

インドネシア国

気象気候地球物理庁（BMKG）

インドネシア国

気候変動対策能力強化プロジェクト
フェーズ2における長期気候変動予測
にかかる能力強化

業務完了報告書

2023年4月

独立行政法人

国際協力機構（JICA）

一般財団法人 気象業務支援センター

目 次

1. 業務の概要.....	1
1.1 業務の目的.....	1
1.2 上位目標とプロジェクト目標.....	2
1.3 期待される成果.....	2
1.4 活動の概要.....	2
1.5 対象地域.....	3
1.6 関係官庁・機関.....	3
2. ワークプラン・活動達成度.....	5
2.1 ワークプラン.....	5
2.2 各活動の達成状況.....	5
3. 活動内容・活動実績.....	15
3.1 成果 1a（力学的ダウンスケーリング）.....	15
3.1.1 成果 1a の背景と基本方針.....	15
3.1.2 成果 1a に係る現状と課題.....	16
3.1.3 成果 1a の活動内容.....	16
3.1.4 成果 1a の達成状況.....	17
3.1.5 今後の活動計画.....	44
3.2 成果 1b（統計的ダウンスケーリング）.....	45
3.2.1 成果 1b の背景と基本方針.....	45
3.2.2 成果 1b に係る現状の課題.....	46
3.2.3 成果 1b の活動内容.....	46
3.2.4 成果 1b の達成状況.....	71
3.2.5 今後の活動計画.....	73
3.3 成果 1c（高解像度ダウンスケーリング）.....	73
3.3.1 成果 1c の背景と基本方針.....	73
3.3.2 成果 1c に係る現状の課題.....	73
3.3.3 成果 1c の活動内容.....	74
3.3.4 成果 1c の達成状況.....	81
3.3.5 今後の活動計画.....	82
3.4 成果 2（長期予報の能力強化）.....	82
3.4.1 成果 2 の背景と基本方針.....	82
3.4.2 成果 2 に係る現状の課題.....	83
3.4.3 成果 2 の活動内容.....	84
3.4.4 成果 2 の達成状況.....	86
3.4.5 今後の活動計画.....	101

3.5	本邦研修	101
3.5.1	コースの概要	101
3.5.2	研修内容	101
3.5.3	研修日程表	103
3.5.4	シラバス	103
3.5.5	研修コースに対する所見	115
3.5.6	研修員	117
3.5.7	研修成果の活用	118
3.5.8	その他特記事項	118
4.	上位目標達成のための提言	119
5.	業務実施運営上の課題・工夫・教訓	121
	附属資料	123

図表一覧

表 1	専門家アサイン	6
表 2	ワーキンググループの活動内容	6
表 3	ワーキンググループメンバーリスト	7
表 4	本業務における供与機材	10
表 5	d4PDF データで提供されている気候モデル	52
表 6	WG2 ミーティング	72
表 7	WG3 ミーティング	74
表 8	都市化アンサブルシミュレーション 1 (2022 年 4~8 月)	76
表 9	都市化アンサブルシミュレーション 2 (2022 年 8~12 月)	78
表 10	疑似温暖化実験の手法	79
表 11	WG4 の主な課題と担当者	85
表 12	ワークショップ/フォーラム/セミナー (2020 年 10 月~2023 年 3 月)	87
表 13	WG4 会合等の実績 (2020 年 10 月 ~ 2023 年 3 月)	87
表 14	本邦研修日程表	103
図 1	供与機材 (左: HPC [品番 1, 2, 4], 中央: HPC の仕様, 右: 運用端末 [品番 3])	11
図 2	CCIS サーバーの画面イメージ	11
図 3	CCIS 運用トレーニング (2023 年 4 月)	12
図 4	気候モデルダウンスケールデータ (力学的ダウンスケーリング)	12
図 5	気候モデルダウンスケールデータ (統計的ダウンスケーリング)	13
図 6	気候変動データへの利用者ニーズ (2022 年 2 月利用者会合より)	13
図 7	地上気温の表現で見た AGCM と NHRCM の違い 左: AGCM (解像度 20 km)、右: NHRCM (解像度 5 km) 白線は、ジャワ島東部およびバリ島の海岸線、色はそれぞれのモデルで再現された地上気温分布を表す。	16

図 8	5km 解像度力学的ダウンスケーリングの作業状況.....	18
図 9	HPC 及び評価用 PC の仕様.....	19
図 10	NHRCM と CHIRPSv2.0 の 12 月～2 月 (DJF) 降水量の比較 (左上) CHIRPS による観測、(右上) NHRCM によるシミュレーション、(下) 両者の差.....	21
図 11	NHRCM と CHIRPSv2.0 の 6 月～8 月 (JJA) 降水量の比較 (左上) NHRCM によるシミュレーション、(右上) CHIRPS による観測、(下) 両者の差.....	22
図 12	NHRCM と ERA5 の 12 月～2 月 (DJF) (左) 及び 6 月～8 月 (右) 気温の比較	23
図 13	12 月～2 月 (DJF) 降水量のバイアス.....	24
図 14	6 月～8 月 (JJA) 降水量のバイアス.....	24
図 15	BMKG 地方官署の分布.....	25
図 16	降水量の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(下) ジャワ島中部.....	25
図 17	ジャワ島における降水量の観測値と NHRCM の比較 青丸：過大評価、赤丸：過小評価.....	26
図 18	気温の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(下) ジャワ島中部.....	27
図 19	ジャワ島における気温の観測値と NHRCM の比較 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス.....	28
図 20	ジャワ島における最高気温の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(中) ジャワ島中部、(下) バイアス分布 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス.....	29
図 21	ジャワ島における最低気温の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(中) ジャワ島中部、(下) バイアス分布 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス.....	31
図 22	降水量の確率密度関数 (左) 12 月～2 月 (DJF)、(右) 6 月～8 月 (JJA).....	32
図 23	降水量の変化予測 (左上) 近未来の 12 月～2 月 (DJF)、(右上) 将来の DJF (左下) 近未来の 6 月～8 月 (JJA)、(右上) 将来の JJA.....	33
図 24	気温の変化予測 (左上) 近未来の 12 月～2 月 (DJF)、(右上) 将来の DJF (左下) 近未来の 6 月～8 月 (JJA)、(右上) 将来の JJA.....	34
図 25	気候インデックスの表示ウィンドウの例.....	35
図 26	年降水量の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	36
図 27	年平均気温の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	37
図 28	日降水量 50mm 以上の年間日数 (R50) の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	38
図 29	日最高気温の月最大値 (TXx) の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	39
図 30	日最低気温の月最低値 (TNn) の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	40
図 31	日降水量 1mm 未満の連続日数 (CDD) の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	41
図 32	日降水量 1mm 以上の連続日数 (CWD) の予測 (左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差.....	42

図 33	本邦研修におけるプレゼンテーション資料	43
図 34	CCIS ウェブサイト	44
図 35	収集・共有されたデータ（パイロット地区）	47
図 36	データの例（上：メッシュデータ、下：観測点データ）	47
図 37	統計的ダウンスケーリングの結果（西ジャワ）	47
図 38	Gaussian 型の補正	49
図 39	CDF 法	49
図 40	統計的ダウンスケーリングによる将来の降水量変化（ジャワ島西部、西森氏学会発表資料より）	49
図 41	格子点値の観測地点値への内挿	49
図 42	降水量の分布パターン（左：日と旬、右：月）	50
図 43	期間による違いを描画するスクリプト	51
図 44	シナリオによる違いを描画するスクリプト	51
図 45	気候モデルによる降水量の違い（12月の平均降水量、2036-2055年）＝上段：左からMR、GF、HA、下段：左からMI、CC、MP、略称は表3-2-1を参照＝	52
図 46	d4PDFデータの概要	53
図 47	d4PDFデータで考慮される物理要素	53
図 48	MRI-CGCMのトレンド（降水量、湿度、風速、Jakarta最寄りグリッド）	54
図 49	MRI-CGCMのトレンド（最高気温、最低気温、Jakarta最寄りグリッド）	54
図 50	期間の相違における降水量変化の違い（左：2076～2095年、右：2036～2055年12～2月の降水量変化（対2006～2025年））	55
図 51	シナリオの相違における降水量変化の違い（RCP8.5とRCP2.6、左：将来、右：近未来）	55
図 52	月降水量の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku、1981～2050年）	56
図 53	最高気温月平均値の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku）	57
図 54	最低気温月平均値の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku）	58
図 55	旧平年値（紺：1981～2010年）と新平年値（赤：1991～2020年）の月降水量	59
図 56	旧平年値に対する新平年値の降水量増加率（％）（上：年降水量、下左：DJF、下右：JJA）	60
図 57	旧平年値（紺：1981～2010年）と新平年値（赤：1991～2020年）の最高気温月平均値	61
図 58	最高気温期間平均値の旧平年値に対する新平年値の上昇率（℃）（上：年、下左：DJF、下右：JJA）	62
図 59	旧平年値（紺：1981～2010年）と新平年値（赤：1991～2020年）の最低気温月平均値	63
図 60	最高気温期間平均値の旧平年値に対する新平年値の上昇率（℃）（上：年、下左：DJF、下右：JJA）	64
図 61	月降水量（上：1月、下：7月） 上：左から、MRIモデルオリジナルデータ、BMKG	

地上観測点データ、統計的 DS 結果 下：左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果.....	65
図 62 統計的ダウンスケーリング (左:CDF,右:Gaussian) の結果 (降水量) (上段：1月、下段：7月、いずれも上図が RCP4.5,下図が RCP8.5)	66
図 63 最高気温月平均値 (上：1月、下：7月) 上：左から、MRI モデルオリジナルデータ、BMKG 地上観測点データ、統計的 DS 結果 下：左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果	67
図 64 統計的ダウンスケーリング (左:CDF,右:Gaussian) の結果 (最高気温) (上段：1月、下段：7月、いずれも上図が RCP4.5,下図が RCP8.5)	68
図 65 最低気温月平均値 (上：1月、下：7月) 上：左から、MRI モデルオリジナルデータ、BMKG 地上観測点データ、統計的 DS 結果 下：左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果	69
図 66 統計的ダウンスケーリング (左:CDF,右:Gaussian) の結果 (最低気温)	70
図 67 CMIP6 データの比較例 (上：MRI、下：MIROC、12~2月の月降水量)	71
図 68 予備的な大雨事例の再現実験結果 (上：衛星観測降水量、下：再現実験結果)	76
図 69 都市化が降水量に与える影響 (いずれも ensemble 平均) 上：18UTC の1時間降水量、下：積算降水量 (CTL:都市あり、NoUrb:都市なし、LU:土地利用状況、CTL-NoUrb:都市の有無による降水量の違い、2022/8/31 資料)	77
図 70 都市化が降水量に与える影響 (解析例)	78
図 71 都市化が降水量に与える影響 (左：降水量分布、右：鉛直断面図、2022/11/30 資料)	78
図 72 将来の都市域 (左：2045年、現在のほぼ2倍、右：現在)	79
図 73 温暖化が降水に与える影響 (左：温暖化後、右：現在気候、都市域は現在) (上：降水量分布、下：鉛直風と降水量、1時間降水量 (2007-Feb-01 15UTC)	80
図 74 更なる都市化が降水に与える影響 (左：都市域拡大、右：現在都市) (上：降水量分布、下：鉛直風と降水量、1時間降水量 (2007-Feb-01 15UTC)	81
図 75 主要な気候要因 (BMKG)	83
図 76 インドネシアの気候地域 (BMKG)	83
図 77 季節予報作成フローチャート (BMKG)	84
図 78 WG4 の実施計画	86
図 79 乾季/雨季発症予測の正解率の経年変化.....	89
図 80 乾季発症予測における島別正解率の変化	90
図 81 予報地域における乾季/雨季発症予測の正解率.....	90
図 82 バンドン (左) とスマラン (右) の予報地域の降水量の季節変化.....	91
図 83 乾季/雨季におけるバンドンの総降雨量の年々変動.....	91
図 84 乾季 (左) /雨季 (右) におけるスマランの総降雨量の年々変動	91
図 85 エルニーニョ時 (左図) とラニーニャ時 (右図) の降水量の季節変化 (バンドン)	92
図 86 エルニーニョ時 (左図) とラニーニャ時 (右図) の降水量の季節変化 (スマラン)	92

図 87	予報発表日と予報の目標となる週の説明	93
図 88	7月の MSSS 解析 (2002 – 2021)	93
図 89	7月の BS (ブライアスコア) の空間分析 (2002 – 2021)	93
図 90	極端現象の影響に関する 3 つのケーススタディにおける 1 カ月程度先までの予測可能性	94
図 91	JJA 期間 (左) と SON 期間 (右) の降雨変動に及ぼすエルニーニョ現象の影響	95
図 92	JJA 期間 (左) と SON 期間 (右) の降雨変動に及ぼすラニーニャ現象の影響	95
図 93	気象庁のインド洋ダイポールモード予測のスキル	96
図 94	気象庁の IOD 予報の相関法による評価	96
図 95	JJA (6～8 月) 期間中の IOD のインドネシア降水量への影響	97
図 96	SON (9 月～11 月) 期間中の IOD のインドネシア降水量への影響	97
図 97	中部ジャワ地域 (Java_30) における正/負の IOD 時の 10 日間降水量の季節変化	97
図 98	西ジャワ地域 (Java_31) における正/負の IOD 時の 10 日間降水量の季節変化	98
図 99	1 年間の気候見通し 2023 (BMKG) の作成方法	99
図 100	「2023 年気候見通し」作成に用いた ENSO 解析値と予測 (左図)、確率的 ENSO 予測 (中央図)、並びに 1 年間の IOD 解析値と予測 (右図)	99
図 101	2023 年の 1 年間の気候見通し : 年降水量分布 (左図) と年降水量平年差 (右図)	99
図 102	気候変動データ DS の方向性 (上位目標の達成のために)	120

