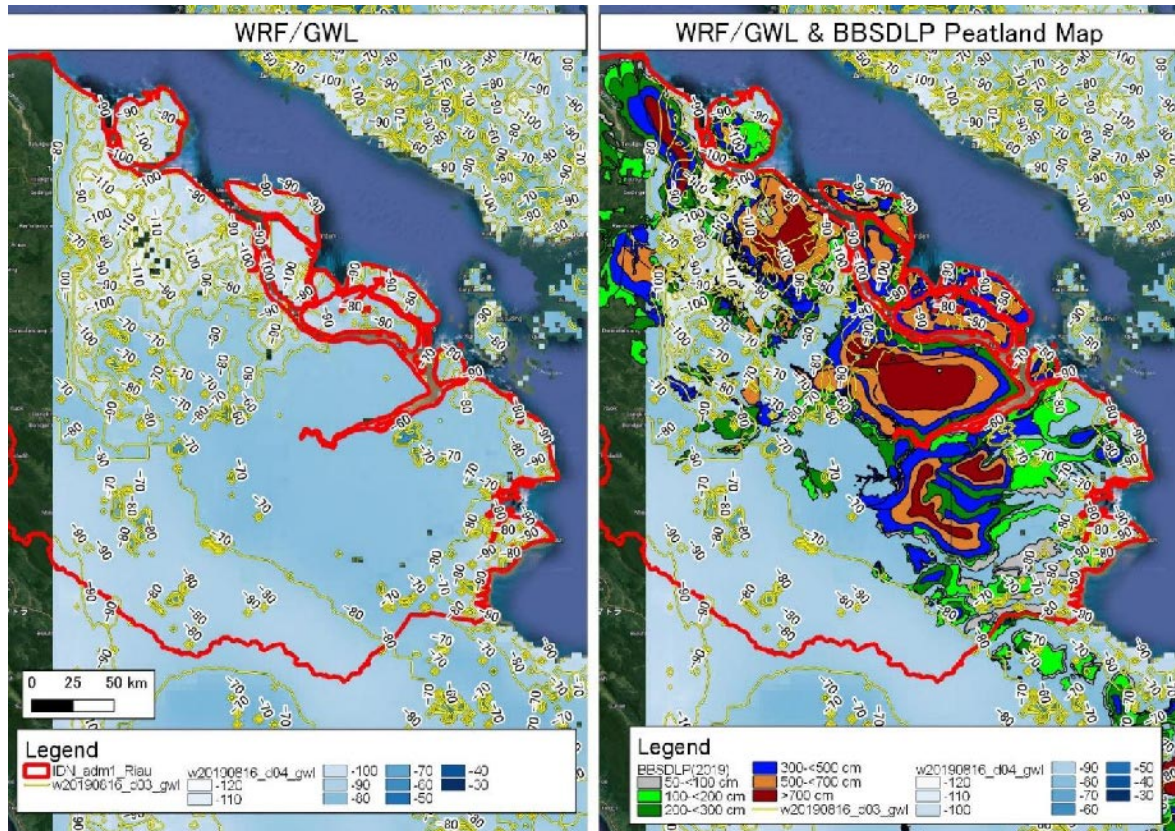
出典：調査団作成

図 4.7.2.13 西カリマンタンにおける地下水位等深度線（-75cm）、BBSDLP 泥炭図による泥炭マッピング結果

(6) 地下水位、BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図（2019）の比較（リアウ州）

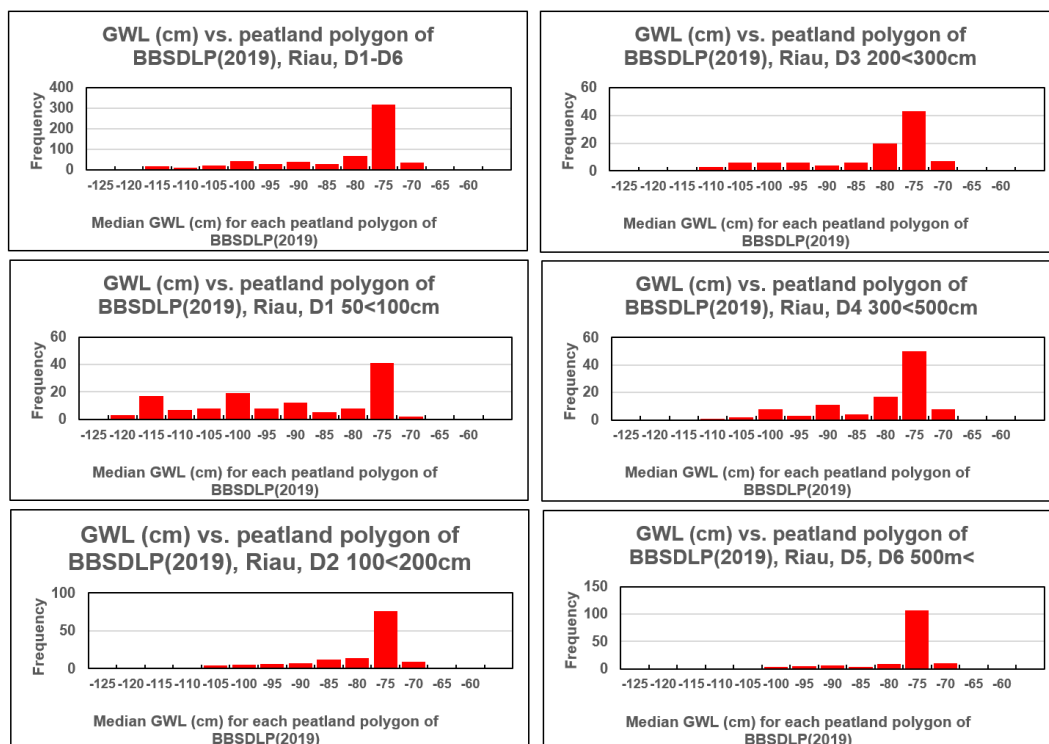
リアウ州の地下水位分布と BBSDLP の泥炭図を図 4.7.2.14 に示す。中央カリマンタン州、西カリマンタン州と比べて地下水位等深度線の密度に大きなばらつきが認められ、南東部の厚い泥炭が分布する場所では、ほぼ一定の等深度線（-70cm）が分布する。一方、北西部では泥炭地が存在するものの、地下水位は極めて深く、地下水位のみの情報から泥炭地のボーダリングを行うのは難しい。

図 4.7.2.15 に、リアウ州の BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの WRF 地下水位の頻度分布を示す。D1 から D5 のすべての厚さを見ると、いずれも地下水位は概ね-75cm に集中するが、泥炭の厚さごとに比較すると、D1 では、地下水位-120cm まで広い範囲に分布する。一方、D2 から D4 までは、下限は-110cm 程度まで幅広い範囲に分布するが、-75cm に大きなピークがあり、中央カリマンタン州、西カリマンタン州と同様、-80cm 程度の地下水位等深度線が泥炭地の境界線といえかもしれない。また、最も厚い泥炭 D5、D6 では地下水位のピークが-75cm に集中しており、中央カリマンタン州の傾向とは異なるものの、西カリマンタン州とは類似傾向にある。



出典：調査団作成

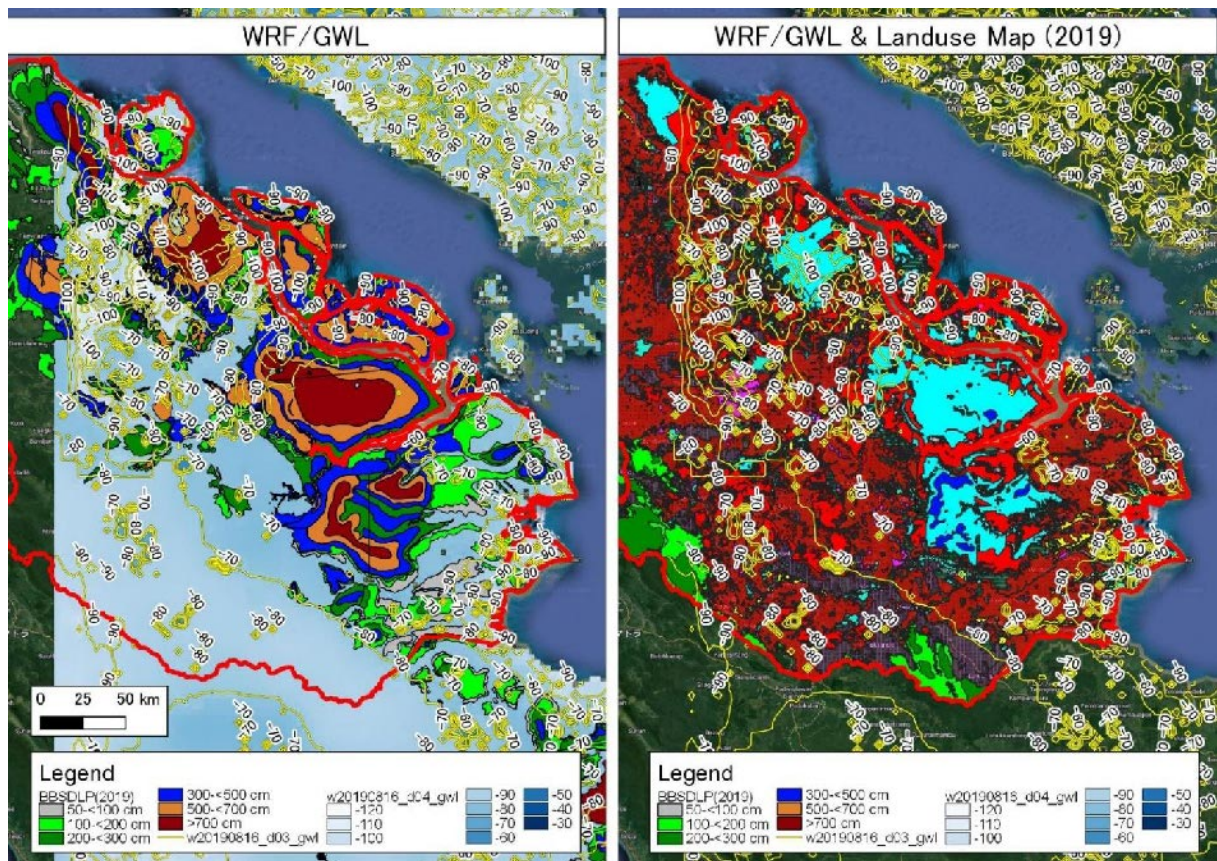
図 4.7.2.14 リアウ州の地下水位等深度線（10cm 単位）、BBSDLP 泥炭図



出典：調査団作成

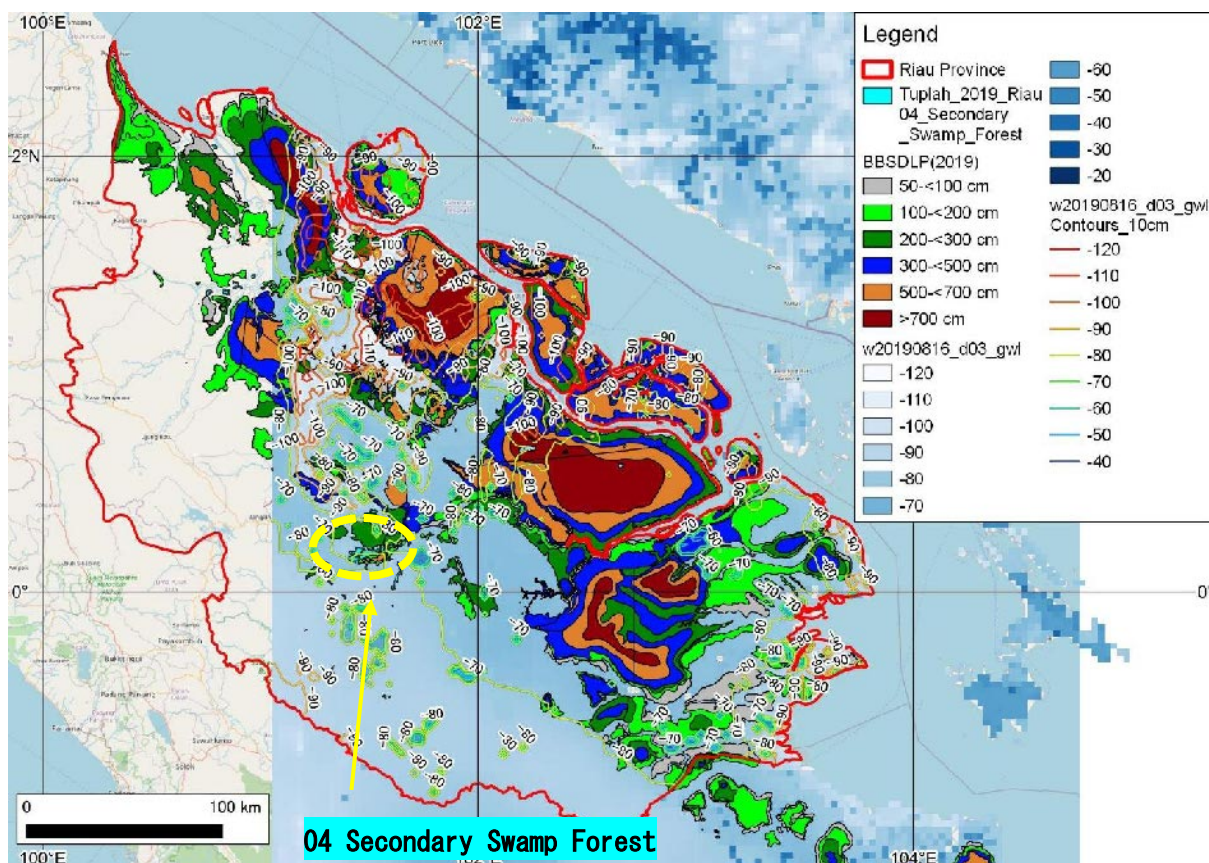
図 4.7.2.15 リアウ州 BBSDLP 泥炭図における泥炭の厚さごとの地下水位頻度分布（各泥炭図ポリゴンで 3km グリッド WRF 地下水位値を抽出した結果）

一方、土地被覆図（2019）を重ねると、泥炭地が存在する可能性が高い土地区分の 04 Secondary Swamp Forest は、中央カリマンタン州や西カリマンタン州と同様に泥炭図の分布とほぼ一致する（図 4.7.2.16）。ただし、中央カリマンタン州及び西カリマンタン州のように、泥炭図でマッピングされていない 04Secondary Swamp Forest はほとんど認められないため、泥炭ポテンシャルサイトのボーダリングをすることは難しいが、図 4.7.2.17 中央黄色点線内には、わずかに 04 Secondary Swamp Forest が分布する。



出典：調査団作成

図 4.7.2.16 リアウ州における地下水位等深度線（10cm 単位）、BBSDLP 泥炭図及び土地被覆図（2019）



出典：調査団作成

図 4.7.2.17 リアウ州における泥炭地ポテンシャルサイト（黄色点線内の水色部）

4.8 地下水位推定モデルの国際的な展開に係る残課題、今後の対応

今回の調査を通じて、地下水位推定モデルの開発・検討を行ってきたが、今回開発した地下水位推定モデルの国際的な展開に際し、以下に上げる課題が残っている。

- 開発した地下水位推定モデルをはじめとした一連のプログラムに関する論文化などを通じた公表
- 開発した地下水位推定モデルをはじめとした一連のプログラムの更なる改良
- 他機関による同様のプログラムと比較した場合の有効性の確認及び講評

上述した残課題に対する今後の対応（案）は以下の通りである。

(1) 開発した地下水位推定モデルをはじめとした一連のプログラムに関する論文化などを通じた公表

開発したプログラム等の内容につき、JICAによる協力を通じて作成したプログラムであるということを関係機関に周知させるため、また、プログラムの内容の所有権を確保するために、早期の論文化を行う。この論文化は、実際の解析を担当した再委託機関（京都大学、奈良大学）が実施する。

(2) 開発した地下水位推定モデルをはじめとした一連のプログラムの更なる改良

今回本事業を通じて再委託機関により開発を進めた各種モデル・プログラムだが、更なる改

良・解析を加えることで、よりよいモデル・プログラムになる。そのため、今後実施される予定の JICA 事業もしくは再委託機関（大学）の自主的な活動を通じて、よりよいプログラムになるよう改良を進めることが望まれる。

- GHG の放出のモデルを修正、改良のための HISUI の活用
- 泥炭地ボーダリングの広域化

(3) 他機関による同様のプログラムと比較した場合の有効性の確認及び公表

本事業を通じて開発された各種モデル・プログラムに関し、インドネシア内で他機関が公開している同様のプログラムとの比較ができていない。そのため、今後実施される予定の JICA 事業もしくは再委託機関（大学）の自主的な活動を通じて、よりよいプログラムになるよう改良を進めることが望まれる。

4.9 地下水位推定モデルの国家戦略・行動計画との関連性

インドネシアにおける既存の土壌水分マップなどには、政府規定 No. 71/2014、政府規定 No. 57/2016 などに基づき、環境林業省（MOEF）や泥炭地マングローブ回復庁（BRGM）などが、以下のようなマップを作成している。

表 4.9.1.1 インドネシアにおける既存の土壌水分マップ類

担当省庁	マップ名	URL
環境林業省（MOEF）	Soil Moisture Map	http://pkgppkl.menlhk.go.id/v0/en/
	Water Level Monitoring data (TMAT)	http://pkgppkl.menlhk.go.id/v0/corrective-action-tata-kelola-gambut/
泥炭地マングローブ回復庁（BRGM）	SIPALAGA (Sistem Air Air Lahan Gambut)	https://sipalaga.brg.go.id/
	PRIMS (Peatland Restoration Information and Management System)	https://en.primis.brg.go.id/

上記のうち、下記3つのシステムについて、その内容と課題等を下述する。

(1) Water Level Monitoring data (TMAT)

環境林業省は、水位雨量モニタリングデータベース（TMAT）を、コンセッション地域及び村落地域を対象に、開発した。特に、コミュニティベースの泥炭復旧活動を行うパイロット地域を対象としている。このデータベースは、泥炭地の水位モニタリングデータ（TMAT）の分析、再湿地化インフラの開発、植生回復モニタリングを通じて、泥炭地の回復の進捗状況に関する情報を提供するために開発された。

提供された情報は、主に、(1) 泥炭地の生態系における水管理の改善のためのガイドラインを策定するための基礎として使用される、(2) 泥炭地の生態系回復の実施における進捗状況のモニタリング、(3) 水収支バランスの提供、(4) 潜在的な森林及び泥炭地火災に対する早期警告に関する情報の提供、(5) コンプライアンス及び法執行のための情報の提供、並びに、(6) 泥炭地の生態系回復活動からの温室効果ガス排出削減量の算出に用いられる。

2020 年までに、このシステムは、全国で 10,857 か所の泥炭地の水位モニタリングデータをオンラインを通じて取得するとともに、861 か所の雨量計から雨量データを取得している。また、SiMATAG-0.4mは、TMAT データが地下 0.4m 以下になっていることを満たしているかどうかの情報

を提供する。この地下水位が 0.4m 以下にするという規定は、政府規定 71/2014 の第 23 条に規定されている。

また、SiMATAG-0.4m の機能は、衛星画像と統合されており、水位と植生回復データを土壤水分・土地被覆データと照合している。泥炭地の土壤水分が高くなる可能性については、SEPAL プラットフォームを通じた Sentinel-1 の C バンドを使用したリモセン技術を利用して特定している。しかし、マイクロ波の土壌への透過性は、波長によって異なると知られている。SiMATAG-0.4m が使用する Sentinel-1 は C バンドであるため、地表土壌水分量を正しく反映するのか疑わしい。

(2) SIPALAGA (Sistem Air Air Lahan Gambut)

泥炭復興庁 (BRG) は、泥炭土壌の水分、降雨レベル、気温・湿度、風向・風速を祖テク邸で切る水位モニタリングツール (TMA) から提供されるリアルタイムデータのモニタリングシステムである、泥炭地水モニタリングシステム (SIPALAGA) を開発した。2018 年 12 月時点で、BRG は泥炭復興優先州の 7 州において 142 カ所の TMA モニタリング装置を設置した。泥炭地での水位の測定は、森林や泥炭地の火災や温室効果ガスの排出を防ぐために重要であり、さらに、水位モニタリングは、泥炭地から地下水が流出するのを防ぐことに寄与する。泥炭地の地下水の減少は、水位減少、泥炭地面積の減少、CO₂ 排出量、火災及び干ばつなどの悪影響を及ぼすものである。

(3) Peatland Restoration Information and Management System (PRIMS)

インドネシアにおける泥炭のモニタリングシステムとしては、FAO などの協力の元、BRGM が開発したとされている泥炭地回復情報監視システム (PRIMS : Peatland Restoration Information and Monitoring System) がある。PRIMS は、インドネシアの泥炭地の状態と泥炭地回復活動の進捗状況に関する最新情報を提供する、空間データベースのオンラインプラットフォームである。

PRIMS は、泥炭地マングローブ回復庁 (BRGM)、地域泥炭修復チーム (Tim Restorasi Gambut Daerah, TRGD)、その他の中央及び地方政府機関によって実施された、インドネシアの 7 つの優先州に存在する 200 万 ha にのぼる泥炭地の保護及び回復活動の監視と報告をサポートしている。

PRIMS は、現在の泥炭地の状態を追跡し、修復活動とその影響の進捗状況を監視するために開発された。このプラットフォームに表示されるデータは、関連する省庁から提供された公式の公開情報を用いている。

BRG は、世界資源研究所 (WRI) インドネシア事務所、技術評価応用庁 (BPPT)、食糧農業機関 (FAO)、国連開発計画 (UNDP)、及び国連プロジェクトサービス機関 (UNOPS) などのパートナーと、このプラットフォームを開発した。境界、泥炭地、土地利用、回復活動、荒廃指標、水利指標のデータレイヤーが重なり、優先 7 州での泥炭の状況、回復状況などがオンラインで確認できる。

表 4.9.1.2 PRIMS で使用しているデータのレイヤー

レイヤー	指標	
境界 (Boundary)	州、県、郡、村	Boundaries of province, district, sub-district and village
泥炭 (Peatlands)	泥炭生態系機能	Peat ecosystem function
	泥炭	Peatlands
	泥炭深	Peat depths
	泥炭林	Peat forest cover
	泥炭水利ユニット内の活動	Intervention in Peat Hydrological Unit (PHU)

レイヤー	指標	
	泥炭内の水路	Canals in peatland
土地利用 (Land use)	マングローブ回復活動	Accelerated Mangrove Rehabilitation
	森林面積	Forest area
	森林・泥炭モラトリウム	Forest and peatland moratorium
	コンセッション	Concession area
回復 (Restoration)	参照図	Indicative map
	復興活動（インフラ）	Implemented Restoration Construction (SISFO)
	復興活動（非インフラ）	Implementation Restoration Non-Construction
	村落開発計画対象村	Peat Care Village
	研究プロット	Research plots
	泥炭復旧実施ユニット	Peat restoration implementing units
	復興パートナー	Restoration partners
荒廃要因 (Degradation indicators)	ホットスポット	Hot spots
	火災跡地	Burn scar area
	火災危険度システム	Fire Danger rating System (FDRS)
	泥炭モーション	Peat motion
	植生水分指標	Vegetation Moisture Index - gains and losses
水文 (Hydrology)	地下水位	Groundwater level
	土壌水分量、線形トレンド、年平均	Soil moisture - linear trend, yearly average
	回復影響研究	Restoratio impact research
	水文モデル（シナリオ、ベースライン、差分、泥炭湿地化施設）	Hydrological Modeling : baseline, difference and peat regetting infrastructure
	河川	Rivers

地表土壌水分の季節線形傾向のピクセルごとの特性は、PYSMM アルゴリズムを使用して Land Data Assimilation System (LDAS) から、2016 年から 2020 年まで 100m ピクセルにアップスケールされた Sentinel-1 C バンドレーダーデータから導出されている。

しかし、マイクロ波の土壌への透過性は、波長によって異なること知られている（図 4.9.1.1）。PRIMS が使用する Sentinel-1 は C バンドであるため、地表土壌水分量を正しく反映するのか疑わしい。

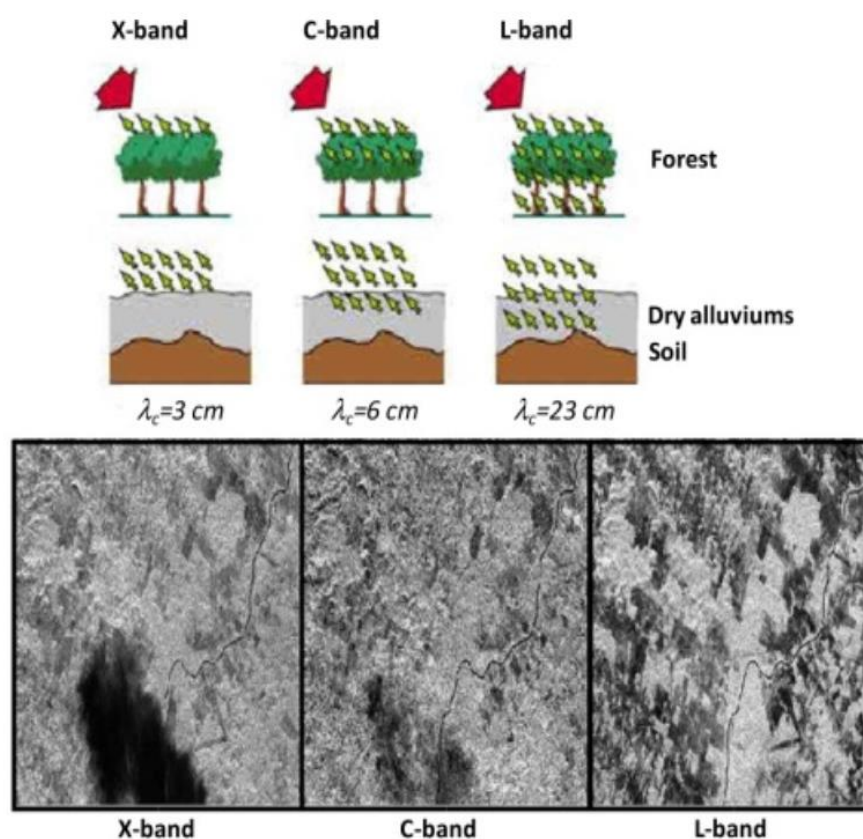


図 4.9.1.1 異なるマイクロ波の植生と土壌における透過性⁸³

4.10 地下水位推定モデルの社会実装に向けた提言及び実施体制（案）

コロナ禍でインドネシアへの渡航が危ぶまれる中、社会実装の方法について、継続して検討を行った。当初は国内再委託先及び日本人団員がインドネシアを訪問し、関係機関への説明、能力確認を行うとともに、開発するプログラムを現地関係機関（BRIN（LIPI、BPPT など）を想定）にインストールし、現地にて試行する予定であった。