略語集

略語	正式名称	和訳
APIK	Adaptasi Perubahan Iklim dan Ketangguhan	気候変動適応および強靱化（インドネシア）
ATR/BPN	Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional	農地・空間計画省（インドネシア）
AWS/ARG	Automatic Weather Station/Automatic Rain Gauge	自動気象観測装置/自動雨量計
BAPPENAS	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional	国家開発企画庁（インドネシア）
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika	気象気候地球物理庁（インドネシア）
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data	観測所による気候危険群赤外線降水量データ（アメリカ）
CPC	NOAA, Climate Prediction Center	アメリカ海洋大気庁気候予測センター
CPD	JMA, Climate Prediction Division	気象庁気候情報課（日本）
DJF	December, January, February	12月～2月の3か月間
DS	Downscaling	ダウンスケーリング
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	欧州中期予報センター
ENSO	El Niño-Southern Oscillation	エルニーニョ南方振動
ERA5	ECMWF reanalysis v5	第5世代のECMWF再解析データ
FAO	Food and Agriculture Organization	国際連合食糧農業機関
GCM	Global Climate Model	全球気候モデル
	General Circulation Model	大気大循環モデル
GrADS	Grid Analysis and Display System	気象データ等の表示ソフト
HPC	High Performance Computer	高性能計算機
IOD	Indian Ocean dipole	インド洋ダイポールモード現象
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
ITB	Institut Teknologi Bandung	バンドン工科大学（インドネシア）
JAMSTEC	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	国立研究開発法人海洋研究開発機構（日本）
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（日本）
JCC	Joint Coordinating Committee	合同調整委員会
JJA	June, July, August	6月～8月の3か月間
JMA	Japan Meteorological Agency	気象庁（日本）

MRI	JMA, Meteorological Research Institute	気象庁気象研究所（日本）
MRI-CGCM3	MRI Coupled General Circulation Model ver.3	気象庁気象研究所が開発した大気と海洋と結合させて計算を行う気候モデル
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	環境林業省（インドネシア）
MASP	Ministry of Agrarian and Spatial Planning	農地・空間計画省（インドネシア）
MIROC	Model for Interdisciplinary Research on Climate	東京大学、国立環境研究所、海洋研究開発機構が共同で開発した気候モデル
MJO	Madden Julian Oscillation	マッデン・ジュリアン振動
NARO	National Agriculture and Food Research Organization	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（日本）
NCAR	National Center for Atmospheric Research	大気研究センター（アメリカ）
NCEP	National Centers for Environmental Prediction	気候予測センター（アメリカ）
NHRCM	Nonhydrostatic Regional Climate Model	非静力学地域気候モデル
NIES	National Institute for Environmental Studies	国立研究開発法人国立環境研究所（日本）
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	アメリカ海洋大気庁
PIKAM	Pusat Iklim, Agroklimat dan Iklim Maritim	農業海洋情報部（インドネシア）
PIKU	Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara	大気気候情報部（インドネシア）
RAN-API	National Action Plan on Climate Change Adaptation	国家気候変動適応行動計画（インドネシア）
RAN-GRK	National Action Plan for Greenhouse Gas Emission Reduction	国家気候変動緩和行動計画（インドネシア）
RPJMN	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional	中期国家開発計画（インドネシア）
SST	Sea Surface Temperature	海面水温
SYNOP	Surface Synoptic Observations	地上実況気象通報式
TCC	Tokyo Climate Center	東京気候センター（アジア太平洋気候センター）
USAID	United States Agency for International Development	米国国際開発庁
WCRP	World Climate Research Programme	世界気候研究計画
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WRF	Weather Research and Forecasting	研究・予測気象モデル（NCAR）



インドネシアの地方行政

第1層 州/特別州 (Provinsi)

第2層 県 (Kabupaten)

市 (Kota)

第3層 郡 (Kecamatan)

区/村 (Kelurahan/Desa)

1. 業務の概要

インドネシア国では、気候変動の影響とみられる年間降雨パターンに変化等が見られており、特に赤道以南の地域では、乾期の長期化と降雨量の低下、雨期の短期化と集中豪雨の増加等、気候変動リスクが高まると予測されている。

将来の気候変動に伴う災害の深刻化・発生頻度の増加は、経済活動の停滞や貧困の増加等の経済的・社会的損失を招き、同国の持続的な開発を脅かす重要なリスク要因となることが懸念されている。そのため、国・地方レベルの開発計画・空間計画・セクター毎の施策の策定・実施段階で、気候変動による影響や地域およびセクターの脆弱性を考慮し、それらを計画・施策に反映し気候変動対策の主流化を図っていくことが重要である。

JICA は、技術協力プロジェクト「気候変動対策能力強化プロジェクト」（以下、「フェーズ 1」とする）を 2010 年 10 月から 5 年間実施した。国家開発企画庁（BAPPENAS）を中心的な実施機関とし、多くのインドネシア国関係機関を巻き込んだ形で、中期国家開発計画（RPJMN）等における気候変動対策の主流化、農業分野における気候変動適応行動の制度構築支援、GHG インベントリ策定にかかる技術移転等、気候変動対策を推し進めるための包括的な支援を実施し、同プロジェクトの成果として、国家気候変動緩和行動計画（RAN-GRK）に基づき州気候変動緩和行動計画（RAD-GRK）の策定が進められるとともに、国家気候変動適応行動計画（RAN-API）が策定され、RAN-API、RAN-GRK の実施が「RPJMN2015-2019」に明記されるに至っており、インドネシア国政府における気候変動対策の主流化に大きく貢献した。

「気候変動対策能力強化プロジェクトフェーズ 2」（以下、「フェーズ 2」とする）は、フェーズ 1 の成果を踏まえつつ、インドネシア国における気候変動の①緩和行動にかかる RAN-GRK のモニタリング、評価、②適応行動にかかる RAN-API の地方レベルでの実施（適応行動の開発計画および空間計画への主流化）およびモニタリング評価の強化を成果の柱として、主要省庁および地方政府機関の能力向上を目標とするものである。

本プロジェクトの実施機関の一つである気象気候地球物理庁（BMKG）は、気候モデルの活用、インドネシア国全土を対象とした長期気候変動予測ダウンスケーリングの実施、ダウンスケーリングの出力データの活用について、経験および技術が十分ではない。本業務では、BMKG の職員を対象とした、現地および本邦における研修と技術指導を通じた気候変動予測ダウンスケーリングの技術の習得とそのデータの利活用の促進に向けた支援（能力の向上・強化）を進めるものである。

1.1 業務の目的

本業務は、JICA と 4 実施機関との討議議事録（Record of Discussions; R/D）に基づき、下記 1.4 に示す成果 2-2 の長期気候変動予測に係る能力強化を目指す活動を実施することにより、プロジェクト目標の達成に貢献することを目的とする。

具体的には、実施機関の一つである BMKG に対し、①インドネシア国全域を対象とした高解像度（5km）の気候変動予測ダウンスケーリングの実施支援、②長期予測結果データ活用技術向上のための支援、③パイロット地域等における長期気候変動予測の実施支援を通じて、インドネシア国の国家・地方レベルの開発計画等における気候変動適応策の政策・施策の主流化・促進にむけた BMKG の能力強化に寄与することである。

フェーズ2のプロジェクト目標、期待される成果、活動は以下のとおりで、本業務に関連の深い成果2-2の活動については詳細を示し、その他は項目のみを示した。

1.2 上位目標とプロジェクト目標

【上位目標】

低炭素型開発およびグリーン経済開発を支援するため、インドネシア国の国家開発計画において気候変動が適切に促進・主流化される。

【プロジェクト目標】

気候変動対策のサイクル（政策評価、枠組構築、プロセス・手段の策定、計画、実施、モニタリング、評価）のための主要省庁および地方政府の能力が強化される。

1.3 期待される成果

成果1：国家気候変動緩和行動計画（RAN-GRK）および「国が決定する貢献」（NDC）の下での気候変動緩和策の実施、次期国家中期開発計画（RPJMN2020-2024）における低炭素型開発（LCD）およびグリーン経済開発への支援が強化される。

成果2：次期国家中期開発計画（RPJMN2020-2024）における気候変動適応策（CCA）の政策およびプログラムの基礎として、国家気候変動適応行動計画（RAN-API）が強化・改革される。

1.4 活動の概要

【成果1に係る活動】

- 1-1. RAN-GRK メカニズムに関する政府、非政府／民間セクターのMER（モニタリング・評価・報告）システムの開発および推進
- 1-2. NDC への投資

【成果2に係る活動】

- 2-1. RAN-API のレビュー
- 2-2. 季節予報と気候変動予測
 - 2-2-1. 季節予報および気候変動予測の状況を確認し、全国およびパイロットエリアの脆弱性およびリスクアセスメントを支援する
 - 2-2-2. 全国・パイロットエリアの脆弱性、リスクアセスメント支援のための季節予報および気候変動予測を改善するため、差異および優先エリアを特定する
 - 2-2-3. 上記2-2-2を行うため、BMKG・関係職員の優先エリアにおけるパイロットエリアの脆弱性およびリスクアセスメント支援のため、季節予報および気候変動予測の能力を強化する
 - 2-2-4. MASP や地方自治体等のユーザーのニーズにより、パイロットエリアの脆弱性、およびリスクアセスメントを支援するため、季節予報および気候変動予測を実施する
 - 2-2-5. 全国レベルで能力強化を行うため、2-2-1 から 2-2-4 で実施した内容を BMKG の地方職員を含む関係者と共有する

- 2-2-6. RAN-API 事務局および APIK-USAID プロジェクトとの協働を図る
- 2-3. 国家適応計画改善のための脆弱性指標評価の強化
- 2-4. 気候変動適応策の空間計画への主流化

1.5 対象地域

インドネシア国全域

パイロットエリア（西ジャワ州、中部ジャワ州スマラン市）

1.6 関係官庁・機関

国家開発企画庁（BAPPENAS）

環境林業省（KLHK）

農地・空間計画省（ATR）

気象気候地球物理庁（BMKG）

2. ワークプラン・活動達成度

2.1 ワークプラン

フェーズ2 開始時に、プロジェクトの実施機関の一つである BAPPENAS は、インドネシア国全域の高解像度（5km 領域）の気候モデルのダウンスケーリングの結果の提供を BMKG に対して求めていた。ダウンスケーリングの結果は BAPPENAS および関連省庁の開発計画・適応計画をはじめとする関連計画・施策、パイロットエリアの開発計画・適応計画等の策定・更新への活用が予定されていた。

全球気候モデル（GCM）におけるダウンスケーリングには、力学的ダウンスケーリングと統計的ダウンスケーリングの2つの手法がある。

力学的ダウンスケーリングは、標高、表面状況（植生、地形、熱流量等）などに基づいて、GCM を境界条件として、物理過程に基づいた気象要素の計算を行うことから、将来起こりうる気象現象を厳密に推定する唯一の方法で、正確な将来予測を実施することができる。ただ、力学的ダウンスケーリングを行うためには、高性能計算機（HPC）および大容量のデータストレージ、ダウンスケーリングを行う地域気候モデルが必要であり、10年間から20年の期間の計算には数か月を要した。

一方、統計的ダウンスケーリングは、統計的な推定式を用いて対象となる気象要素を計算することから、空間的・時間的にある程度の幅を持った平均的状況や変動の傾向を推定することに適しており、高性能計算機を用いずとも比較的簡易に実施でき、複数のモデルやシナリオの比較などに利用される。ただ、力学的ダウンスケーリングのように気象現象そのものを再現していないため、(i)極端現象や細かな地形に起因する現象の再現が難しい、(ii)統計に用いるデータの特性に合わせて結果が補正され、平均的な状況を概観的に推定することは出来るが、極端現象や地形や小さなスケールの気象現象については、正確な将来予測を行うことが難しい。

本業務では、BMKG を対象として、力学的手法および統計的手法により高解像度のダウンスケーリングを行い、このデータを用いて、BAPPENAS をはじめとする実施機関が必要とする情報の作成・共有についての技術移転およびデータ利用に関する能力強化を行うこととした。

プロジェクトの開始にあたり、以下の4つを基本方針としたワークプランを策定し、プロジェクト実施計画を2020年6月にBMKGに対して説明し業務を開始した。

- 基本方針 1 力学的ダウンスケーリング手法およびデータ利用における技術移転
- 基本方針 2 統計的ダウンスケーリング手法およびデータ利用における技術移転
- 基本方針 3 HPC の調達および力学的ダウンスケーリング実施のための技術移転
- 基本方針 4 特定地域における統計的ダウンスケーリング

2.2 各活動の達成状況

(1) 業務期間および専門家の投入実績

本業務計画期間は当初1年9ヶ月（2020年7月～2022年2月）であった。プロジェクトの前半では、新型コロナウイルス感染拡大の影響による渡航制限により、日本・インドネシア双方の渡航が困難となったため、BMKG メンバーが本邦研修を通じて実施する予定だった地球気候モデル（MRI-AGCM）の力学的ダウンスケーリングは本業務の短期専門家が実施し、BMKG メンバーはリモートで活動を行う等、プロジェクト活動をインドネシアと日本の各々で実施し、オン

ラインミーティングを活用し共同作業を実施した。このような状況であったため、プロジェクト活動の一部である現地 OJT を通じたダウンスケーリングに係る技術移転が十分に実施できていなかった。このことから、新型コロナウイルス感染拡大の影響による活動の遅延を踏まえ、フェーズ2の協力期間が2022年5月8日までから2023年3月末までに延長され、それを受けて本業務の実施期間も2023年4月まで延長した。両国間の渡航制限が徐々に緩和され、2022年2月からは、インドネシアに本業務の短期専門家を派遣し、現地での活動を再開した。

専門家の投入実績は表1に示すとおりである。当初の投入計画、協力期間延長後の投入計画は付属資料1に付した。

表 1 専門家アサイン

専門家	分野	活動人月（インドネシア）	活動人月（日本）
登内 道彦	業務主任者／統計的ダウンスケーリング	1.37 人月 [2]	3.55 人月
栗原 弘一	気候変動予測／長期予報	3.03 人月 [3]	4.20 人月
千葉 長	力学的ダウンスケーリング 1	1.87 人月 [2]	4.80 人月
里田 弘志	力学的ダウンスケーリング 2	1.07 人月 [1]	3.90 人月

[x]: 現地渡航回数

(2) ワーキンググループ

本業務の具体的な成果目標は、気候モデルのダウンスケーリング（成果1）と、長期予報に係る技術移転（成果2）で、成果1については、成果1a（力学的ダウンスケーリング）、成果1b（統計的ダウンスケーリング）、成果1c（高解像度ダウンスケーリング）のサブ課題を設定した。

技術移転は、C/PであるBMKGと専門家がワーキンググループ（WG）を構成し、主としてWGによる活動を通して実施した。ワーキンググループ（WG）は、成果1aをWG1、成果1bをWG2、成果1cをWG3、成果2をWG4とした。WG1～4の活動内容は下表のとおり。

表 2 ワーキンググループの活動内容

WG1	力学的ダウンスケーリングの技術移転、および、ダウンスケーリングデータの活用。ダウンスケーリングに必要なHPCの調達、NHRCMのインストール。特定地域における複数シナリオのダウンスケーリングの実施。
WG2	統計的ダウンスケーリングの技術移転および複数シナリオの比較。（技術協力：農研機構 西森博士）
WG3	実用的な課題に対する高解像度ダウンスケーリング。（技術協力：筑波大学 日下教授、浅野氏）
WG4	長期予報・季節予報に係る技術移転。

各ワーキンググループのメンバーは下表のとおり。

表 3 ワーキンググループメンバーリスト

ワーキンググループ	BMKG メンバー	本業務の短期専門家
全体統括	Dr. Ir. Dodo Gunawan Kadarsah	登内 道彦 (業務主任)
WG1 (力学的ダウンスケーリング)	Apriliansa Rizqi Fauziah Agus Savana (マネジャー)	里田 弘志 千葉 長
WG2 (統計的ダウンスケーリング)	Dyni Frina Meisda Muhammad Sudirman Agus Savana (マネジャー)	登内 道彦 西森 基貴 (NARO)
WG3 (高解像度ダウンスケーリング)	Trinah Wati	登内 道彦 浅野 裕樹 (筑波大学)
WG4 (長期予報)	Supari (リーダー) Adi (マネジャー, 気候予測) Rama, Rosi (季節予報評価、モンスーン変動) Novi, Damiana (S2S 予測) Amsari, Ridha, Ayu (ENSO, IOD)	栗原 弘一

(3) 活動内容

フェーズ 2 の、各成果の活動は以下である。

- 活動 1-1 RAN-GRK メカニズムに関する政府、非政府/民間セクターの MER (モニタリング・評価・報告) システムの開発及び推進 (BAPPENAS)
- 活動 1-2 NDC への投資 (BAPPENAS)
- 活動 2-1 RAN-API のレビュー (BAPPENAS)
- 活動 2-2 季節予報と気候変動予測 (BMKG)
- 活動 2-3 国家適用計画改善のための脆弱性指標評価の強化 (KLHK)
- 活動 2-4 気候変動適用策の空間計画への主流化 (MASP (ATR))

本業務は活動 2-2「季節予報と気候変動予測 (BMKG)」に紐づくものであり、以下に本業務における活動の達成状況を示した。

- 活動 2-2-1 季節予報および気候変動予測の状況を確認し、全国およびパイロットエリアの脆弱性およびリスクアセスメントを支援する。(完了)

BMKG の状況を確認し、JICA 経済開発部の「農業保険実施能力向上プロジェクト」における気象観測データ評価能力強化(以下「農業保険プロジェクト」)の成果を補強する活動を実施した。

- 「農業保険プロジェクト」で、BMKG と JICA が共同で季節予測、データアーカイブ、データ品質チェックを行った。これらの活動については、本業務で継続して実施した。

活動 2-2-2 全国・パイロットエリアの脆弱性、リスクアセスメント支援のための季節予報および気候変動予測を改善するため、差異および優先エリアを特定する。(完了)

活動の実施可能性を踏まえ、BMKG と協議の下、以下の活動を決定した。

- 気候予測の優先順位は、2100 年までの期間について、力学的・統計的いずれかの手法により、少なくとも 1 つのシナリオ (RCP8.5 か RCP4.5) で高解像度ダウンスケーリングを実施し、BAPPENAS、KLHK、ATR、財務省等の関係機関に提供した。次いで、両方のシナリオでダウンスケーリングを実施した。また、BAPPENAS は 2020 年～2045 年のインドネシア全土における高解像度気候予測データを強く必要としていたため、2036~2055 年のダウンスケーリングを実施した。
- 季節予測については、利用者のニーズにより、長期 (1 年先) の高精度な季節予測に重点が置かれていた。そのため、「農業保険プロジェクト」の結果を踏まえ、季節予報の評価、モンスーン変動研究、Sub-seasonal to Seasonal (S2S) 予測研究、IOD 予測評価、1 年予測研究を実施した。

活動 2-2-3 上記 2-2-2 を行うため、BMKG ・関係職員の優先エリアにおけるパイロットエリアの脆弱性およびリスクアセスメント支援のため、季節予報および気候変動予測の能力を強化する。(完了)

- BMKG がターゲットとしている RCP8.5 と RCP4.5 のシナリオを用いた 2100 年までの気候予測を支援するため、近未来 (2034 年～2058 年) と将来 (2071 年～2100 年) の力学的ダウンスケーリングを実施した。また、ダウンスケーリングデータの後処理や評価、各種指標 (大雨や乾季の頻度など) の算出を行った。RCP4.5 は BMKG が供与した HPC を用いて実施することとしたが、国土が広いために、全国ではなく、まずはホットスポットをカバーすることを目指した。
- 統計的ダウンスケーリングのためのデータ (MRI モデル RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5、2006 年～2100 年) の共有と、過去の観測データを用いた統計的ダウンスケーリングの技術移転および演習を実施した。BMKG は BAPPENAS から依頼された期間 (2006 年～2100 年) のダウンスケーリングを実施・評価した。
- 専門家および BMKG は、共同して季節予測に関するトピックについて、月例ミーティングを開き研究を進めた。このミーティングでは、各トピックの進捗状況を共有し、協議した。
- 専門家は、力学的・統計的ダウンスケーリングを分析するためのガイドラインを BMKG と共有し、大雨の発生頻度などの気候インデックスを作成するための後処理方法について、BMKG の WG メンバー-OJT を行った。2022 年 7 月から 8 月にかけての現地活動では、プロジェクト専門家が気候変動予測に関する ATR と BAPPENAS の要求事項を調査し、ダウンスケーリングした気候変動予測から BAPPENAS 等の要求を満たすプロダクトを開発する手法を BMKG と共有した。

- 専門家は、2022年2月～3月、2022年7月～8月、2023年2月～3月にジャカルタにおいて、BMKGメンバーに対して気候モデルのインストール、データ・スクリプト等の共有、気候予測や季節予報を実施するためのOJTを行った。
- 2022年9月にHPCをBMKGへ輸送し、BMKGサーバールームに設置した。WG1メンバーが、このHPCを用いて力学的ダウンスケーリングを実施するための環境を整えた。
- 専門家は、2022年11月1日～3日にバンドン、11月15日～17日にスマランで、それぞれ気候予測・季節予報の成果を伝えるワークショップを実施した。ワークショップでは、短期専門家が「プロジェクト概要」「気候変動と気候モデル」「季節予報」について発表し、西ジャワ州、バンドン市、中部ジャワ州、スマラン市の地方部局やNGOを含む地方組織の参加があった。

活動 2-2-4 MASPや地方自治体等のユーザーのニーズにより、パイロットエリアの脆弱性およびリスクアセスメントを支援するため、季節予報および気候変動予測を実施する。(完了)

- 新型コロナウイルスの感染拡大の影響によりBMKG担当者が来日できなかったため、当プロジェクトの専門家チームにて、近未来の力学的ダウンスケーリングを実施した。
- ハインドキャストおよび将来(2071年～2100年)データの力学的ダウンスケーリングの一部は、「農業保険プロジェクト」で実施された。本プロジェクトでは、近未来(2035年～2058年)のインドネシア全土の力学的ダウンスケーリング(RCP8.5)を2020年度に実施した。ダウンスケーリングデータは、BMKGおよび関係組織に提供された。
- 日本側研究者とBMKG担当者による1kmメッシュのダウンスケーリングのため、共同研究を実施した。共同研究では、パイロットエリアをジャカルタとし、大雨事例を研究することとした。BMKGはジャカルタとその周辺の観測データおよび土地利用データを日本側に提供し、日本側研究者が地球温暖化や都市化の影響を収集し、シミュレーションを実施した。この研究結果は、筑波大学の浅野氏により、2023年3月6日に開催された公開ワークショップで共有された。
- BMKGは本業務の短期専門家の支援を受け、2022年にインドネシア全土を対象とした複数のシナリオ(RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)の25km解像度での統計的ダウンスケーリングを実施した。

活動 2-2-5 全国レベルで能力強化を行うため、2-2-1から2-2-4で実施した内容をBMKGの地方職員を含む関係者と共有する(完了)

- 本業務の短期専門家は、BMKGの季節予報担当者やBMKG外の研究者が参加する複数の「乾季・雨季準備会議」で、助言や情報提供を行った。
- 気候予測と季節予報の成果を伝えるワークショップを、2022年11月1日～3日にバンドン、11月15日～17日にスマランで実施した。ワークショップには、西ジャワ州、バンドン市、中部ジャワ州、スマラン市の地方部局やNGOを含む地方組織が参加した。
- BMKGは現地組織と協力して、気象・気候情報活用のためのClimate Field Schoolを、2022年8月21日・22日にメダンで開催した。関係者への予測データおよびアーカイブデータの共有の要望が寄せられた。

- BMKG は、2022 年 8 月 2 日～4 日にロンボク島で 2022/23 年雨季の全国予報官会議を開催した。会議には全国の BMKG 地方事務所職員が参加し、この際に季節予報の結果が報告され、また本業務の短期専門家による気候変動問題についての講義を実施した。
- 関係者への予測データおよびアーカイブデータの共有が求められているため、BMKG はデータを共有する気候変動情報システム (CCIS) の改良を計画し、予測データやアーカイブデータの共有を行うこととした。
- 本プロジェクトでは、2023 年 3 月 6 日に、気候予測データの共有とその活用を目的としたオープンセミナーを開催した。このセミナーでは、インドネシアの研究者と日本の研究者により、気候データの活用に関する知見が共有された。

(4) 供与機材

表 4 に示す機材を調達、BMKG へ供与した。供与機材の HPC に係る機材一式を図 1 に示す。

表 4 本業務における供与機材

品番	機材	数	機器	目的	設置場所
1	高性能コンピュータ (HPC)	2(J)	DELL PowerEdge R440	力学的ダウンスケーリング用の高性能コンピュータ	BMKG server room
2	モデム	2(J)	Disk enclosure with hard disks (4TB x 12) QNAP TLR1200CRN4012	RAID5, データストレージ用	BMKG server room
3	ノートパソコン	2(J)	Laptop PC Panasonic CF-SV8	HPC の遠隔操作	BMKG server room
4	電源ユニット	1(I)	APC AP9559 x1,with 2 VGA Cables (3meter)	電源ユニット	BMKG server room
5	CCIS のソフトウェア	1(I)	CCIS software development, trainings in Jakarta	CCIS の更新・改修	BMKG Bandon
6	ノートパソコン	2(I)	ASUS ASUS ROG Flow X13 GV301RC-R735A6T-O	CCIS サーバーの開発・遠隔操作	BMKG Bandon