しかし、日本人団員の渡航が困難な状況下、さらに、オミクロン株の蔓延により、インドネシア国内での規制が強化されるとともに、規制が不定期に変更されることから、現地への渡航をせずに実施する代替案を検討した。

2022 年 3 月以降、インドネシアへの渡航が可能となったことから、再委託機関の現地検証前後に、遠隔による試行的実装、また、再委託機関の現地検証時に対面での実施等、サーバー等の設置状況、データの移行状況等に応じて、臨機応変に実施することとした。具体的には以下のように実施した。

- BRIN 側で調達する予定の機材の調達が間に合わず、担当者の自宅でも利用できないことを想定して、日本から同等仕様のパソコンに WRF、統計ソフト（R）などをインストールし、現地に持参した（当該パソコンは、再委託先の予算にて購入済み）。

⁸³ 出典： <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/p-band>

- データ及びプログラムをクラウド経由などで、現地関係機関と共有し、オンラインでの説明を通じてインストールを行った。
- 今回は、以下に記すように、インドネシアの協力機関（BRIN）に設置したパソコンにインストールした WRF を作動させて土壌水分マッピングを行うこととした。
- 5 月 13 日に、WRF 等のインストール作業の仕上げ並びにデータ（ライブラリ）の整理を BRIN 担当者のオフィスで実施した。併せて、WRF のテストランを行った（図 4.10.1.1）。ライブラリ等の不具合から、WRF 自体は動作したものの、適当な結果が出なかった（図 4.10.1.2 の左）。そのため、現地検証から戻ってきてから、ライブラリの確認を行った。その結果、帰国後に改めてテストランを行うこととした
- ライブラリの確認後、6 月 15 日に、改めてオンラインにて WRF のテストランを行った（図 4.10.1.2 の右）。

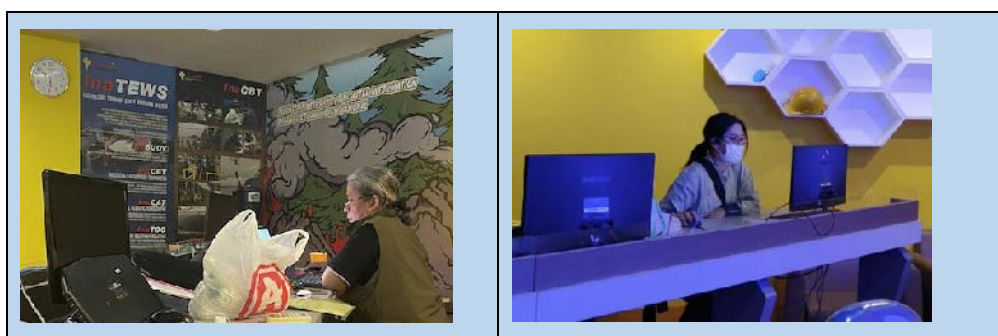
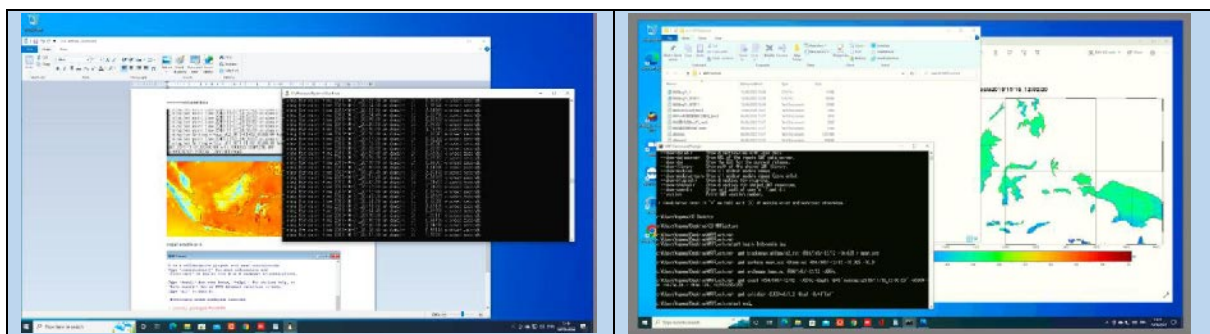


図 4.10.1.1 WRF のインストールに関する講習会の様子
(2022 年 5 月 13 日、BRIN 地球システム技術センター)

2022 年 5 月 13 日に実施した試行的実装においては、ZOOM を通じてインドネシアで活用するコンピュータを日本側と共有した。日本からは日本人解析者 2 名、インドネシアからは日本人解析者 1 名と BRIN の研究者が参加した。



注：左：2022 年 5 月 13 日に実施した際の状況。右：6 月 15 日に実施した際の状況。

図 4.10.1.2 インドネシア現地関係機関に設置したパソコン上での WRF のテストランの状況

プログラムの稼働には、相応のサーバー容量が必要であることから、インドネシア関係機関で活用できるサーバー等について、確認を行った。その結果、2022 年 2 月時点では、現地でインストールすることを想定している BPPT は、BRIN への組織改編のさなかであり、当初、BPPT にて調達を行った機材が使用できない状態であること、また、BPPT にて調達する予定であった機材が調達できない状況であることが判明した。その後、BPPT の BRIN への組織改編の結果を受けて、2022 年 5 月の現地検証・現地実装を行った時点での、プログラム・システムの試行的導入に使用

する機材は次表の通りに整理できる。

表 4.10.1.1. 現地実装に必要な機材一覧

ハード	スペック	目的	所属・調達状況	今回の対応
Computer A: Generator and Monitoring Computer	MSI Desktop MEG Trident X-1217 i7- 10700K, 32GB, 1TB+1TB SSD RTX2070S 16GB	Input: Raw Radar Bengkalis Application: Phytan レーダーや KBDI のリア ルタイム計算用	BRIN 他資金によ り調達済み	調達できても、計算用ソ フトや画像出力用ソフト のインストール等調整が 必要であり、すぐには使 用できない。そのため、 当面は京大 PC で代用す る。
Computer B: Tower Workstation	Thinkstation P340 Tower Workstation, Intel ® Xeon ® W- 1290P Processor, 32GB DDR4, 1TB SSD	Input: Raw NCEP Application: WRF WRF のオフライン計算 用	BRIN 他資金によ り調達済み	今回のオンラインでの試 行的実装では、WRF のオ フライン計算を実施し た。
サーバー (Storage/ Web サーバー/NAS)	My cloud 4×10TB	WRF 用 アーカイブ資料データ とリアルタイム計算結 果の格納（地下水位 マップ、土壌水分量 マップ、温室効果ガス マップ、KBDI、レー ダー雨量）	BRIN 調達済み。 （組織改変 後、オフィ スが確定次 第使える）	今回のオンラインでの試 行的実装では、京大サー バーもしくはレンタル サーバーを活用した。
サーバー (PC×1、Web サーバー)	PC: Mac mini M1, 8GB RAM, 256GB SSD KU server: Synology 720+, 4TB Rental server: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 v3 @ 2.30GHz, 32GB, 200GB 容量	KBDI、レーダー雨量、 リアルタイム計算結果 など	京大	今回のオンラインでの試 行的実装では、京大サー バーもしくはレンタル サーバーを活用した。

注: NAS: Network Attached Storage : ネットワーク対応ハードディスク

上述した地下水位推定モデルの簡易実装の経験を受け、今後のインドネシアへの社会実装に向けた提言及び実施体制（案）は以下のように考えられる。

- 機材：容量の大きいデータを扱うこと、解析に相当のスペックが必要なソフトを使用することから、それに相当する機材が設置される必要がある。
- データ：データはオンラインで共有が可能であるが、一般公開されているデータ以外は、他に漏洩が無いようにセキュリティに十分注意する必要がある。
- データ：また、BRG の観測データ、潮汐データ、泥炭地ボーダリングのデータなどは、オンラインで入手が可能であるが、実際の現地の地下水位状況、立地条件（植生、土壌など）、ドローンでの撮影など、現地調査を併用することが重要である。
- 今回試行的実装を実施した BRIN は、インドネシアでの総合的な科学研究機関である。そのため、この BRIN を中心的な機関として位置づけ、データの供給源として BRG や他の機関が協力する体制が妥当と思われる。

また、2023 年 2 月 1 日に、今回試行的実装を実施した BRIN の研究者に対して、本調査で開発したモデル・プログラムの全体について、オンラインにて説明を行った。

第5章 泥炭地管理・保全事業形成対象候補地域の特定及び事業ニーズの確認

5.1 候補地選定プロセス及び理由

5.1.1 熱帯泥炭地管理に係るこれまでの JICA 事業

JICA は 2008 年から 2013 年に、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」を、世界の熱帯泥炭面積の半分以上を占めるインドネシア・中央カリマンタン州で実施した。本研究は、熱帯泥炭地の包括的管理、炭素の放出抑制や炭素管理を目的とするシステムを構築し、地上と衛星の双方のデータを融合することで泥炭地からの炭素放出量を正確に把握する世界で唯一の MRV システムを提案した。この MRV システムでは、泥炭地の炭素動態を包括的に把握するため、8 つのモニタリングターゲットを選定し、地上計測や衛星データを活用した CO₂ 放出量の定量化等に関わる技術開発が行われた（図 5.1.1.1）。

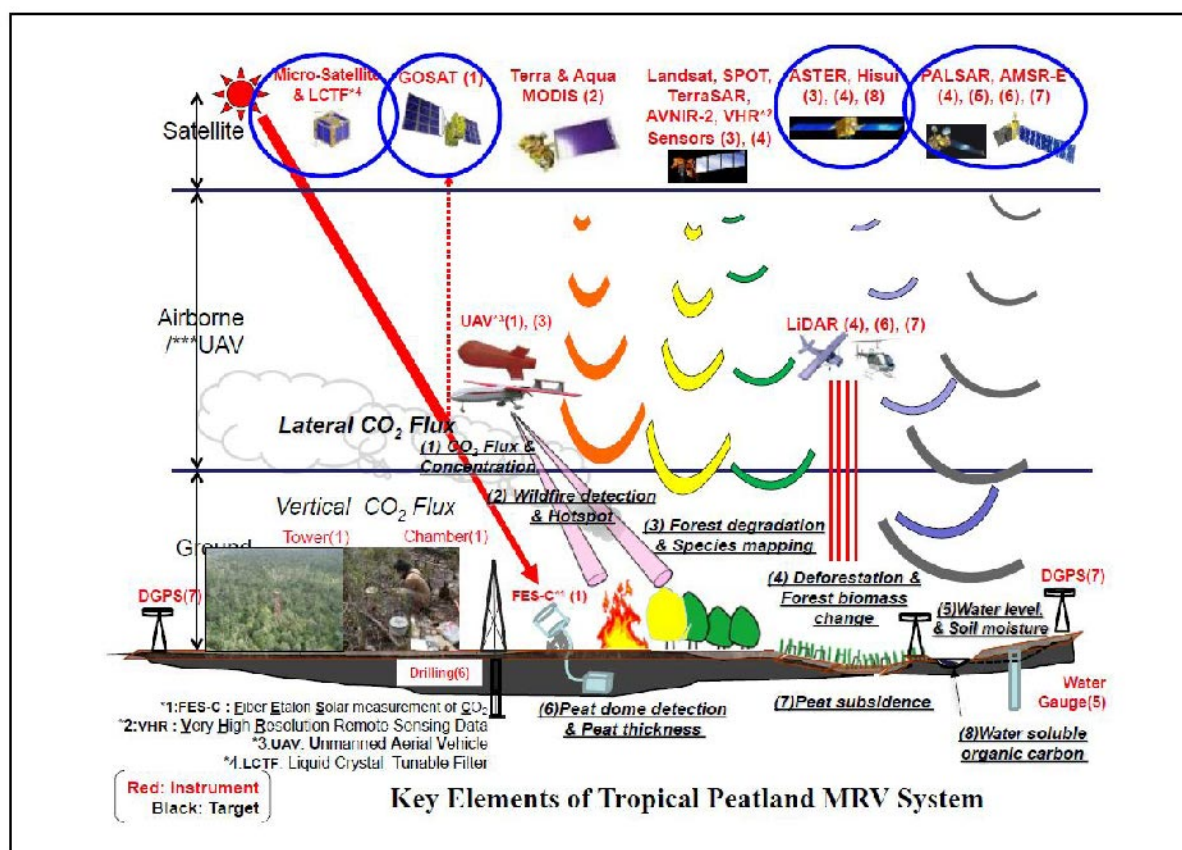


図 5.1.1.1 JICA-JST/SATREPS「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」プロジェクトにおける熱帯泥炭管理のための MRV システム⁸⁴