(I) インドネシアで調達、(J) 本邦で調達

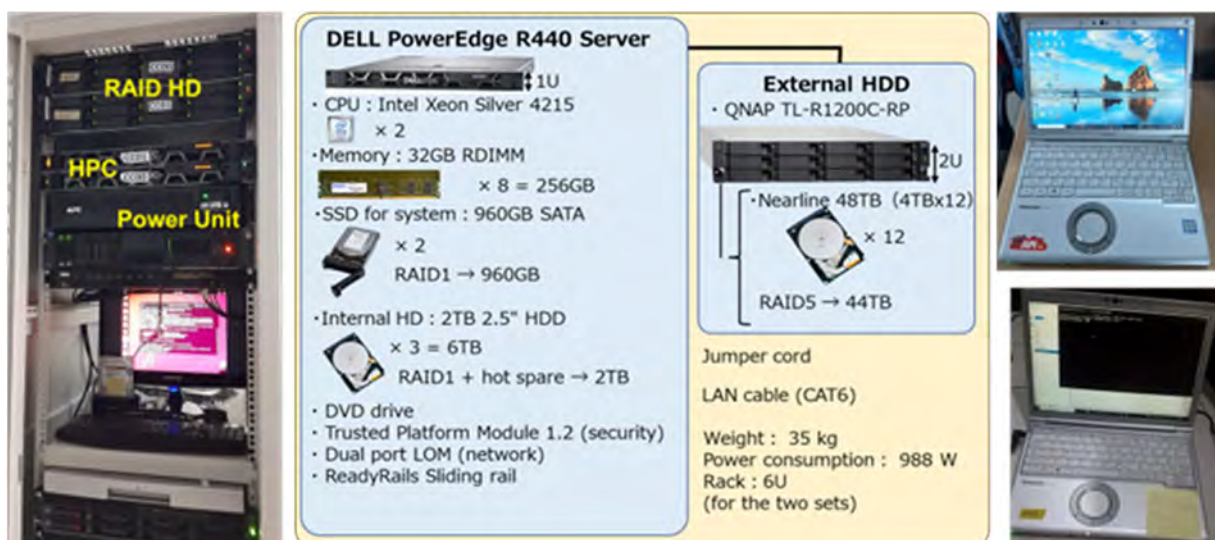


図 1 供与機材
 (左: HPC [品番 1, 2, 4], 中央: HPC の仕様, 右: 運用端末 [品番 3])

気候変動データや過去のアーカイブデータを利用者に共有するため、BMKG は 2012 年から 2014 年にかけてデータの管理・活用を目的とした Climate Change Information System (CCIS) サーバーを開発したが、コンピューターウイルスにより、その機能が停止していた。利用者からの要望に基づき、過去のデータや WG1 活動で得た予測データを共有するため、この CCIS サーバーを復旧させることとした。CCIS サーバーの復旧・機能追加、ソフトウェア開発、BMKG による保守運用のためのトレーニング、CCIS 開発運用のためのノート PC の調達について、本業務で支援した。

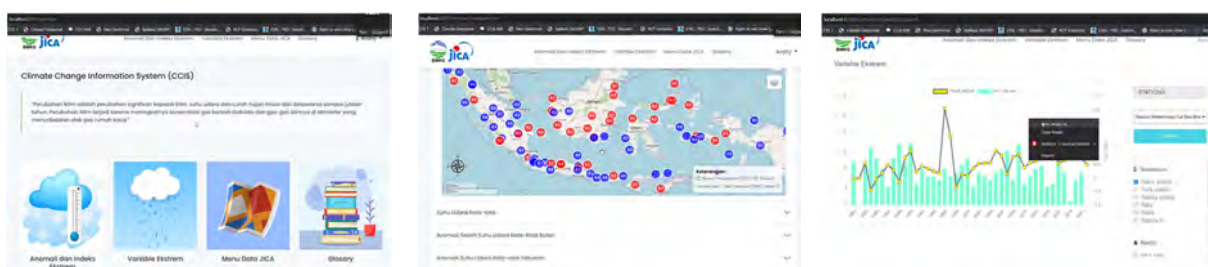


図 2 CCIS サーバーの画面イメージ

CCIS の開発は 2023 年 3 月末に完了し、BMKG は 2023 年 4 月に BMKG 職員向けに CCIS 利用に係るトレーニングを実施した。

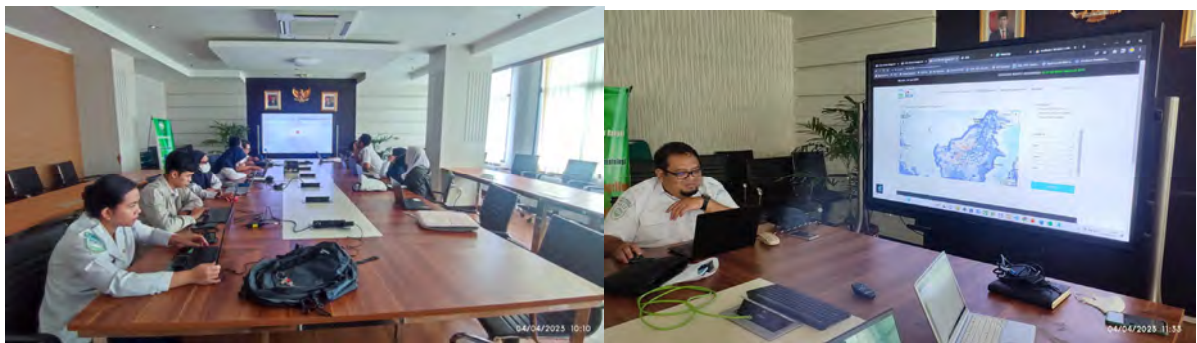


図 3 CCIS 運用トレーニング (2023 年 4 月)

(5) 技術成果品

本業務では、インドネシア建国 100 周年にあたる 2045 年の気候変動予測に対する強い要望があったことから、近未来 (2036~2055 年) についても、同じ MRI-AGCM の RCP8.5 について、WG1 の活動として、5km 解像度の力学的ダウンスケーリングを実施した¹。これらのデータは、HPC 付属の RAID システムおよび外部 HD に格納し、BMKG に提供された (図 4)。

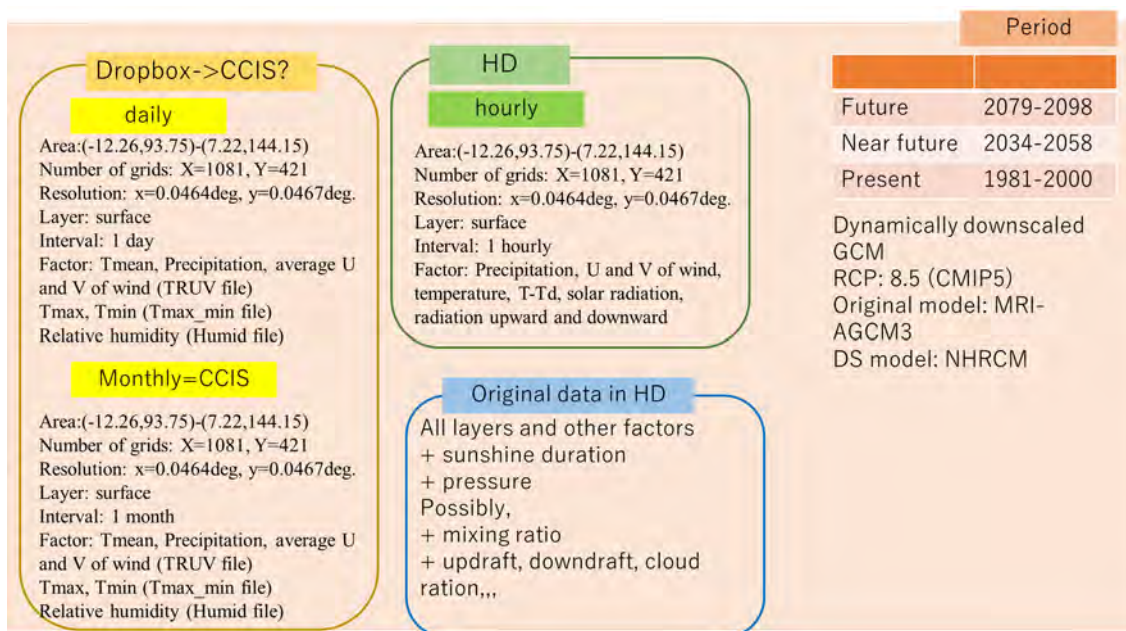


図 4 気候モデルダウンスケールデータ (力学的ダウンスケーリング)

¹ 「農業保険プロジェクト」では、MRI-AGCM の RCP8.5 シナリオについて、現在および将来について 5km 解像度のインドネシア全域にわたる力学的ダウンスケーリングを実施した。

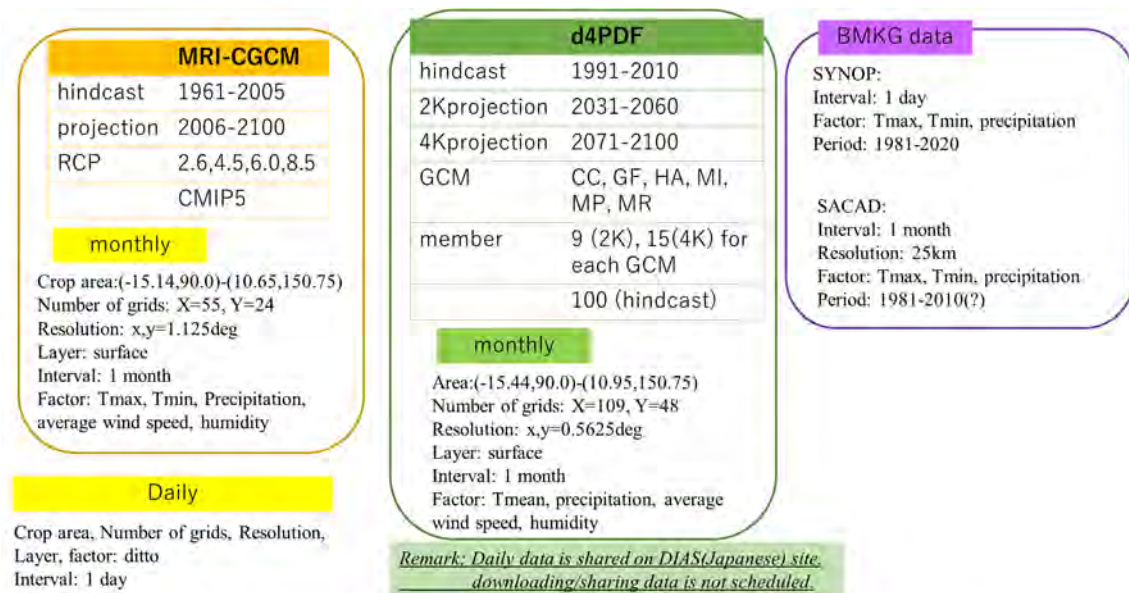


図 5 気候モデルダウンスケールデータ (統計的ダウンスケーリング)

WG2 では、全球気候モデルから統計的な手法によりダウンスケーリングを実施するためのツールが共有され、BMKG が収集した観測地点データ、メッシュデータ (SACAD) により、統計的ダウンスケーリングが実施された。統計的ダウンスケーリングを実施するために、MRI-CGCM の 4 つのシナリオ (RCP2.6,4.5,6.0,8.5) について、過去実験 (1961~2005)、および、将来実験 (2006~2100) の月統計値および日統計値が共有された、また、モデルによる将来予測結果の差異を検討するために、疑似温暖化による d4PDF モデル (2K 上昇および 4K 上昇) について、6 つの気候モデルの月統計値を BMKG に共有し、統計的ダウンスケーリングの演習およびモデル間の比較に利用した。本プロジェクトで共有された統計的ダウンスケーリングのためのデータは、図 5 のとおり。

2022 年 2 月渡航時に、本プロジェクトで BMKG が提供可能となるデータについて、BAPPENAS などの関係機関と、利用者ミーティングを実施した。関係機関からのデータに対する要望は、図 6 のとおりで、極値などの統計データは 2022 年の活動で作成・共有された。

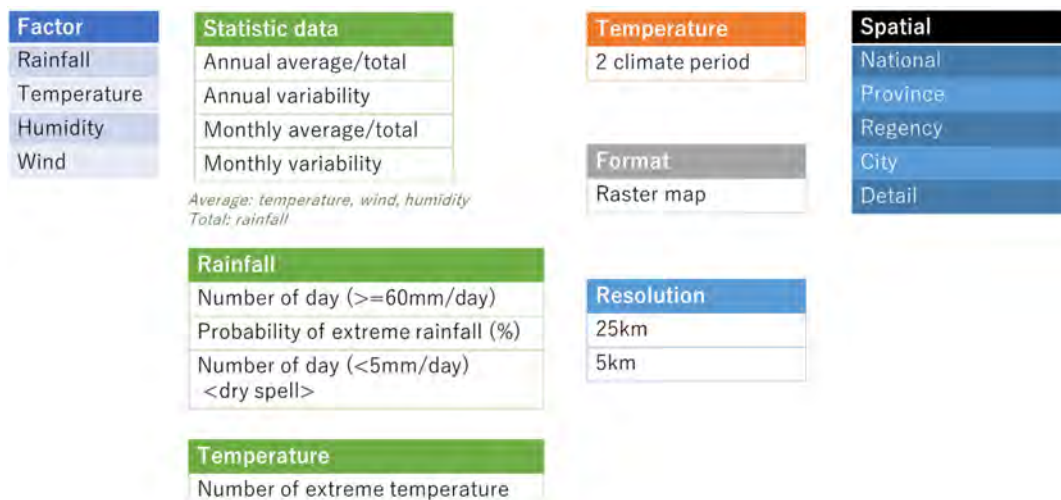


図 6 気候変動データへの利用者ニーズ (2022 年 2 月利用者会合より)