CO₂ 放出量については、攪乱程度の異なる 3 種類の生態系（未排水の熱帯泥炭湿地林（UF）、排水された熱帯泥炭湿地林（DF）、排水後に焼失した森林跡地（DB））において、生態系と大気と

⁸⁴ https://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2004_final.pdf

の間の CO_2 交換量（フラックス）及び蒸発散量の連続観測データや気象、土壌、地下水位などの環境データの蓄積が進められ、1) 未排水の湿地林（UF）においても正味で CO_2 の排出源となっていること、2) CO_2 排出量は環境攪乱が進むにしたがって大きくなること（4 年間（2004～2008 年）の平均で DB ($4.99 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) $>$ DF ($3.28 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) $>$ UF ($1.72 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)), 3) エルニーニョ年には CO_2 排出量が大きくなること、などを世界で初めて実証した（図 5.1.1.2）。

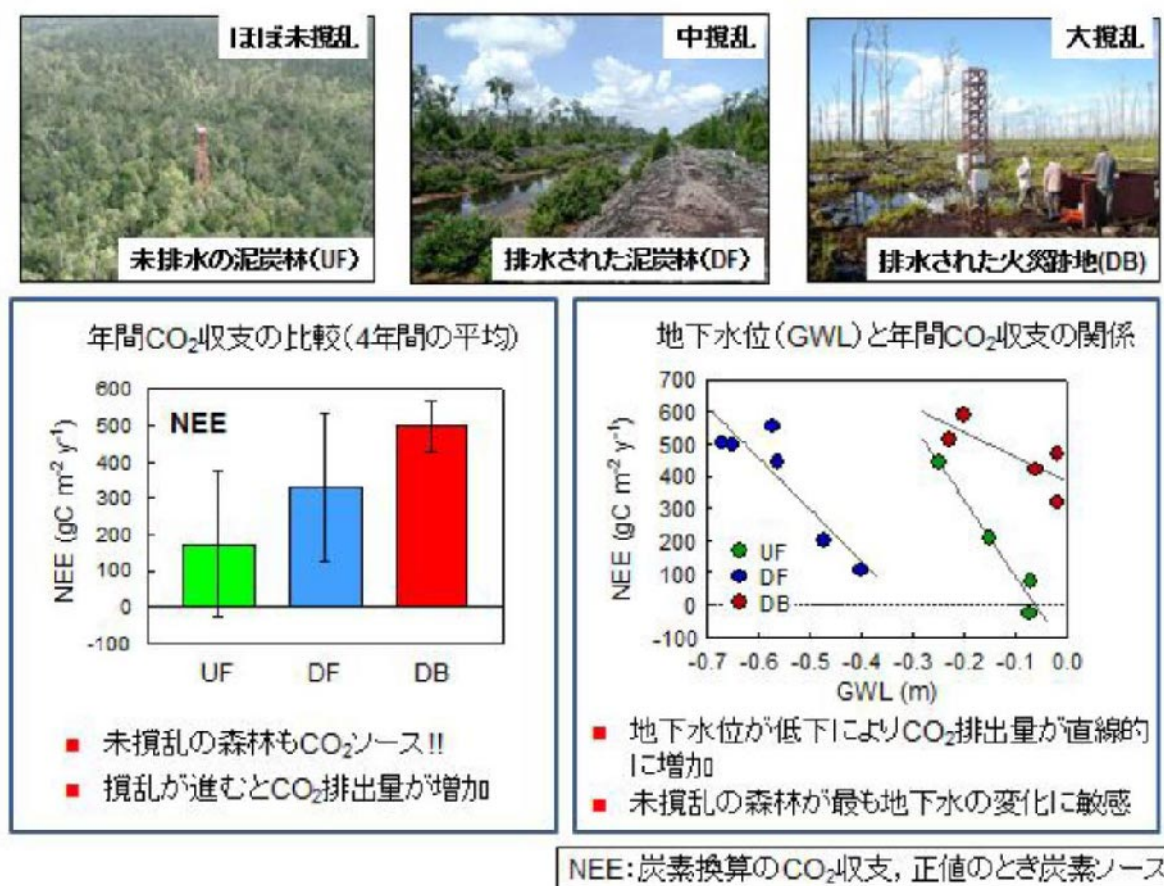


図 5.1.1.2 年間 CO_2 収支の比較、地下水位（GWL）と年間 CO_2 収支の関係⁸⁵

上記システムと類似する泥炭管理システムについては、現在も住友林業㈱が西カリマンタンの泥炭地で運用中である。住友林業㈱のモニタリングシステムでは、 CO_2 放出量は上記と同様に渦相関法にて計測しているが、地下水位や気象データについては、完全遠隔操作が可能な「sPOTELKA」を使用している（図 5.1.1.3）。住友林業㈱は、15 万ヘクタールの泥炭地の管理を行っており、sPOTELKA では、その内約 4000 ヘクタールの範囲を対象に、 CO_2 フラックス、気象データや地下水位を観測している。取得されたデータは衛星通信を使って転送が行われ、地下水位が常に一定レベルとなるよう管理されている。一方、このようなインドネシアを対象とした泥炭地管理システムは、泥炭地の形成過程が異なるコンゴ盆地に適用することは難しいと考えられるが、コンゴ盆地ではこれまでに Flux タワーや気象観測計を活用した CO_2 放出のモデルは構築されていない。しかし、地球規模でカーボンニュートラルの議論が行われている中、膨大な炭素（30.6 ギガトン）が蓄積されているコンゴ盆地の CO_2 放出メカニズムを明らかにすることは、今

⁸⁵ https://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h2004_final.pdf

後益々重要となる。

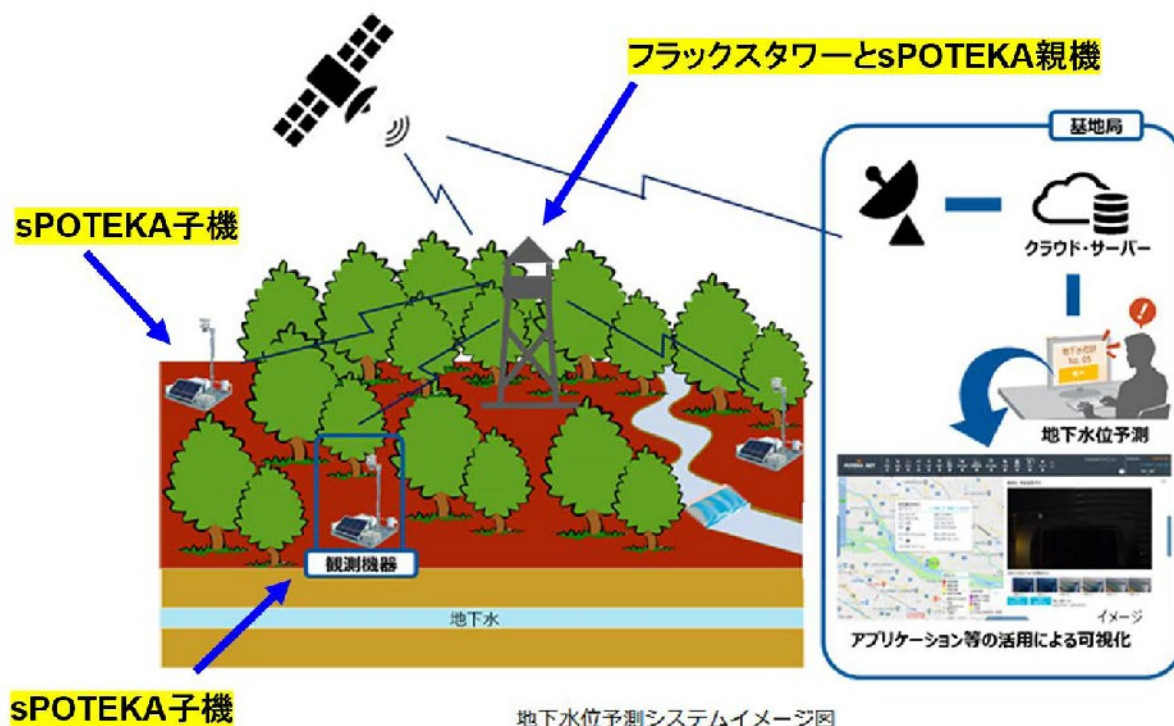


図 5.1.1.3 住友林業㈱による Flux タワーと気象観測機器（sPOTEKA）の運用事例⁸⁶

5.1.2 コンゴ盆地における泥炭地管理・保全事業の調査候補地

(1) コンゴ民赤道州

コンゴ盆地では、これまでに英国研究者らによって、コンゴ共において泥炭調査が行われているが、コンゴ民での調査は殆ど行われていない。CO₂ 放出メカニズムを明らかにするための既存情報（土地被覆図、地形図等）が殆ど存在しないが、赤道州 Mbandaka 近郊の Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地には、Greifswald Mire Centre (GMC) が作成した土地被覆図が存在する（図 5.1.2.1）。

⁸⁶ https://www.ihl.co.jp/ihl/all_news/2021/aeroengine_space_defense/1197434_3351.html

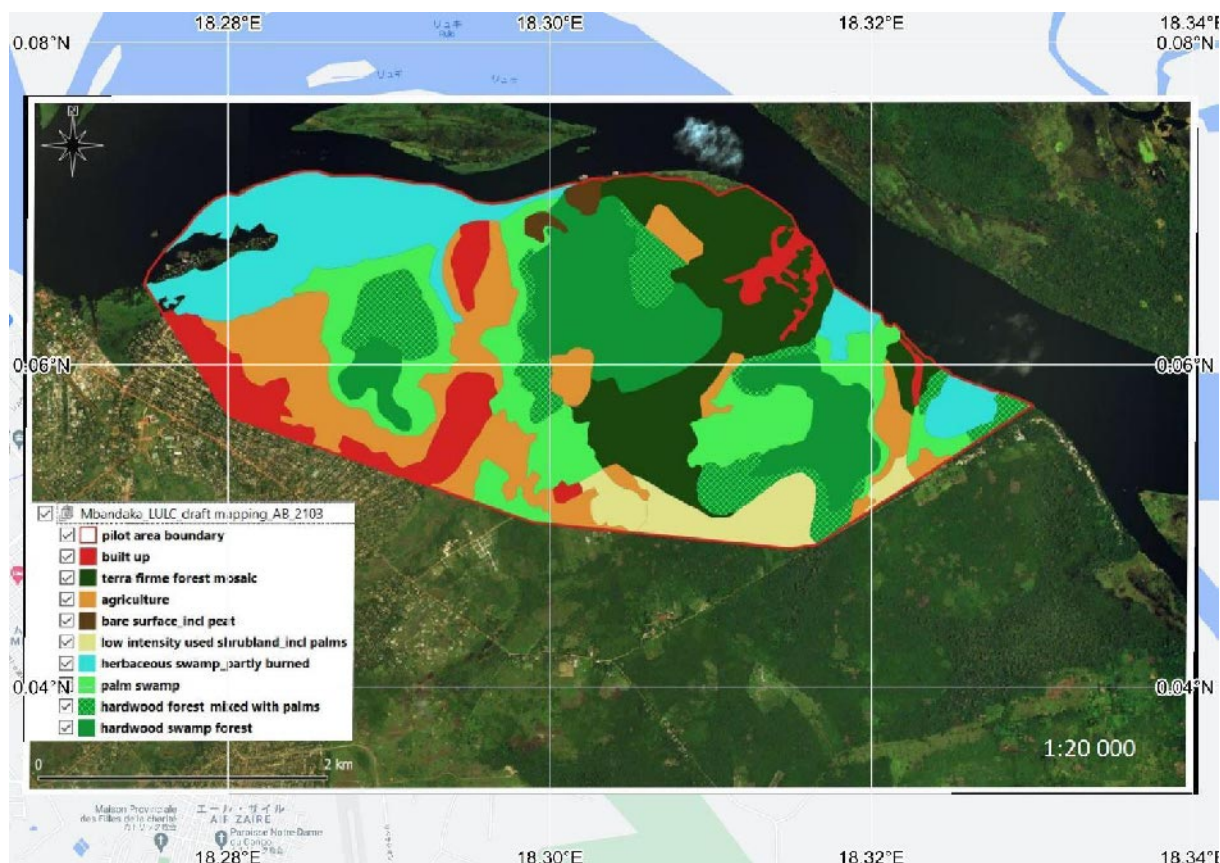


図 5.1.2.1 赤道州 Mbandaka 近郊 Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地土地被覆図

Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地は、コンゴ盆地のほぼ中央に位置し、東西 5km、南北 3km 程度の範囲に広がる泥炭地である（図 5.1.2.2）。GMC の土地被覆図は 9 種類に分類され、その内、泥炭地は以下の 3 種類の植生に分かれる。泥炭地植生はほぼ中央に位置し、Hardwood の周辺を Palm が囲むように分布する。

- i. Palm swamp
- ii. Hardwood forest, mixed with palms
- iii. Hardwood swamp forest

Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地は、Mbandaka の東方約 2km に位置し、泥炭地へのアクセスが極めて良い。また、GMC による土地被覆図が利用可能なため、気象計測機器や地下水位計測機器の設置場所を検討することが、他の場所に比べると容易である。さらに、都市部へのアクセスが容易であるため、機器の故障などに迅速に対応できるメリットがある。仮に、Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地を含む 10km 四方の泥炭地をモニタリングする場合、CO₂ 計測機器と s POTEKA 親機を設置できる泥炭地は、南方約 10km 圏内に存在する。候補となる泥炭地の Sentinel-2 画像には、攪乱された形跡は認められず、今後、泥炭地管理・保全事業のための調査地として適当であると考えられる。

なお、コンゴ盆地の泥炭地から東方約 600km の Yangambi では、2020 年から CO₂ フラックスが計測されている。ただし、泥炭地ではないため、熱帯林のみの CO₂ 放出量が計測されている。

(2) 赤道州以外

一方、Mbandaka 近郊 Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地以外には、既存情報が入手できないこと、調査地までのアクセスが悪いことから、泥炭地管理・保全事業のための候補地としては適

さないと考えられる。

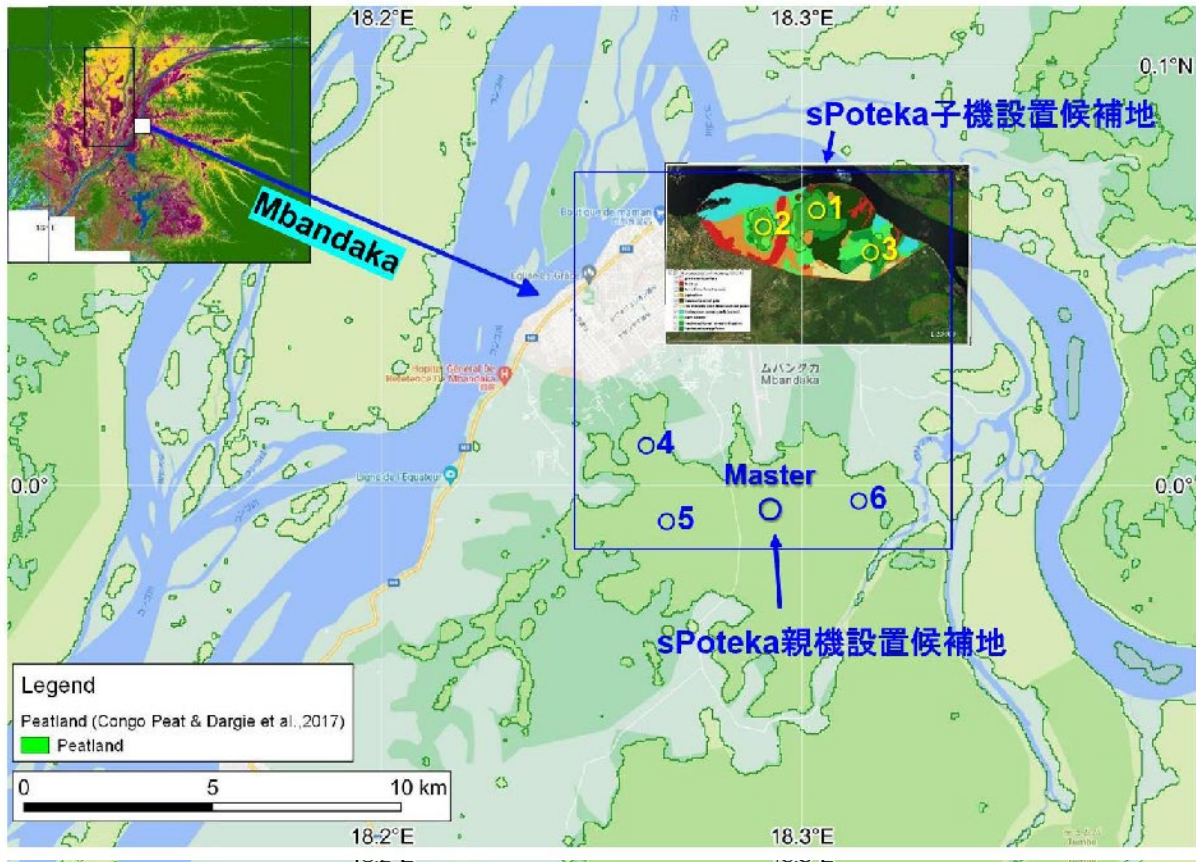


図 5.1.2.2 赤道州 Mbandaka 近郊 Jardin Botanique d' EALA 泥炭湿地位置図

Equateur 州 Mbandaka 以外で検討する場合、キンシャサからのアクセスと、泥炭地の分布を考慮すれば、MaiNdombe 州となる。図 5.1.2.3 の通り、CongoPeat によれば、MaiNdombe 州の泥炭地は、中央から北部にかけた範囲に広がる。基礎調査によって、Nioki 南東部において泥炭地を確認しているが、その分布は限られているため、Flux タワーの建設地としては適さない。一方、図 5.1.2.3 の A～C の場所では、泥炭地がまとまって存在するため、Flux タワーの候補地として適している。

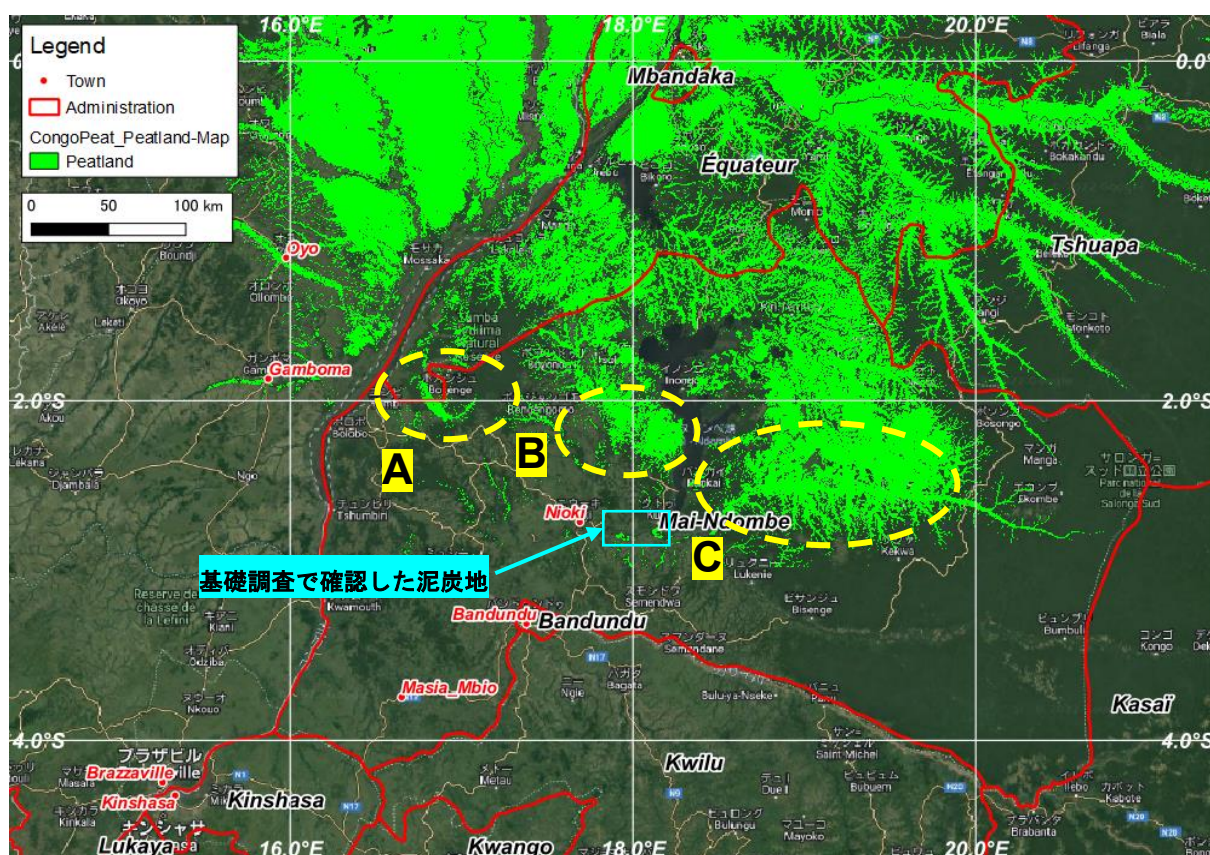


図 5.1.2.3 コンゴ民 Mai Ndombe 州、Equateur 州、Tshuapa 州付近の泥炭地

5.2 候補地と国家戦略・行動計画との関連性

コンゴ民における本件の展開に際しては、先方政府への丁寧な説明と巻き込みを図ることで成果品となる地図や地上データを高度に利活用してもらうことに留意した。このことは他ドナーが行った過去の支援に関連し、政府機関への説明不足から最終成果の利用が進んでいないという経験を踏まえた措置である。この活動にはコンゴ民政府環境省に環境政策アドバイザーとして派遣されている大仲専門家の支援をいただき、環境省次官や泥炭コーディネーターへのインプットを随時行った。

このような経緯からコンゴ民政府は泥炭分野に係る日本側の支援に大きな期待を寄せ、その結果環境省次官から JICA コンゴ民事務所長宛てに今後の泥炭分野支援に係る要請レターが発出された(2021 年 8 月 3 日付け)。

本業務における泥炭地管理・保全事業形成対象候補地域の特定及び事業ニーズの確認作業については、上記の動向に注視しつつ更なる議論を続け、明確化を図る。

5.3 候補地における諸条件及び候補事業

5.3.1 候補事業（案）及びポテンシャル分析

環境省次官から JICA コンゴ民事務所長宛てに今後の泥炭分野支援に係る要請レター(2021 年 8 月 3 日付け)に関連して、パイロット的に泥炭地で Flux タワー、気象・地下水観測機器等を設置

することを含む日本の無償資金協力(デジタル無償)要請の準備が始まり、JICA コンゴ民事務所でも泥炭地に関する技術協力の要望調査を行うことの検討が始まった。本技術協力の実現については2023年現在検討中というステータスになるものの、必要な戦略について以下の通り提言する

(1) 事業戦略

同調査の第3回支援委員会での検討も踏まえ、将来、コンゴ盆地の泥炭地保全管理へ民間資金が投入される環境条件の整備も目指し、コンゴ盆地の泥炭地マッピングと泥炭地からのGHG排出のモニタリング制度構築と泥炭コンポーネントがコンゴ両国のNDC達成へ貢献する政策展開を支援する。

コンゴ盆地の泥炭地保全管理協力戦略(案)

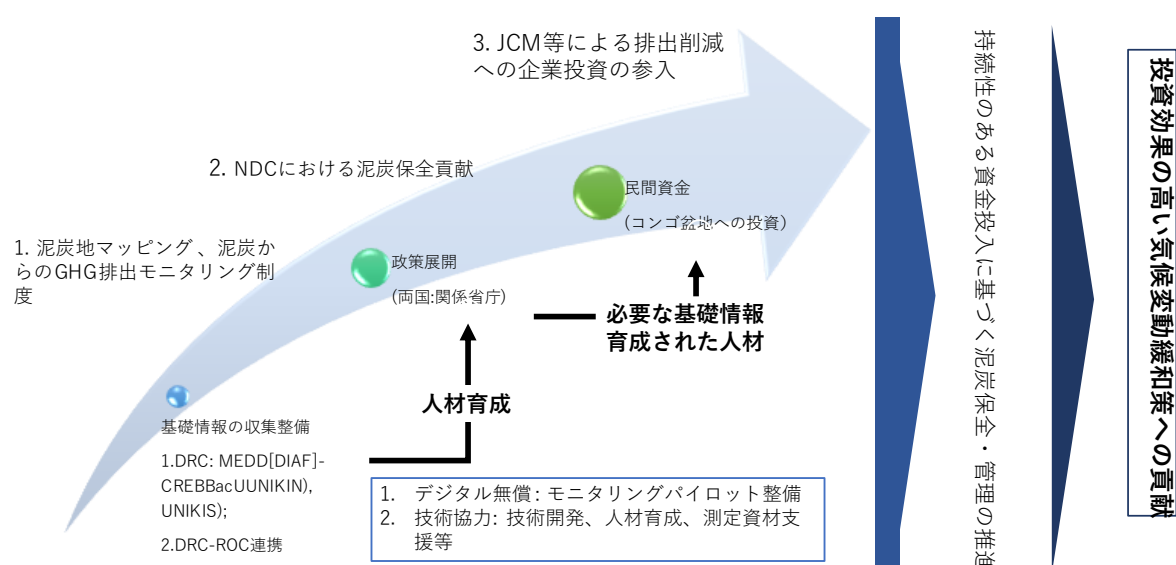


図 5.3.1.1 コンゴ盆地の泥炭協力戦略(案)

(2) 実施体制

コンゴ民の環境省(MEDD)のDDDとDIAFが中心となるが、キンシャサ大学のコンゴ盆地水資源研究所(CRRREBaC)やキサンガニ大学の泥炭研究者チームと技術委員会を構築した協力体制を検討する。また、コンゴ共ともコンゴ盆地の泥炭協力に係る技術委員会を構築して協力体制を検討する。