3. 活動内容・活動実績

本業務は、BMKG を対象として、力学的手法および統計的手法により高解像度のダウンスケーリングに係る技術移転を行い、このデータの利活用促進のため、BAPPENAS をはじめとする実施機関が必要とする情報の作成・共有について BMKG へのデータ利用に関する能力の強化を行うことを主な目的とした。

本業務で実施するダウンスケーリングは、成果 1a（力学的ダウンスケーリング）、成果 1b（統計的ダウンスケーリング）、成果 1c（高解像度ダウンスケーリング）で構成され、以下それぞれの活動について報告する。長期予報に係る技術移転は成果 2 とし、3.4 項で報告する。

3.1 成果 1a（力学的ダウンスケーリング）

3.1.1 成果 1a の背景と基本方針

インドネシアでは、将来の気候変動に伴う災害の深刻化・発生頻度の増加が重要なリスク要因となることが懸念されている。そのため、国・地方レベルの開発計画・空間計画・セクター毎の施策の策定・実施段階で、気候変動による影響や地域およびセクターの脆弱性を考慮し、それらを計画・施策に反映し気候変動の主流化を図っていくことが重要になっている。

将来の気候変動に伴う災害の深刻化・発生頻度の増加を評価し、地域レベルの開発計画や政策立案に活用するためには、地域スケール（分解能 5km 程度）の気候変動予測が必要で、BAPPENAS および関連省庁より、インドネシア国全域における高解像度（5km）ダウンスケーリングの実施を、要望されていたが、このためには、高性能計算機を必要とするとともに、計算には数か月を要する。²

具体的には、全世界を対象とした全球気候モデル（分解能 20km 程度）の予測結果から境界条件（ダウンスケーリング計算のための元となるデータ）を切り出し、より詳細な地形や陸面、海面水温分布の影響を考慮できる地域気候モデルを実行し、現在および将来の地域的な気候変動予測（力学的ダウンスケーリング）を行う必要がある。また得られた計算結果について、現在気候の再現性評価、予測結果の評価を行うとともに、気候変動対策に必要な影響評価に資する情報のとりまとめを行い、気候変動対策を担当する関係機関に提供する必要がある。

本プロジェクトでは、「農業保険プロジェクト」で計算した「現在」気候の 10 年（1981 年から 1990 年）および「将来」気候の 10 年（2081 年から 2090 年）に加え、気象庁気象研究所（MRI）および国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の協力を得て、「現在」（1991 年から 2000 年（10 年間）および「将来」（2091 年から 2100 年（10 年間））の高解像度（5km）の力学的ダウンスケーリングを実施し、また、インドネシア国から要請のあった「近未来」（2035 年から 2055 年）についても、MRI 等の協力を得て、高解像度（5km）の力学的ダウンスケーリングを実施する。当初計画では、BMKG 職員が来日し、力学的ダウンスケーリングを行う予定だったが、新型コロナウイルス感染症拡大防止の影響で BMKG 職員は来日できなくなったため、代替案として、MRI の協力のもと、本業務の短期専門家チームが実施し、その結果を BMKG に提供する。

本プロジェクトでは、気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3 の RCP8.5 シナリオデータを、

² 2019 年度に、統合的気候モデル高度化研究プログラムテーマ C では、気象庁気象研究所（MRI）の協力のもと、BMKG 職員が実施した「現在」気候の 10 年（1981 年から 1990 年）および「将来」気候の 10 年（2081 年から 2090 年）の合計 20 年間の気候計算については、地球シミュレーター（ES）を使用して計算したが、この気候計算には約 4 か月を要した。

気象研究所領域気候モデル NHRCM によりダウンスケーリングを行う。MRI-AGCM3 と NHRCM の解像度の違いを図 7 に示す。AGCM に比べて解像度の高い NHRCM では、バリ島の山地に対応する地上気温の低下がよく表現されている。

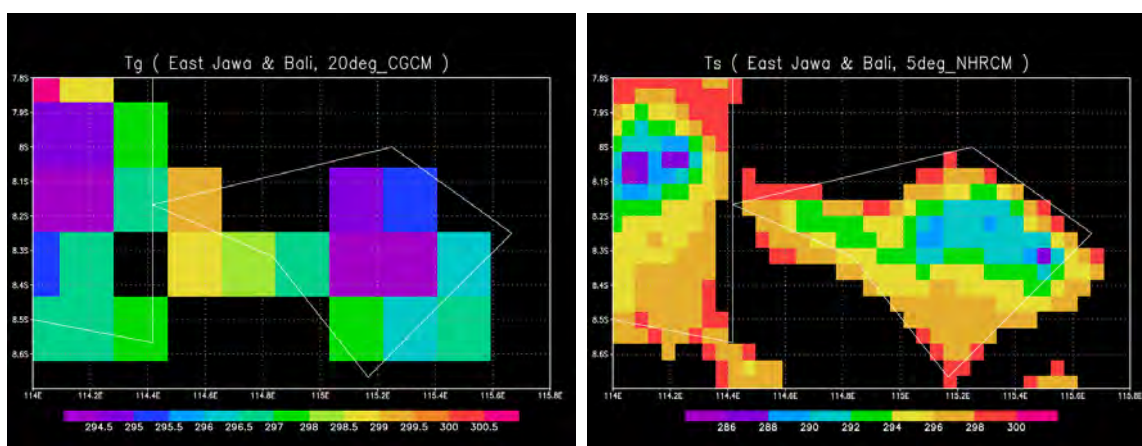


図 7 地上気温の表現で見た AGCM と NHRCM の違い

左：AGCM（解像度 20 km）、右：NHRCM（解像度 5 km） 白線は、ジャワ島東部およびバリ島の海岸線、色はそれぞれのモデルで再現された地上気温分布を表す。

加えて、本業務では 2 式の HPC およびデータストレージ（HDD）を調達し、ジャワ西部等の各地域における力学的ダウンスケーリングを BMKG 内で実施できるよう技術移転を行う。現地技術移転は、本業務の短期専門家チームが HPC、ダウンスケールした計算結果（HDD に格納）、講義資料、マニュアルを、BMKG に携行し、BMKG サーバルームへの設置・調整、NHRCM のインストール、スクリプト作成、計算の実施及びその評価に関する講義と演習を実施する。

3.1.2 成果 1a に係る現状と課題

本業務の実施機関の一つである BMKG は、気候モデルの活用、インドネシア全土を対象とした長期気候変動予測ダウンスケーリングの実施、ダウンスケーリングの出力データの活用を担務しているが、BMKG にはこれらの分野における活動に必要な計算機資源を保有していないことに加え、力学的ダウンスケーリングを実施し、その結果を活用するための経験・技術が不足していた。

このため、BMKG 等の職員を対象とした現地および本邦における研修を通じた気候変動予測ダウンスケーリングと、そのデータを活用する技術の習得に向けた支援を行うこととした。

3.1.3 成果 1a の活動内容

成果 1a においては、「気象研究所においてインドネシア全域を対象とした 5km 解像度の力学的ダウンスケーリング」および「力学的ダウンスケーリングのための技術移転とハードウェアの供与」を行い、以下の通り成果目標および活動計画を設定した。

(1) インドネシア全域を対象とした 5km 解像度の力学的ダウンスケーリング

a) 成果目標

インドネシア全域を対象とした 5km 解像度の力学的ダウンスケーリングについて、「農業保険

プロジェクト」で実施して部分的に計算が完了していた現在（1981～2000）および将来（2080～2100）に加えて、近未来（2036～2055）のダウンスケーリングを実施し、計算結果の品質評価を行うことを目標とした。

b) 活動計画

当該ダウンスケーリングの計算は、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」領域テーマ C（統合的気候変動予測）と連携して、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の地球シミュレーターを用い、20km AGCM の予測結果から、気象研究所が開発した地域気候モデル（NHRCM）を用いて実施することとした。

ダウンスケーリング作業にあたっては、新型コロナウイルス感染拡大防止のため本邦に渡航できなくなった BMKG 職員に代わり、本業務の短期専門家が計算を実施することとした。また計算結果の一部を BMKG に送付し、BMKG 職員によって解析を行うこととした。

(2) 力学的ダウンスケーリングのための技術移転とハードウェアの供与

a) 成果目標

力学的ダウンスケーリングのための技術移転とハードウェアの供与については、(i)インドネシアでさらなる力学的ダウンスケーリングを可能とする HPC、および、(ii)解析結果を関係機関向けに説明するときに使用する評価用 PC を調達すること、ならびに、(iii)NHRCM プログラム・スクリプトのインストール、5km 解像度ダウンスケーリング結果等必要なデータの HPC への格納を完了することを目標とした。

b) 活動計画

HPC の調達にあたっては、インドネシアでを使用することを考慮しつつ、気象研究所の専門家の知見を参考にして NHRCM の実行に必要な HPC の仕様を決定し、調達を行うこととした。また HPC へのインストール作業にあたっては、本邦渡航ができなくなった BMKG 職員に代わり、本業務の短期専門家が作業を行った。

3.1.4 成果 1a の達成状況

以下の通り、成果 1a に関して計画された作業は、すべて目標通り達成された。

(1) インドネシア全域を対象とした 5km 解像度の力学的ダウンスケーリング

予定していたダウンスケーリング作業はすべて終了した。使用したシナリオは CRP8.5 シナリオ、計算領域はインドネシア全土である。計算状況を図 8 に示した。計算結果は HPC に格納し、インドネシア渡航時に BMKG に搬入した。

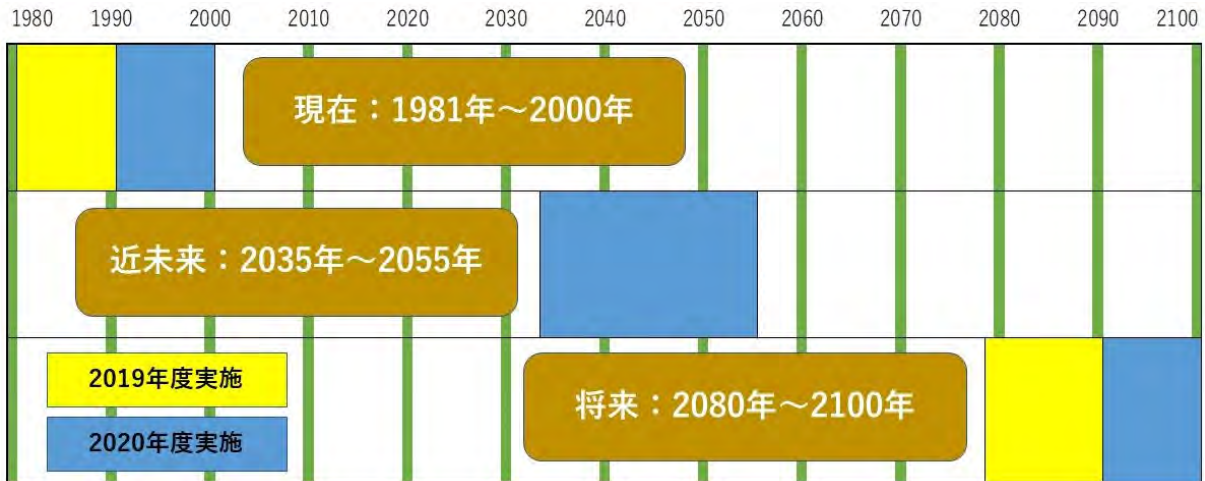


図 8 5km 解像度力学的ダウンスケーリングの作業状況

計算結果のうち、地上気温、風、降水量等を先行して BMKG に送付し、BMKG 職員による解析作業を実施した。解析結果は「統合的気候モデル高度化研究プログラム」2020 年度研究成果報告書に掲載された（附属資料）。

(2) 力学的ダウンスケーリングのための技術移転とハードウェアの供与

HPC および評価用 PC（評価結果のプレゼンテーションに使用予定）を図 9 のとおり調達し、気象研究所サーバー室に暫定的に設置し、OS、NHRCM およびデータのインストール作業を行った。

HPC の調達や OS の選定にあたっては、さらに高解像度の力学的ダウンスケーリング計算が実行できるプロセッサおよびメモリ容量を備えるものであること、これまで実施してきた 5km ダウンスケーリング結果を格納できる外付けハードディスクを備えることを要件とした。また、BMKG で使用することを考慮し、HPC を 2 セット調達して冗長性を持たせるとともに、HDD 等の部品は故障時に現地で調達しやすい汎用品を採用した。さらに、BMKG で使用されている Linux（Cent OS 7）を OS として採用した。この仕様の HPC であれば、成果 1b（統計的ダウンスケーリング）の用途にも十分使用できる。

評価用 PC については、現地で関係機関への説明に使用することを考慮し、OS やアプリケーションを多言語対応とするとともに、US 配列のキーボードや多くの外部出力端子を備えること、衝撃に強く耐久性があることを考慮して調達した。

これらの機材は本業務の短期専門家のインドネシア渡航時に合わせて輸送し、BMKG に設置することとした。インドネシア側の輸入手続きに時間がかかったが、2022 年 8 月 25 日に BMKG に搬入され、2022 年 10 月に BMKG サーバルームに設置された。

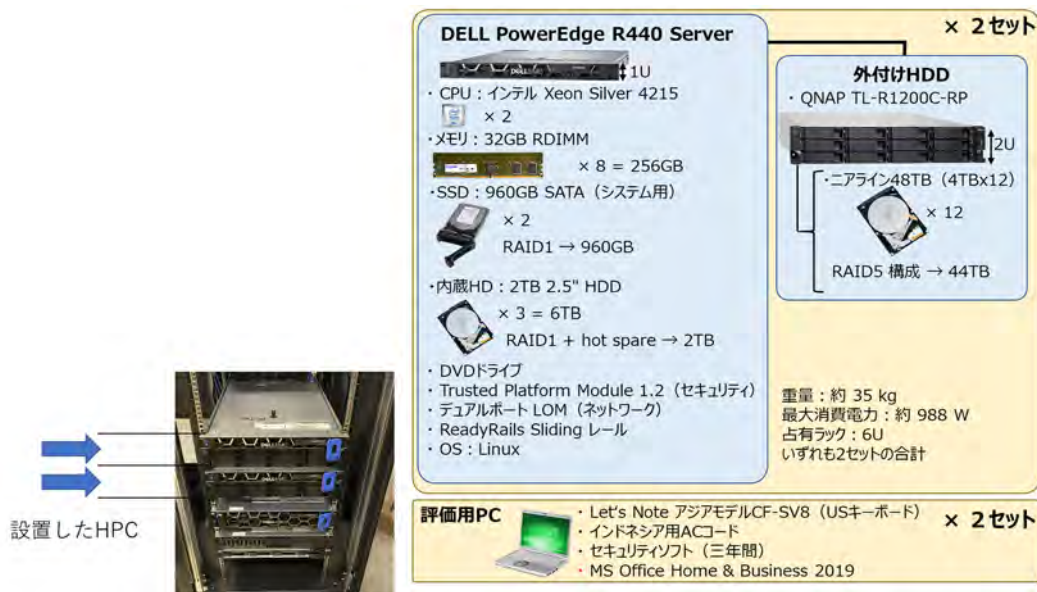


図 9 HPC 及び評価用 PC の仕様

(3) ダウンスケーリングデータの活用能力習得支援

BMKG 等、インドネシア側の政府機関が、ダウンスケーリング結果を活用して気候変動適応策の検討を行う能力を強化するため、以下の作業を行った。

- BMKG や BAPPENAS 等カウンターパートを対象とした、力学的ダウンスケーリング結果を活用した気候変動への適応策に関するわが国の事例を紹介する資料を作成した。
- 現地プロジェクトオフィスの支援により、BAPPENAS、ATR 等の関係省庁がダウンスケーリングデータに対して持っている具体的なニーズを把握し、BMKG がそれらのニーズに応えられるためのデータや解析ツールの開発を行った。
- BMKG 担当官と作業部会会合（2021年9月22日、11月8日、12月14日、2022年2月2日、3月1日、6月27日）を開催し、以下の活動を行った。
 - 使用する OS、ソフトウェア等 BMKG におけるデータ処理環境及び職員の習熟状況を確認した。
 - 提供済みの時別データが大きすぎて使いづらいことから、日別・月別の平均値を作成し、オンラインファイル共有システム Dropbox を使用して共有を行った。また、ダウンスケーリングデータに対する関係省庁の要望を踏まえ、相対湿度データを追加提供した。
 - これらのデータを解析・図化するためのスクリプトを開発・提供し、BMKG によるデータ解析作業を支援した。
 - 関係省庁のニーズを踏まえて解析を行うべき項目の調査を実施した。
 - 地方職員及び地上自治体に対するワークショップにおける討議事項について検討を行った。

これらの検討の結果、プロジェクトで作成した力学的ダウンスケーリング結果と統計的ダウンスケーリング結果を使用して、関係省庁が必要とする情報を作成する手法についてのガイドラインを作成し、短期専門家派遣時の 2022 年 8 月 29 日に WG メンバーに共有した。

また、短期専門家の派遣に合わせて、BMKG から気象研究所に対する NHRCM の貸与申請に関する支援を行い、2022 年 9 月 2 日付で気象研究所所長の貸与許可が得られた（付属資料）。

(4) BMKG 職員及び地方自治体職員向けセミナーの実施

BMKG 職員及び西ジャワ地方の地方自治体職員を対象として、地球温暖化予測の基本及びインドネシア周辺の地域的な気候変動予測結果についてのセミナーを以下のとおり実施した。

- 2022 年 8 月 4 日 BMKG 雨季季節予報会議
- 2022 年 11 月 2 日 西ジャワ地方向け季節予報ワークショップ

セミナーでは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 6 次評価報告書の内容を引用しつつ、地球温暖化の原理、過去の気候変動の実態、温暖化予測の手法、シナリオに応じた地球温暖化予測、インドネシアを中心とした地域的な温暖化予測について解説を行った。

(5) 計算結果の解析に資するプログラム及びマニュアルの整備

20km から 5km へのダウンスケールは日最高気温、日最低気温等の算出も行うため、1 時間ごとの出力となっている。1 時間データはデータ量が膨大になるため、日平均、月平均、年平均の形でデータの統計を行った。統計を行う際には、最高気温、最低気温などの算出も同時に行った。これらの統計データは(3)で述べたように随時 BMKG との共有を行っている。

データ解析は Grads と呼ばれる描画ソフトにより、解析に必要な Grads コマンドをまとめた Grads スクリプトの作成を行った。

また、日平均データをベースとして算出される極端事象（降水期間、無降水期間など）の算出を行うプログラムの作成も行い、発現頻度の現在、近未来、未来の各年代の分布を表示する HTML スクリプトも作成した。

上記の解析において作成されたプログラムは Fortran、Grads スクリプト、HTML スクリプトであるが、これらはすべて BMKG に提供された。同時にこれらのプログラムやスクリプトの使い方についての説明も随時行った。BMKG では目的に応じて提供されたプログラムのカスタマイズを行い使用している。

(6) ダウンスケールした予測の解析結果

熱帯海洋大陸であるインドネシアは、気候関連災害に対して最も脆弱な国の一つである。降水量は、国民の多くの生活部門と相互作用するパラメータであり、インドネシアにおける気象・気候の予測・解析に関する取り組みの多くは、降水量とその関連情報に焦点を当てている。BMKG チームは、気象研究所（MRI）で開発された非静力学地域気候モデル（NHRCM）を用いて、インドネシアにおける過去の状態および複数の将来期間を分析した。

NHRCM のデータを用いて、過去と未来の降水量、最高気温、最低気温を以下の通り解析した。

- AGCM 20 km を境界値として使用して 5x5km 解像度へのダウンスケールを実施（1081x421 格子点）
- 対象地域：インドネシア全土および周辺大陸地域（東経 93.76 度～144.15 度、南緯 12.26 度～北緯 7.23 度）
- 現在気候：1981 年 8 月～2001 年 9 月
- 近未来：2034 年 8 月～2059 年 9 月

- 将来：2079年8月～2099年9月
- 使用したシナリオ：RCP8.5シナリオ
- 各シミュレーションの最初の月は、モデルのスピンアップタイムとし、統計から除外した。

a) 過去の気候の解析結果

[観測値との比較]

シミュレーション結果を、過去の降水については0.05度分解能のCHIRPSv2.0（衛星解析データ）グリッドデータセット（降雨観測基準）と、気温については0.3度分解能のERA5（ECMWF再解析）データセット（気温観測基準）と比較した。

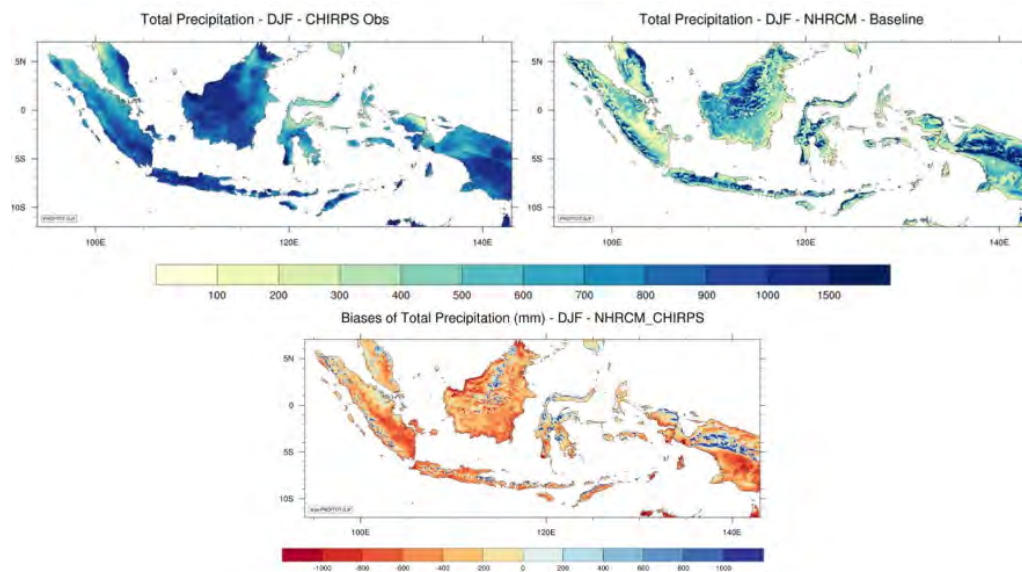


図 10 NHRCM と CHIRPSv2.0 の 12 月～2 月 (DJF) 降水量の比較
(左上) CHIRPS による観測、(右上) NHRCM によるシミュレーション、(下) 両者の差

過去期間（1981～2000年）の12月～2月（DJF）の降水量シミュレーションと、それぞれの期間のCHIRPS観測データ、両者の差を図10に示す。降水量は全般に、NHRCMは観測データに対してほぼ一様に過小になっている。また、NHRCMは、衛星解析データに比べ、インドネシアの地形による多寡が明瞭で、スマトラ、ボルネオ、ジャワ、セレベス、ニューギニアにまたがる山脈の標高分布と良く対応している。NHRCMは、山岳地帯の降水量を多めに、標高の低い平地の降水量を少なめに推算する傾向がある。NHRCMは、DJFのように北半球からの風が支配的な場合、山岳の風上では降水量が多く、風下では降水量が少なく、地形効果を強く推算される。

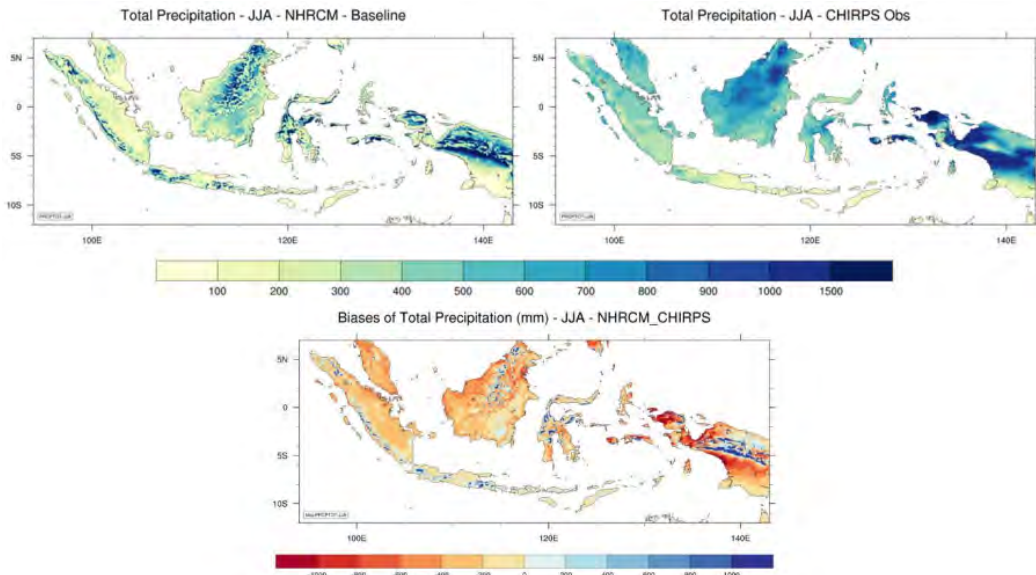


図 11 NHRCM と CHIRPSv2.0 の 6 月～8 月 (JJA) 降水量の比較
 (左上) NHRCM によるシミュレーション、(右上) CHIRPS による観測、(下) 両者の差

過去期間 (1981-2000 年) の 6～8 月 (JJA) の降水量シミュレーションと、それぞれの期間の CHIRPS 観測データ、その差分を図 11 に示す。NHRCM は、CHIRPS の観測データと比較すると、地形に対応したパターンを表現し、降水の空間的分布を良く再現している。NHRCM はインドネシア全領域で降水量を少なめに推算している。一方、DJF のところで見たと同じように、山岳地帯の降水量は過大に評価されている。JJA では南半球からの風が支配的になるが、NHRCM では DJF と同様に、山の風上側で降水量が多く、風下側で少なくなる、地形効果によるコントラストが大きい。