5.3.2 泥炭由来の温室効果ガス排出削減量推定方法論の検討状況

具体的な検討はまだ始まっていない。

5.3.3 地下水位推定モデル適用にかかる留意点

泥炭地の地下水位の実測データがほとんどないことから、観測地点を増設する支援も必要にあると想定される。

5.4 外部資金を活用した泥炭地管理・保全事業の方向性（案）

JICA は CAFI より LOI1 によるクウィル州での統合 REDD+(PIREDD) プログラム実施を受託している。2022 年 5 月 CAFI の LOI2 によるコンゴ民での開始が公表され、現在、関心表明の募集中である。LOI2 では泥炭地プログラムも検討されており、キンシャサなど大都市圏への物流供給圏を核とした広域化も目指している。CAFI 資金を活用した泥炭地管理・保全事業の方向性の検討にあたっては、こうした LOI2 に関する他ドナーの動きに留意することが重要である。

第6章 泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針に係る提言

6.1 国際社会のアジェンダと泥炭地の位置づけ

ここで、改めて、泥炭地保全・管理に係る今後の協力方針の提言に際して、国際社会で議論されているアジェンダと泥炭地の位置づけについて概観する。

■ 国連環境計画における議論

国連環境計画（UNEP）は第4回国連環境総会を2019年3月ナイロビにて開催したが、その際に16の決議文書を採択し、4番目の決議として「Conservation and sustainable management of peatlands」が明記されている。この決議文書のうち、着目すべきパラグラフとして以下の点を挙げる⁸⁷。

「泥炭地の利益と価値についていえば、洪水や干ばつの規模を縮小し影響を緩和する、生物多様性を保全する、生態系システムを維持し人間の生活を向上させる食料と水を供給する、重要な生態系機能とサービスの提供が含まれており、これを十分に認識する。また、劣化した土地における炭素貯蔵能力の向上、回復力の強化、泥炭地周辺の住民の社会経済的生活の改善、生物多様性の増加のために泥炭地の管理を改善することの価値を認識し、そのような行動が気候変動に関する国連枠組条約及びその下のパリ協定の実施に貢献できることに留意する。特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約（ラムサール条約）、生物多様性条約とその生物多様性戦略計画2011-2020及び愛知生物多様性目標、2030アジェンダの実施に貢献できることに留意する。」

具体的に気候変動緩和機能を見ると、劣化した泥炭地は、序論1-1でも言及したとおり、現在の人為的なGHG排出量の5%を占めていると考えられるため、再湿潤化や復元による排出量削減は、かなりの排出量削減につながると考えられる。特に、北欧や亜寒帯地域では、泥炭地の大半が手付かずのまま残っているため、将来の開発から保護することも重要な泥炭地管理経路の一つとして考えられる。最新の研究⁸⁸によると、泥炭地の自然を利用した気候変動対策は、2030年には世界で1.1～2.6Gt CO₂e/年になる可能性があるとされている。

また、洪水調整機能について言えば、丘陵地からの水の流出を遅らせることによって水の調節に影響を与え、気候変動の影響による降雨量の増加に伴う洪水のピークを軽減することができる⁸⁹。さらに、泥炭地の貯水能力は、干ばつ時のベースフローを維持するのに役立ち、泥炭地を良好な状態に復元し、種の多様性を維持することで、泥炭地の野生生物は気候変動にうまく適応できるようになり、損傷した泥炭地よりも種の豊富さや分布に変化が生じる可能性が高くなるといわれている。

つまり、泥炭地は単なる温室効果ガス貯留の場としてだけでなく、生物多様性や防災機能、さらにCOP26サイドイベントでも取り上げられた食料・水の供給⁹⁰など様々な役割を果たしており、コベネフィット型のランドスケープであると言える。

更に重要な点として、本決議文書には、泥炭地の正確なインベントリーの必要性についても述べられている。

「国連環境計画事務局長に対し、既存の資源の範囲内で、ラムサール条約事務局と協議しながら

⁸⁷ 以下、決議文書は調査団翻訳

⁸⁸ Maria Strack, Scott J. Davidson, Takashi Hirano & Christian Dunn, 2022

⁸⁹ Gao & Holden, 2016

⁹⁰ <https://www.unep.org/news-and-stories/story/peatlands-spotlight-cop26>

ら、世界の泥炭地の包括的かつ正確なインベントリーを作成するための努力するよう要請する。このインベントリーは、世界の泥炭地の範囲の特定、適切な介入の決定、炭素貯留の価値と可能性の理解、持続可能な泥炭地管理の計画の基礎として重要である。」

この決議文書から、国際社会が泥炭地管理について何等かのアクション（介入）を行う際に、可能な限り正確なインベントリーデータも必要不可欠であることを意味しており、研究分野からの取り組みの重要性が示唆された。

上記に述べたように、泥炭地は様々な生態系サービスを提供するコベネフィット型のランドスケープと解されるが、同時に自然に根差した社会課題の解決策(Nature-based Solution:NbS)としても理解することができる。

NbSとは、「自然または改変された生態系の保護、管理、回復のための行動であり、そのことが社会的課題に順応的かつ効果的に取り組み、人間の福利と生物多様性に利益をもたらす」(IUCN 2016)と定義されている。先に述べたように泥炭地という生態系の保護、管理は気候変動緩和機能や洪水調整機能、食料供給機能など社会的課題に資する活動そのものである。このような認識のもと、2022年ナイロビで開催された第5回国連環境総会ではNbSの重要性や各国による活動促進などが決議された。

5番目の決議文書には「生物多様性の損失、汚染、気候変動、砂漠化、土地の劣化と、それらが健康を含む人間の福利と相互に依存していることを認識し、すべての生態系の完全性を確保することの重要性を認識すること」が明記されており、泥炭地保全を含めた生態系の保全が欠かせないことが強く認識されていることが伺える。

加えて本件業務に関わるステートメントとして「自然を基盤とした解決策は、複数の便益を達成するために状況に応じて計画され、利用可能な最善の科学に従って適用された場合、効率的かつ効果的である」という点が注目される。第4回国連環境総会で決議された「インベントリーデータの必要」と連動し、NbSの文脈においても科学的な根拠や方法論などがあってこそNbS(泥炭地管理を含む)促進計画が効率的かつ効果的に実施されることが明示された。

■ 国連気候変動枠組条約における議論

2021年11月グラスゴーにて開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26)では、1.5度目標にむけた早急な対応策が必要であるとの認識のもと、温室効果ガス削減効果が高い「メタンの排出削減」に注目が集まった。メタンは温暖化係数が100年間ではCO₂の28倍、20年間では約84倍と影響が大きいことで知られ、現状の大気中のメタンは地球の温暖化に及ぼす影響の23%分を担うとされる。温暖化係数がCO₂より高い一方で、大気中の残存期間は約10年とCO₂よりも短いため、早期の対策をとれば温暖化の進行を抑制する効果が期待されている。

このような背景のもとCOP26に向けて米国及びEU欧州委員会の共同提案としてグローバルメタンプレッジ(GMP)が表明された⁹¹。これは2030年までに2020年比でメタンを30%以上削減することを約束するものであり、この目標を達成すれば2040年までの温暖化を0.3度分低くできるという。排出が特に多いロシアと中国、インドは、この目標に参加しなかったものの、2021年11月時点で100か国以上の賛同が得られている。

30%削減のセクター別内訳は示されていないが、土地セクターのなかで泥炭地からのメタン排出削減は重要な取り組みであることは温室効果ガス削減効果の面からも明らかである。

⁹¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_21_5206

■ 生物多様性条約第 15 回締約国会議（CBD-COP15）における議論

2022 年 12 月にカナダのモントリオールで開催された上記 CBD-COP15 では、2020 年までの世界目標であった「愛知目標」に代わる「ポスト 2020 生物多様性枠組」の策定が主な議題として取り扱われた。

その結果、「昆明－モントリオール生物多様性世界枠組」が採択され、2050 年ビジョンに向けた 2030 年ミッション、更には具体的な 23 の目標を定めた 2030 年ターゲットが示された。2030 年ミッションとは、「生物多様性の保全と持続可能な利用、及び遺伝資源の利用から得られる利益の公正かつ衡平な配分を確保することにより、人と地球の利益のために自然を回復軌道に乗せる。そのために生物多様性の損失を止め、逆転させる緊急行動を起こすとともに、必要な実行手段を提供する」と決議されている。

23 の具体的な目標のうち、ターゲット 11「生態系調整機能・サービスを、自然または生態系ベースのアプローチにより維持、回復、強化」が最も泥炭地に関係する決議である。

そこには「すべての人と自然の利益のために、自然ベースの解決策や生態系ベースのアプローチを通じて大気・水・気候の調節、土壌の健全性、受粉、疾病リスクの低減などの生態系機能や自然災害からの保護などを含む自然が人間にもたらす貢献を回復、維持、向上させる。」と示されており、NbS を通じた取り組みを行うことを目標として掲げている。

また、ターゲット 15 では「特に大企業や多国籍企業、金融機関がリスク、依存、影響定期的に監視、評価、開示」することが目標とされており、具体的には「(a) 生物多様性へのリスク、依存、影響を定期的に監視し、評価し、透明性をもって開示すること、(b) 持続可能な消費パターンを促進するために消費者に必要な情報を提供すること、(c) アクセスと利益配分の規制と措置の遵守について、該当する場合は報告すること」が明記されている。このことは、民間企業の活動を展開する際に自然資源へのリスクや影響に留意しなければならないことを明示している。

■ その他の国際機関の動向（FAO と GPI）

泥炭地については様々な国際機関や研究機関が活動を展開しているが、ここでは特に FAO と GPI について触れる。

FAO は本調査と同じ 3 つの地域（南米、アジア、アフリカ）における熱帯泥炭地でのプロジェクトを行っているが、1) 知見の共有と能力開発、2) 国家計画や報告への泥炭地の統合などの政策やガバナンス、3) 地域、国、現場レベルでの技術サポートの 3 つの柱で支援活動を行っている。とくに技術サポートでは技術支援には、マッピングやモニタリング、既存の枠組みや制度にこれらの活動を統合することなどが含まれている。

特に 2020 年に発行された⁹² “Peatland mapping and monitoring- Recommendations and technical overview-”では、泥炭地のマッピング及びモニタリングの方法論が解説されている。さらに今後の提言の章では、地下水位の推定、信頼できる土壌湿性の特定、温室効果ガスの排出量推定の 3 つが課題として挙げられているが、本件業務はこれらの 3 つの課題に直接貢献したものである。

次に GPI の動向について概観する。GPI は 52 の国際援助機関や大学、NGO などの協賛を得て UNDP の傘下に設立され、泥炭地管理・保全等の活動を展開するイニシアティブである。

FAO と同じく 3 つの地域での活動を主としているが、主に科学的な側面からの泥炭地保全という色彩が強い。GPI はグローバルレベルとリージョナルレベルのそれぞれにアプローチしている。グローバルでは泥炭地の状況、および世界の炭素循環と国家経済におけるその重要性についての

⁹² <https://www.fao.org/3/CA8200EN/CA8200EN.pdf>

最新の総合評価を提供し、パリ協定で示された気候変動を緩和するための世界的な公約の達成を可能にする泥炭地の役割を強調するものである。具体的な成果として、“Global peatland assessments”を2022年11月に発行した⁹³。本書は、国や意思決定者が、マッピング、モニタリング、報告の取り組みを改善することで持続可能な泥炭地管理を進め、泥炭地を国の気候戦略に組み込むための緊急行動を促すために書かれた。また、COP26にて“The Virtual Peatland Pavilion”⁹⁴を立ち上げ、泥炭地保全に係る国際議論の進展に貢献した。

このほかにもWetland International, The International Peatland Societyなど国際的な機関があるもののJICAの活動のうち特に泥炭地モニタリングや管理といった活動と連携しやすい機関はFAOとGPIである。これらの機関で活動する研究者にはIPCCのガイドライン作成に携わる関係者も多く、JICAの取り組みを国際的に発信するうえで重要な連携先と考えられる。

6.2 わが国における動向と泥炭地管理の位置づけ

前節では国際社会のアジェンダにおける泥炭地の位置づけを概観したが、次に国内における動向に着目し、民間企業と泥炭地管理の関わり方について整理する。

■ 温室効果ガス削減目標と企業の取り組み（GX リーグ）

我が国は、2030年までに温室効果ガスの排出量を26%削減するという目標を国連に提出しており、より長期的な目標としては、第4次環境基本計画において、2050年までに80%削減することを目指すとしている。これに連動して民間企業による排出削減の取り組みが加速しつつあり、特にカーボンプライシングやGXリーグといった構想が動き出している。

GXリーグとは「グリーントランスフォーメーション」の略称であり「GX実現に向けた基本方針」が2023年2月10日に閣議決定された。GXリーグは2050年カーボンニュートラルや、2030年の国としての温室効果ガス排出削減目標の達成に向けた取組を経済の成長の機会と捉え、排出削減と産業競争力の向上の実現に向けて、経済社会システム全体の変革を促すことを目的としている。GXリーグでは①未来社会像対話の場、②市場ルール形成の場、③自主的な排出量取引の場を通じて、「先駆的取組を主導する事業者間での対話を通じた政策形成」を行うものである。特に③自主的な排出量取引の場では、高い排出量削減目標を自主的に掲げ、その達成に向けた取組の推進・開示と、カーボン・クレジット市場を通じた自主的な排出量取引を行うことから、排出削減クレジットの需要増加が見込まれる。