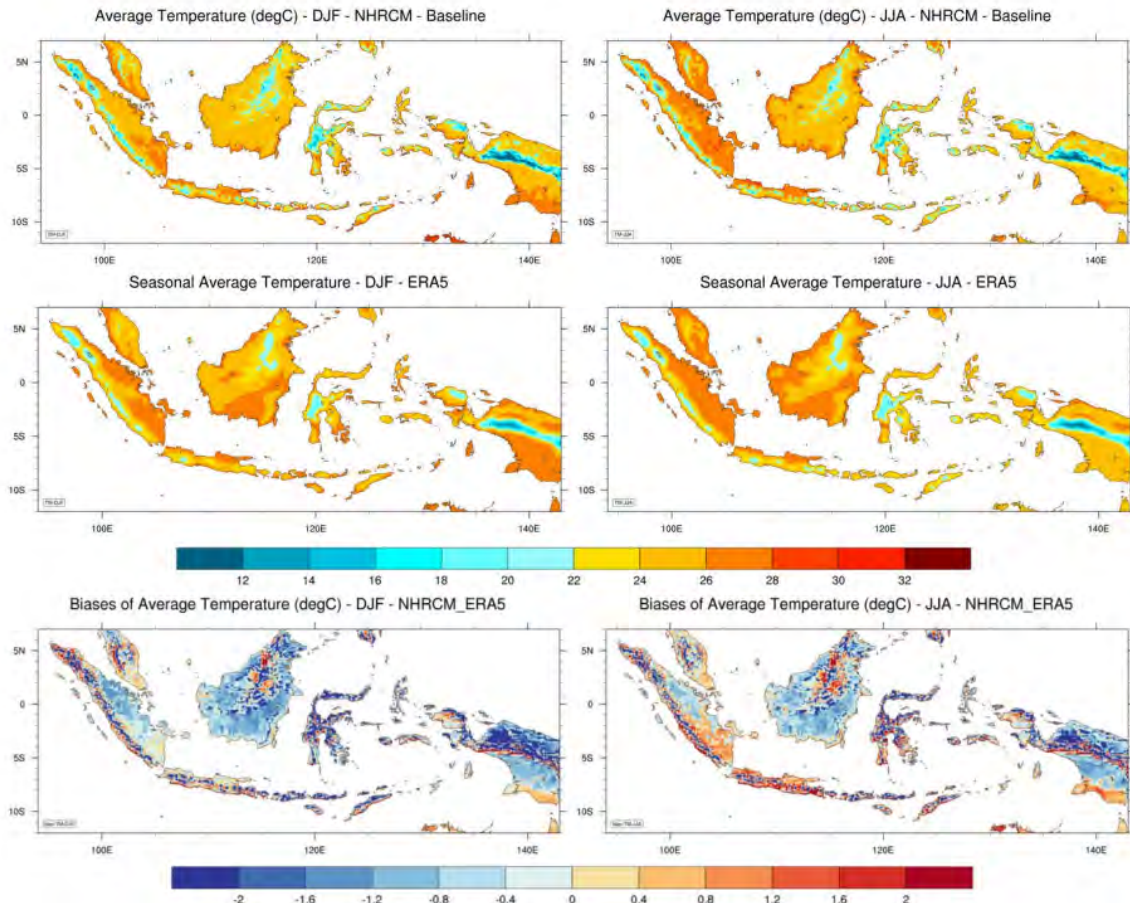


図 12 NHRCM と ERA5 の 12 月～2 月 (DJF) (左) 及び 6 月～8 月 (右) 気温の比較

図 12 は、NHRCM の推算結果と、ERA5 の再解析データの比較だが、観測データの空間パターンは良く再現できている。NHRCM と ERA5 の違いは空間分解能の違いで、NHRCM は 5x5km の高い分解能を持っているが、ERA5 はやや粗く、NHRCM の方が地形分布に関する空間表現が優れていることがわかる。このような特徴は、DJF と JJA の両シーズンにおいて同様である。なお、山間部では NHRCM は ERA5 に比べ寒暖の差が大きくなる傾向がある (最大 2°C の差)。これは、この地域ではモデルの精度がそれほど高くないこと、再解析データでは、山間部の気温を正しく表現できていないことによると推察され、現地観測データで検証を行う必要がある。また、JJA シーズンでは、ジャワ島の低地で 0.8°C～1.6°C の高温バイアスが認められた。このようなバイアスについても、今後のさらに検討していく必要がある。

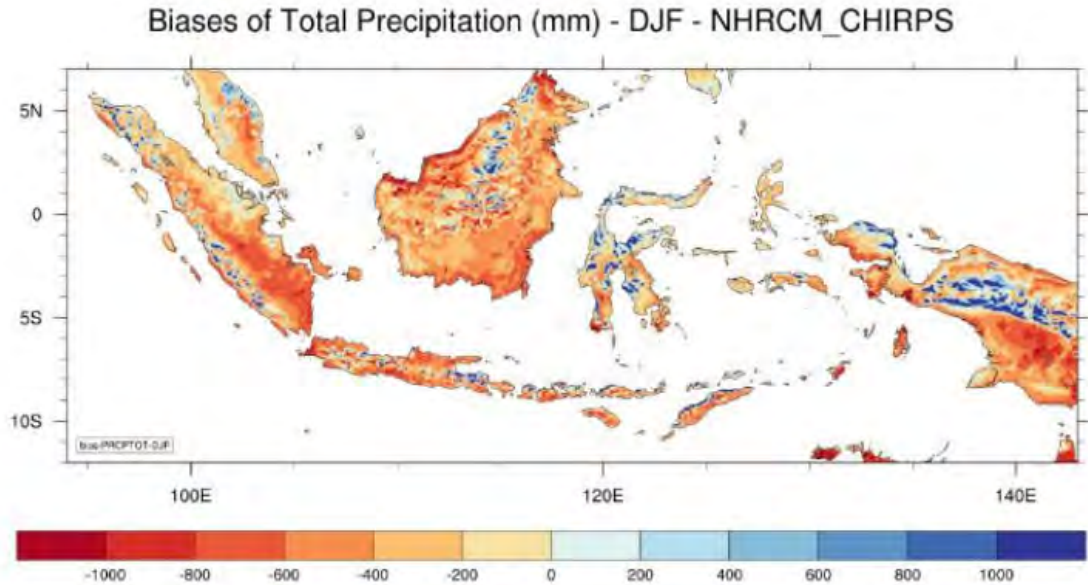


図 13 12月～2月（DJF）降水量のバイアス

図 13 は、NHRCM と CHIRPS の間のバイアスで、NHRCM では、山間部の降水量を多めに評価し、標高の低い平地の降水量を少なめに評価する傾向がある。NHRCM は、北半球からの風が支配的な DJF の場合、山の風上側（北側）では降水量が多く、山の風下側（南側）では乾燥する地形効果を強調する降水量分布を示す。

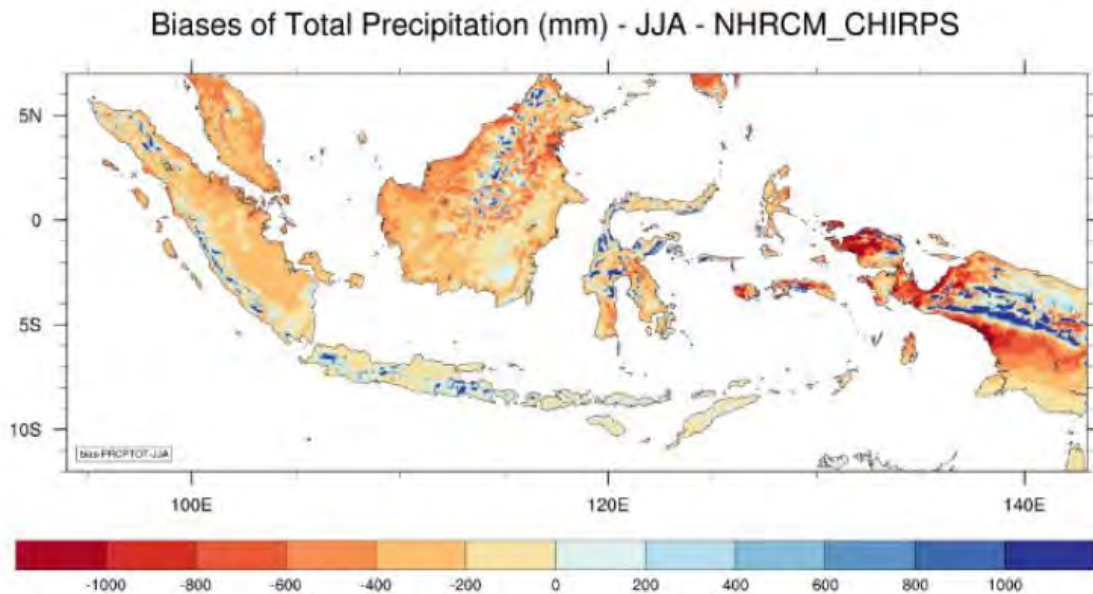


図 14 6月～8月（JJA）降水量のバイアス

JJA（図 14）の降水量については、NHRCM は CHIRPS に比べて、インドネシアほぼ全土で、降水量を少なめに推算している。山岳地帯では、DJF と同様に山岳地帯の降水量は多めに推算している。また、JJA では南半球からの風が支配的になるため、NHRCM では、山の風上側（南側）で降水量が多く、山の風下側（北側）では降水量が少なくなる。

[BMKG 地方官署の観測結果との比較]

観測データの入手が容易な、ジャワ島の BMKG 地方官署の現地観測を NHRCM と比較した。ジャワ島の官署の位置を図 15 に示した。

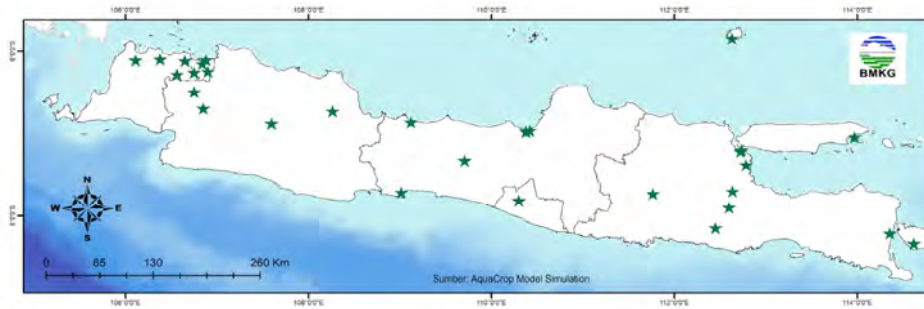


図 15 BMKG 地方官署の分布

降水量

現地観測データと NHRCM データとの日降水量を比較し、ベースライン、近未来、将来について、西ジャワと中ジャワの月別値の変化を図 16 に示した。

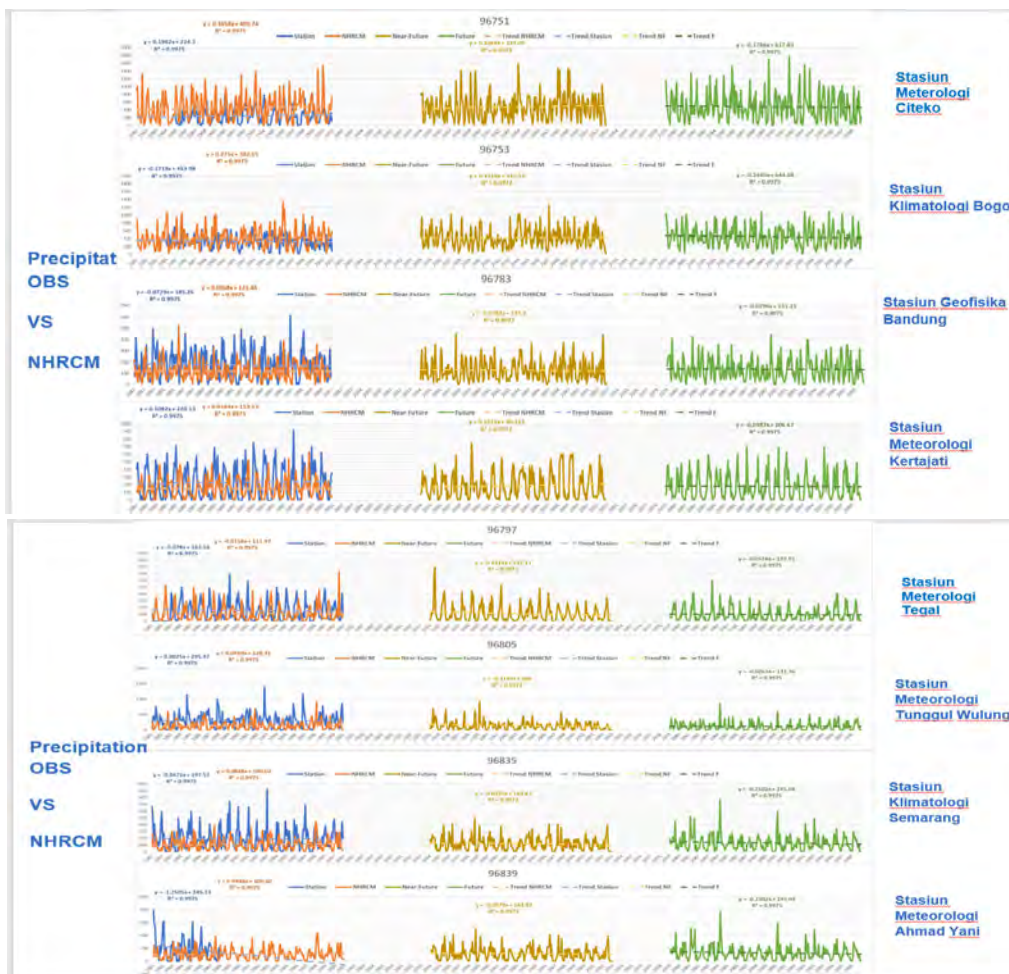


図 16 降水量の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(下) ジャワ島中部

比較のため、現地観測データと NHRCM の推算結果の差を図 17 で示す。降水量について、モ

デルが観測値よりも少ない地点は「赤」、多い地点は「青」で示している。青い点は山間部に、赤い点は平地に分布しており、NHRCP の Chirps や NHRM に対するバイアス携行と一致する。