先に述べたように国際社会では泥炭地管理から生じる温室効果ガス排出削減は効果の高い取り組みとして認識されており、民間企業が必要とする排出削減クレジット需要に応えるうえで一定の役割を果たすことが期待される。特にVerraが運営するthe Verified Carbon Standard (VCS) Programにおいては干上がった泥炭地への再灌漑を通じた温室効果ガス削減活動が取り上げられおり、今後は泥炭地における森林火災予防や保全活動に係る方法論が提案されることで排出削減クレジットが活発化すると推察される。

⁹³ <https://globalpeatlands.org/resource-library/global-peatlands-assessment-state-worlds-peatlands-main-report>

⁹⁴ <https://globalpeatlands.org/node/219>

■ 自然関連財務情報開示タスクフォース

世界経済フォーラムの推計によると、自然に対する依存度が中等度または高度に該当する経済活動は世界経済の半分以上にあたるとされ、その影響による生物多様性の喪失が懸念されていることから、2019年1月の世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）にて、資金の流れを自然保全・回復への活動に向けるため自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD：Taskforce on Nature-related Financial Disclosures）が構想された。TNFDとは組織が自身の経済活動における自然環境や生物多様性に関するリスクと機会を評価し報告することを促す、2021年6月に設立されたイニシアティブであり、ESG（環境・社会・ガバナンス）情報など非財務情報の重要性が高まる中で、既に多くの企業に取り組んでいるサステナビリティ関連情報開示フレームワークの一つとして位置づけられており、ESG投資とも密接に関連している。

TNFDでは情報開示に向けたガイダンスなどを規定したベータ版フレームワーク v0.3 を2022年11月4日に公開した。ガイダンスには「ガバナンス」「戦略」「リスクとインパクト管理」「指標と目標」の4つの情報開示が提言されている。このうち「リスクとインパクト管理」について言えば、組織が自然に関連する依存関係、影響、リスク、機会をどのように特定し、評価し、管理しているかを開示するよう求めている。

泥炭地はパームオイル生産や植林活動など様々な企業が経済活動の場として利用されており、企業活動と自然資源の依存度が極めて高いランドスケープである。そのことから活動を展開する企業はTNFDの開示要求に従い泥炭地の特定や評価などが求められる。TNFDを通じた情報開示はESG投資を得る上でも重要な活動になることが予想され、TNFDガイダンス案に示されたように泥炭地管理・保全に向けた定量的な評価手法が必要である。

6.3 泥炭地管理・保全に関する今後の協力量針を検討するうえでの留意点

上記で整理したように国際社会では気候変動緩和機能としての泥炭地、持続的社会的実現に向けた自然に根差した社会課題の解決策（NbS）としての泥炭地、多面的生態系サービス提供の場としての泥炭地という共通認識が醸成されている。特に泥炭地管理を進めるうえで、科学的な手法やインベントリーデータの必要が掲げられており、様々な国際協力機関や研究機関などの取り組みに大きな期待が寄せられている。

しかしながら泥炭地管理の重要性については国際社会が強く認識しているものの、湿地保全活動に必要な年間投資額は283億米ドルから117億米ドルだが、泥炭地の再湿潤化と復元にはさらに多くの投資額が必要とも試算されている⁹⁵。そのことから持続的な活動のためには民間資金の動員を欠かすことはできず、特にGXリーグを通じて排出削減クレジット需要の増加などの国内動向に後押しされた泥炭地への民間資金流入が期待される。

また国内の動向をみると、民間企業の視点では効果の高い温室効果ガス排出削減クレジット創出の場としての泥炭地、自社企業の経済活動の場として活用しつつESG投資の促進を期待する機会としての泥炭地として捉えられていることが伺える。

⁹⁵ <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/conservation-and-restoration-peatlands-global-emissions-new-report>

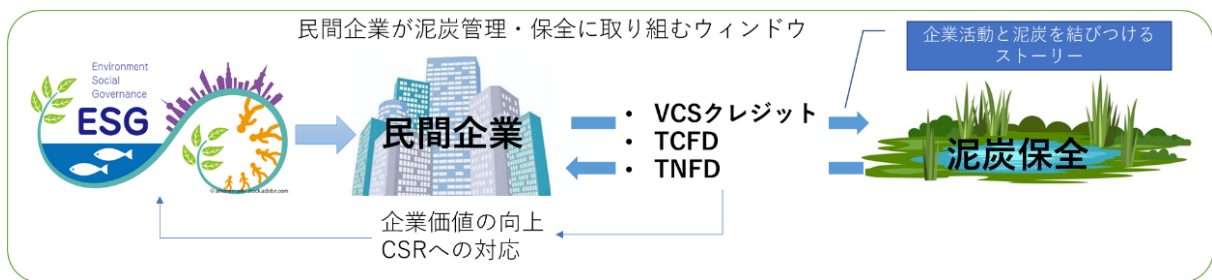


図 6.3.1 民間企業が泥炭地管理・保全に取り組むウィンドウ

ここで、民間資金が導入される際の留意点についてポイントを挙げる。

・信頼性の高いクレジット創出

温室効果ガス排出削減クレジットについては、期待度が高いもののその信頼性に十分留意することが重要であり、近年グリーンウォッシュを通じた批判がこれの対象になりかねない。グリーンウォッシュとは英語で「うわべを取り繕うこと」を意味する Whitewashing と、「環境にやさしい」という意味の Green を組み合わせて作られた造語で、1980 年代にアメリカの環境活動家によって唱えられたものであり、本当は地球にやさしくない商品やサービスを、あたかも良さそうに見せかけた、見せかけの環境配慮と呼ばれるものである。排出削減クレジットについて言えば、標準化されていない評価手法の不確かさや定量化の際の高い不確実性などがこれに該当する可能性がある。よって、泥炭地の管理に際しても、必要な基礎データや評価手法については可能な限り透明性を確保しつつ得うる最新の知見を以て頑健な方法で取り組まなければならない。その意味で、様々な手法やデータが IPCC のガイドラインにおいて取り込まれることが最も望ましい方法であろう。

・民間の検討スピードに合わせた取り組み

我が国における動向で整理したように、民間企業からの温室効果ガス排出削減クレジットの需要は加速度を増している。他方、上記で述べたように見せかけの環境配慮とならないように、国際機関による泥炭地の管理手法のガイドライン化が必要であるものの、IPCC でのガイドライン開発と合意にはこれまでの経緯を踏まえるとかかなりの時間を必要とするであろう。この取り組みに必要な時間的ギャップを埋めるためには、方法論や基礎的データのすべてを完成させるまで待つのではなく、得られた成果や知見から順次公表していくようなステップワイズアプローチが重要である。具体的には IPCC が管理している排出量原単位データベース⁹⁶へのプロジェクト成果の登録などが挙げられる。また、そのためには論文文化などの作業が必須であると考えられる。

・ネイチャーポジティブの潮流と泥炭地に取り組む意義

2021 年 6 月に英国で開催された G7 サミットにおいて合意された「G7 2030 年 自然協約 (G7 2030 Nature Compact)」では、2030 年までに生物多様性の損失を食い止め、反転させるという目標達成が掲げられた。これをうけて CBD-COP15 では 2030 年までに生物多様性の損失を食い止め、回復させる (ネイチャーポジティブ) というゴールに向け、2030 年までに陸と海の 30% 以上を健全な生態系として効果的に保全しようとする目標 (30by30) が採択された。先に述べたように泥炭地は多様な生態系サービスを提供するユニークなランドスケープであると同時に、気候変動

⁹⁶ <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

緩和機能効果が高い地域でもあることから、着目する意義がある。

6.4 基礎情報収集調査の成果を活かした泥炭地管理・保全に関する今後の協力方針

ここまで述べたように、COP26 では泥炭地管理に国際社会の注目が集まり（GMP）、CBD-COP15 では Nature-based Solution の代表例として、泥炭地保全と利活用が挙げられた。他方、国内動向としては ESG 投資を念頭に TFND を通じた自然関連財務情報開示の立ち上げや GX リーグを背景とした排出削減クレジットの需要増加がみられた。

このように泥炭地管理・保全に係る機運が高まりつつあるが、持続的な活動を展開するためには公的資金のみならず民間資金の活用が欠かせない。そのためには泥炭地に係る様々な基礎的データ（分布域や単位面積からの温室効果ガス吸排出量）を収集するとともに、その信頼性を高める取り組みが必要不可欠である。逆に言えば、すでにグリーンウォッシュとして指摘されてきている背景を踏まえると、不確実性の高い情報をもとに、泥炭地管理における共通認識を醸成し、幅広いステークホルダーの参入を促すことはできないことは、明らかである。

本基礎調査では、衛星データを用いた泥炭地分布の推定及び気象モデルを用いた泥炭地からの温室効果ガス（CO₂, CH₄）吸排出量の推計に取り組み、基礎的情報の精緻化に関する技術開発を行った。これらの取り組みは、国際社会が求める方法論や基礎情報への貢献や、民間企業参入を促すための泥炭評価の標準化という意味合いにおいて大きな貢献を果たしたと言える。

このことを踏まえつつ熱帯泥炭地にはピートドームを形成するものや、河川からのミネラル供給があるケースなど地域性を有していることを考慮して、それぞれのシード技術を用いた今後の泥炭地管理・保全に係る方針を2つのパスウェイとして提言する。

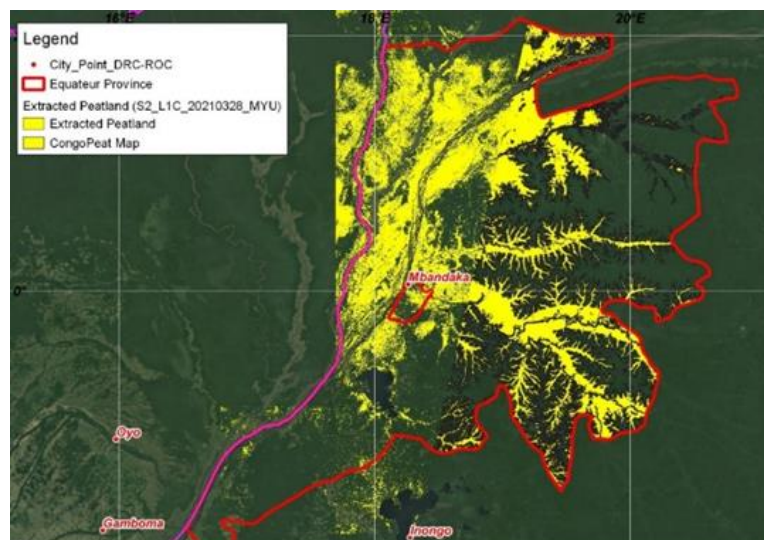


図 6.4.1 本調査で試作したコンゴ盆地の泥炭分布図

① 衛星データと Flux タワーを組み合わせた泥炭地からの吸排出量の精緻化と方法論の国際化

コンゴ盆地周辺においては、衛星技術を用いた泥炭地分布の推定に取り組み、コンゴ民（赤道州）、コンゴ共（ガンボマ周辺）の泥炭地分布を明らかにした。この地域での取り組みでは、他の国際機関が先行する泥炭地分布図の作成プロジェクトに対して、追加的な衛星データを用いることの有効性を示すことができた。この成果に引き続き、我が国政府はコンゴ民における Flux タワーの設置について、ノンプロ無償資金スキームを使い 2023 年から実施していくこととしている。この活動を通じて泥炭地分布図と Flux タワーから得られる詳細のパラメータを組み合わせることで、泥炭地からの CO₂ や CH₄ の吸排出量を把握することが期待される。また、場合によっては ISS 搭載型ハイパースペクトルセンサー（HISUI）のデータを補完的に使い、精度向上に資する取り組みも考えられる。

これらの活動成果を最大限活かし国際社会に貢献するためには、様々なステークホルダーとの

連携が重要である。具体的には、Global Peatland Initiative(GPI)など国際的に活躍している機関との情報共有や方法論の共有は、JICA が開発した技術を国際化するうえで効率的かつ効果的な取り組みである。

技術の国際化という視点では、開発した方法論が IPCC ガイドラインに掲載され、他国での利活用が促進されるという道筋が理想的であるため、左記に述べたような著名な国際機関との連携がここでも重要になる。

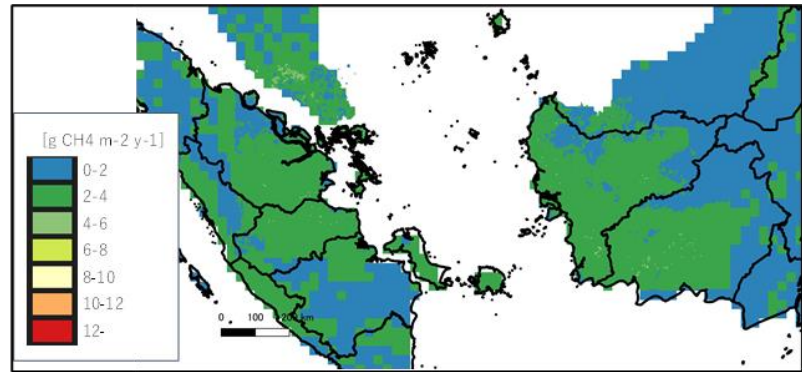


図 6.4.2 本調査で試算したインドネシアにおけるメタン排出量

② WRF モデルを用いた泥炭地における CO₂、CH₄ 吸排出量算定の社会実装

インドネシアにおいては、WRF モデルを用いた土壌水分や地下水位の推定に取り組み、そのパラメータを用いて泥炭地における CO₂、CH₄ 吸排出量を試算することができた。特に泥炭地からの温室効果ガス排出量について気象データを用いて広域に試算した取り組みはこれまでに行われておらず、今後の泥炭地管理に大きな貢献を果たすものである。次のステップとしては、インドネシア政府職員による開発モデルの維持管理・改善を促し、泥炭地からの CO₂、CH₄ 吸排出量を経時的に試算していく取り組みが重要である。その過程において現地検証のためのボーリング調査や Flux タワーからの基礎的情報を得つつ、WRF モデルの更なる精緻化が欠かせない。

その上で、インドネシア政府内における認知度や信頼度を高め、最終目標としては GHG インベントリへの組み込みや NDC 改定における貢献などが期待される。

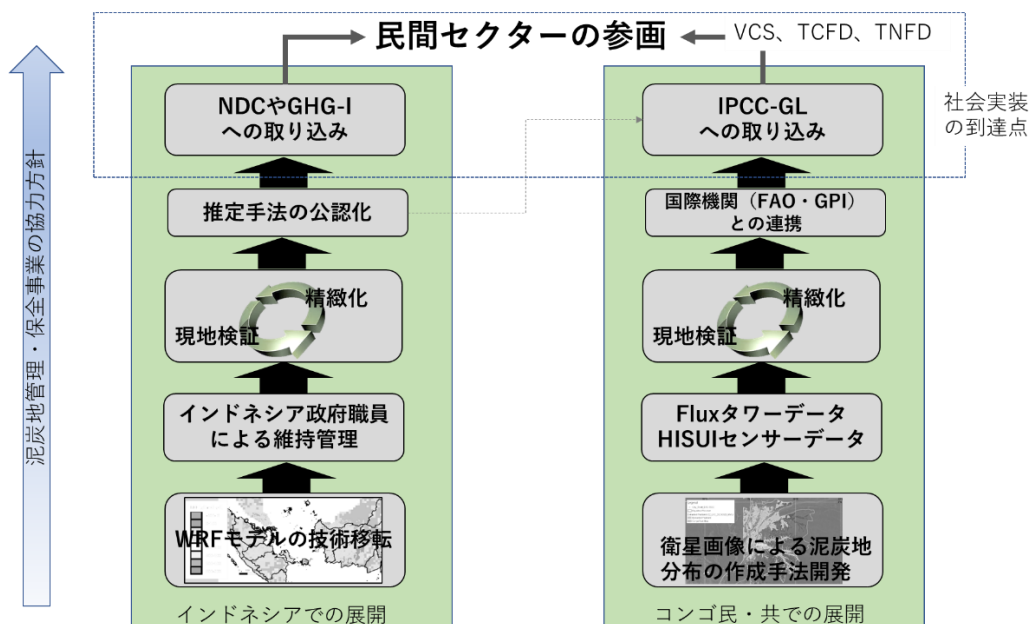


図 6.4.3 インドネシア及びコンゴ盆地をフィールドとした泥炭地管理・保全に係る今後の協力量針に係るパスウェイ案

巻末資料：COP26 情報発信

COP26 泥炭パビリオン JICA サイドイベント 「Technology and data collection for peatlands management」

2021 年 11 月 9 日 11 時～12 時半

開催報告書



1. サイドイベント開催に至った経緯

JICA は泥炭が気候変動に与える影響の大きさから、保全・管理に関する取組みを継続的に支援しており、インドネシアならびにペルーにおいて実績を有している。そのような背景のもと、世界の泥炭分布 3 地域（ペルー、インドネシア、コンゴ盆地）を対象とした泥炭に関する基礎情報の収集・整理調査を立ち上げた。

2021 年春からスタートした本調査では、特にコンゴ盆地における泥炭分布図の作成に係る新規的取組みや、これまで情報が皆無であった地域における泥炭ボーリング調査などの成果を得ることができた。

これらの成果について広く国際社会に発信・共有し、各国における泥炭保全・管理に貢献するとともに JICA のプレゼンスを示す機会を模索してきたところである。

一方、UNEP 傘下で立ち上げられた Global Peatland Initiative（以下、GPI）は、世界中で実施されている泥炭に係る活動の情報交換の場や研究活動の集約、泥炭状況のアセスメントなどを行っており、泥炭分野における国際的な取組みの重要な一つとして認識されている。

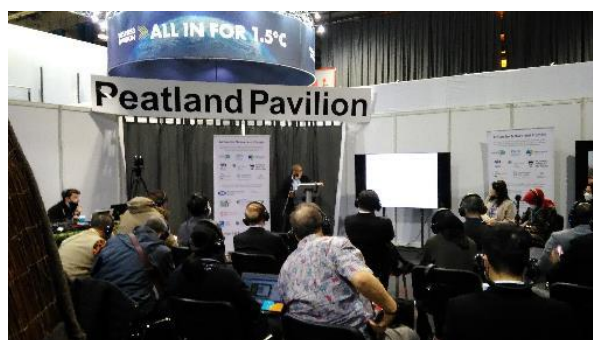
今般、GPI が COP26 において泥炭パビリオンを常設することが UNFCCC から認められ、多種多様な泥炭関連のサイドイベントが開催されることとなった。

その枠組みのなか、JICA は GPI から 90 分のサイドイベント主催の打診を受け、基礎情報調査の成果発信を効果的に行うため、サイドイベント開催に至った（添付-1 サイドイベント申請用紙）。

なお、基礎情報収集調査は泥炭管理・保全に係るデータ収集やモニタリング手法の開発を目的とし、泥炭分布図の試作やボーリング調査、分布図に係る新たな手法開発などを TOR としていることから、泥炭パビリオンのサイドイベントは「Science and data」というコンセプトのもので開催することとした。

2. サイドイベントの運営

泥炭パビリオンは COP 期間中常設として運営されているが、COVID-19 の影響により全てのサイドイベントは現地での参加とオンラインでの参加を交えたハイブリッド方式が取られた。これは参加者だけでなく登壇者についても同様であり、極めて異例のサイドイベント開催であった。全てのサイドイベントを集約したエリアが COP26 の会場内に設けられ、泥炭パビリオンもその一角に常設された。（右 泥炭パビリオンの全体）



3. サイドイベントのプログラム構成

上記に述べたように「Science and data」というコンセプト下での開催であることや、基礎情報調査の成果がこれに則したものであることを踏まえ、登壇者の構成は以下の点を考慮して選定した。

- JICA の取組みだけでなく、途上国からの意見を共有できるように配慮
- データ収集のような技術的話題も取り上げつつ、データの必要性や利用先など位置づけを明確にすることに配慮し
- 上記に関連し、泥炭管理に必要な要素として、データ収集に基づく現状の理解と適切な計画への反映を念頭に、「データ収集は上位政策への展開に資するもの」として位置づけ、これに関連する途上国の政策担当者からの報告 Slot を入れる
- また、データ収集やモニタリングについては、開発された技術が定着するように能力強化が不可欠であり、この点に関する報告 Slot を入れる

以上の留意点を考慮し、サイドイベントのプログラムを立案した。

Agenda		
Time	Particulars/Speakers	Comments/Key messages
3min	Nishimura Takashi	Welcome speech
10min	Osaki Mitsuru	Key note speech
10min	Jean Jacques Bambuta	PEATLAND GOVERNANCE AND KNOWLEDGE DEVELOPMENT
10min	Jose Alvares Alonso	Peatlands management in Peru
15min	Hirose Kazuyo	Peatlands mapping by latest remote sensing data in Congo Basin
10min	Corneille E.N. Ewango	Field data collection of Peatlands in DRC.
10min	Tsuyoshi Kato& Niken Andika Putri	Peatlands monitoring and new satellite technology
10min	Maria Nuutinen	Peatlands and high-carbon ecosystems, Technical Lead on Peatlands, National Forest
10min	Q/A	
2min	Summary	Summarize the side event

プログラムでは、開会あいさつを除き7枠（8名）の登壇者を揃え、政策、技術、データ収集、能力強化など幅広い分野をカバーする構成とした。また、8名中4名が途上国からの参加、国際機関が1名、日本人が2名とし、国際色豊かな登壇者リストとした。

4. サイドイベントの実施（登壇者の発表概要）

次に各登壇者の発表概要を簡単に整理する。

登壇者	報告概要
Jean Jacques Bambuta (DRC)	• DRCにおいて展開されている様々な活動を紹介 • 2022年1月には国家泥炭戦略の策定を予定 • 戦略策定には泥炭に関する理解促進が不可欠 • そのためにも泥炭研究は基礎的情報の収集が欠かせない
Jose Alvares Alonso (Peru)	• ペルーにおける泥炭管理の重要性を示唆 • 泥炭の定義等に関する検討加速の必要性 • NDCの改訂に合わせ、緩和ポテンシャルの定量化が急務であり、データ整備が極めて重要
Hirose Kazuyo (JICA)	• ペルーにおけるアグアヘ植生を用いたマッピング手法をコンゴ盆地に横展開 • Sentinel衛星（光学センサー）による観測とSAR（合成開口レーダー）による観測を組み合わせたマッピングの有効性を報告。今後は既存地図や地上調査の

	結果による検証を進めていく
Corneille E.N. Ewango (DRC)	- 現地調査によりDRC (Nioki) における泥炭分布を確認。 - 当初予想を超えて、出現樹種が少ないことやパーム系樹種が優占しているという新たな知見を得た。 - 採取したコアサンプルの室内分析を行い、単位量あたりの炭素含有量などを明らかにした。
Tsuyoshi Kato& Niken Andika Putri (Sumitomo)	- インドネシアにおける地上調査・UAV調査・衛星解析を組み合わせたモニタリング手法 (Integrated Monitoring, Reporting, and Verifying System : iMRV) を提案 - 上記手法は簡易・安価・高品質であることを述べ、自然資本の保全に有効に機能すると提案
Maria Nuutinen (FAO)	- 成功する能力強化のためには初期段階、計画・実施段階、最終化と持続段階の3ステージがあり、それぞれにポイントがあることを報告 - 初期段階では能力強化の必要性を特定すること、次の段階では長期を視野に入れた研修計画の重要性、最後の段階では地域住民の強化やモニタリングと評価の要素が必要であることを述べた

5. 質疑

質疑の時間が限定的であったことから、会場現場からの質問を1つ、オンラインチャットに寄せられたものから1つの質問を受けた。

- ① もしご提案の方法をコンゴ盆地全域に適用した場合、泥炭エリアは我々が現在特定している範囲を超えるのでしょうか？
 ←現在、既存のコンゴビートマップとの比較検証を行っており、現時点で既存分布域を超えるか否かについては回答できない。
- ② 泥炭の地図などが完成しつつあるが、それを踏まえ、泥炭の価値が明らかになり、泥炭の保全・管理が進むのだらうと思われる。人々が泥炭の価値を認識・理解するのは何時のことになるのだろうか？
 ←泥炭分布図の作成に要する期間以上に、それを解釈し価値するプロセスは長時間になると予想



オンラインとオンサイトのハイブリッド方式による QA セッション

6. 開催の成果と今後に向けた示唆

GPI によれば JICA ホストのサイドイベントは、数多く開催されたものの中でも現地参加者数やオンラインでの質問の数などからみて、最大の盛り上がりを見せたという評価であった。そのことについて訊いてみると、著名な専門家を幅広く分野から招聘したことや、先進国や国際機関だけでなく途上国からの登壇者の多さ、先進的リモートセンシング技術の話題などが集客の要因であったことが明らかとなった。その意味では基礎情報収集成果の効果的発信や JICA のプレゼンス向上という目的は達せられたものと考えられる。また、サイドイベントの様子は GPI の Youtube サイトから公表されることが予定されており、効果の継続についても期待される。

一方、本サイドイベントの開催によって認識された課題や泥炭保全・管理に必要な今後の方向性については以下のように整理される。

- i. 泥炭モニタリングは国家政策の立案に重要であるだけでなく、民間の参入はコミュニティレベルにおいても極めて重要である。
- ii. 定期的なモニタリングを通じた定量的データを示すことにより、明確に泥炭管理・保全に係る成果を外部に示すことが可能となり、データ整備やモニタリングは重要な活動要素である。
- iii. 気候変動緩和策として泥炭保全・管理が重要であることは論を待たない。
- iv. 一方泥炭保全・管理で重要な「政策」、「科学技術やモニタリング」、「能力強化」が一体的に議論されておらず、一層の連携が必要。
- v. グローバルパートナーシップや知見共有は泥炭保全・管理の取り組みのうち中心的な位置づけであり、JICA はこの重要課題に対し、様々なステークホルダーとレベルにおける協働を推進する必要