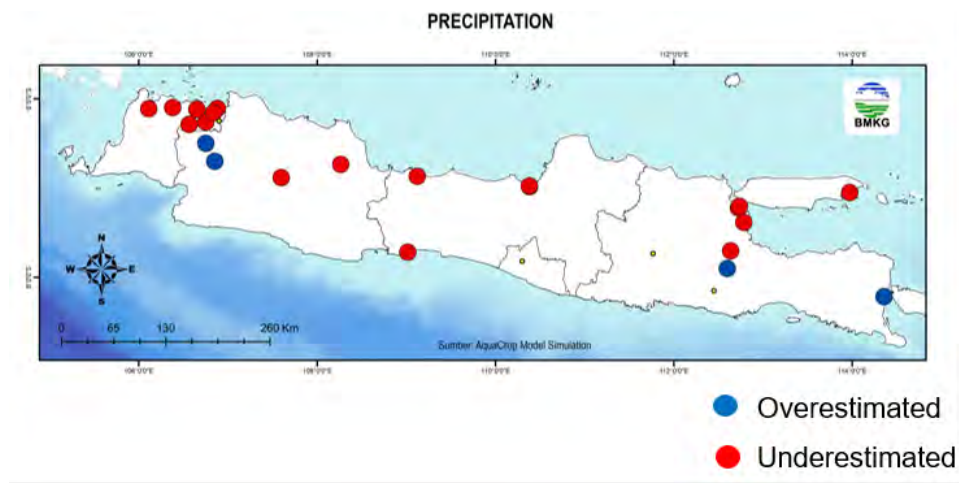


図 17 ジャワ島における降水量の観測値と NHRM の比較
青丸：過大評価、赤丸：過小評価

気温

日平均気温の、実況観測値と NHRM を比較し、ベースライン、近未来、将来の月統計値の変化傾向を、西ジャワとジャワ島中部について、図 18 に示した。

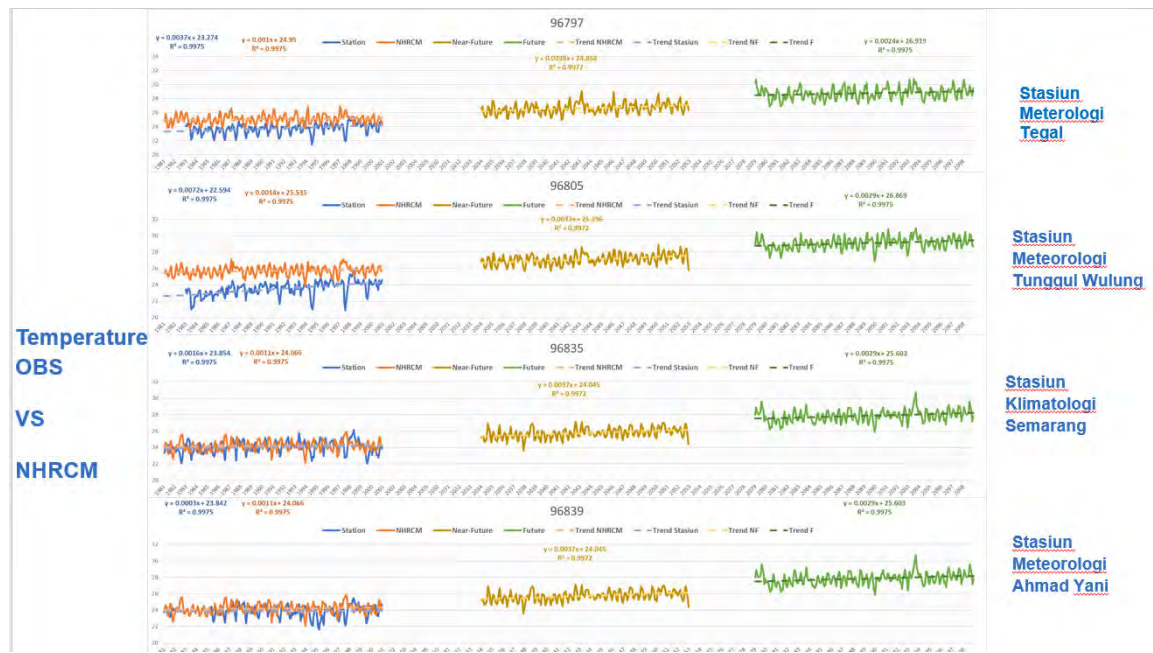


図 18 気温の観測値と NHRCM の比較 (上) 西ジャワ、(下) ジャワ島中部

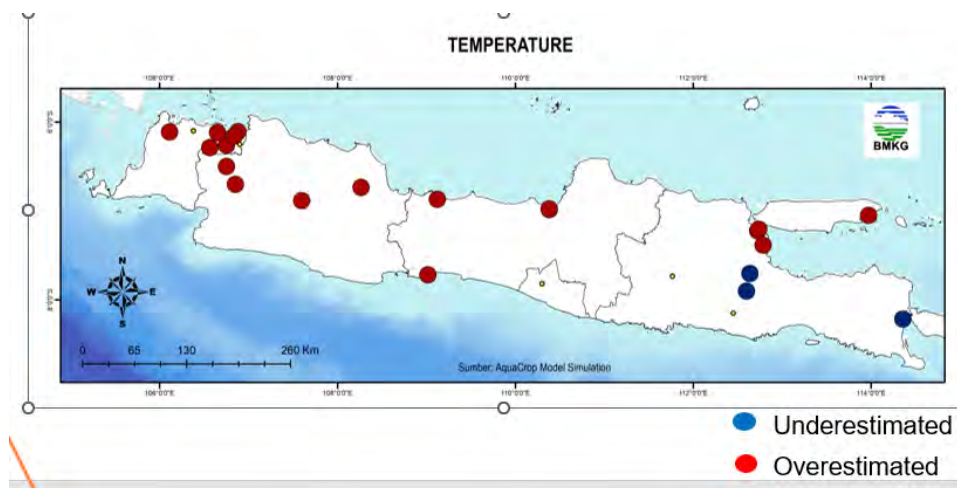


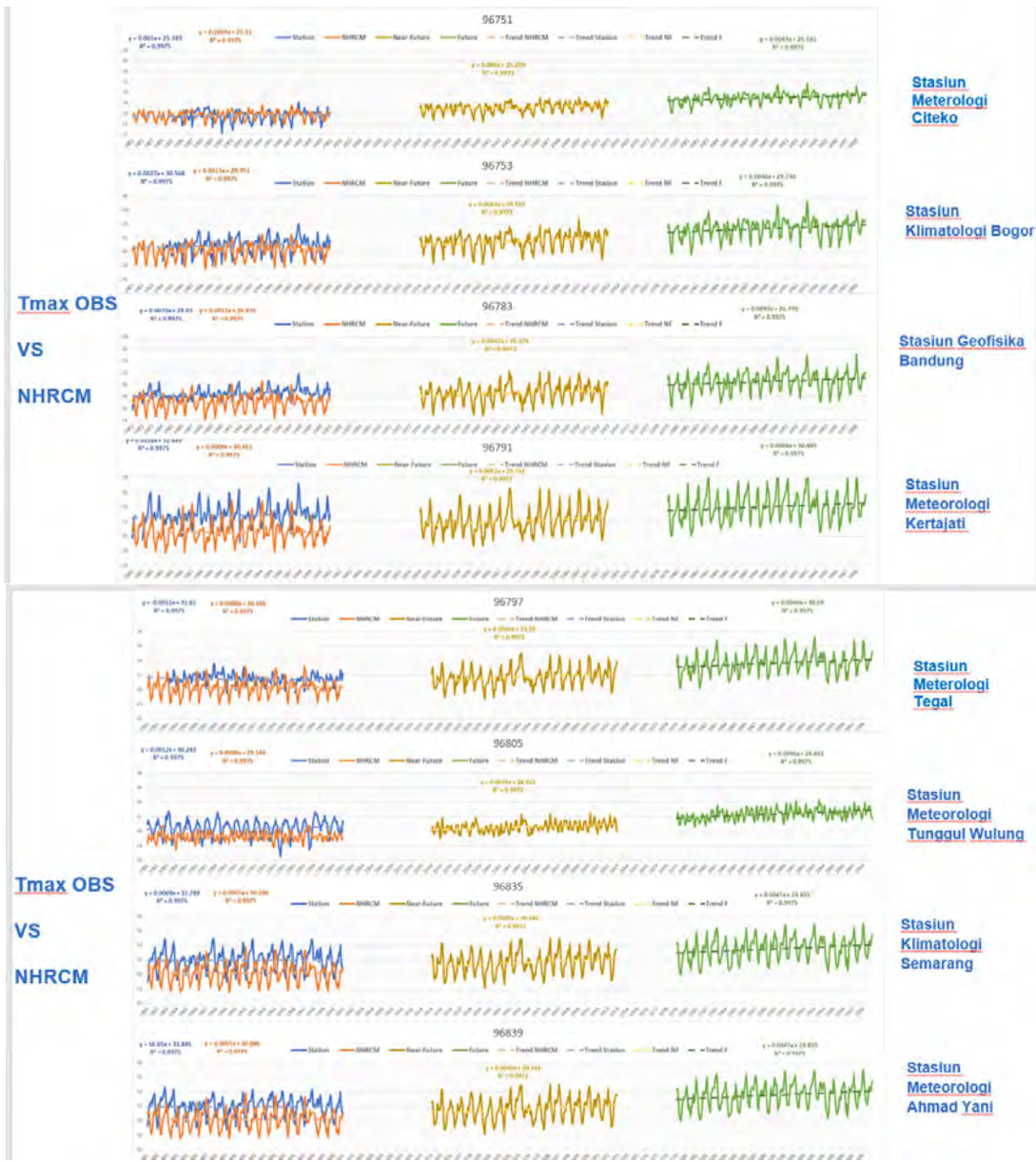
図 19 ジャワ島における気温の観測値と NHRM の比較
 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス

日平均気温について NHRM は、東ジャワの 3 地点を除いて、ほぼ全ての観測点で高温バイアスを示している。山岳地帯では寒冷なバイアス（青色）が生じやすく、ERA5 を用いた過去の解析結果と一致する。

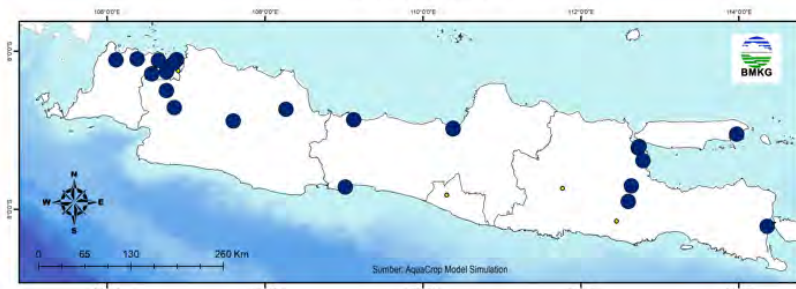
最高気温

日最高気温を現地観測値と NHRM データについて、ベースライン、近未来、将来の月統計値のトレンドを、西ジャワと中ジャワについて図 20 に示した。

最高気温、NHRM は現地観測と比較して低めに推算しており、バイアスはすべての地点で青色となっている。



TEMPERATURE MAX



- Underestimated
- Overestimated

図 20 ジャバ島における最高気温の観測値と NHRCM の比較
 (上) 西ジャワ、(中) ジャバ島中部、(下) バイアス分布
 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス

最低気温

日最低気温を、現地観測値と NHRCM データについて、ベースライン、近未来、将来のトレンドを、西ジャワと中ジャワについて示した。

最低気温は、傾向は一様でないが、山間部では低温バイアスが出やすく、平地は高温バイアスになる傾向が強いが、平地でも低温バイアスとなる地点もある。

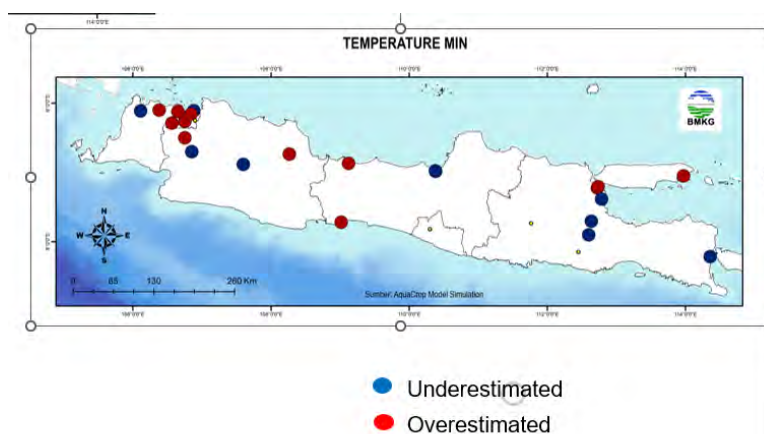
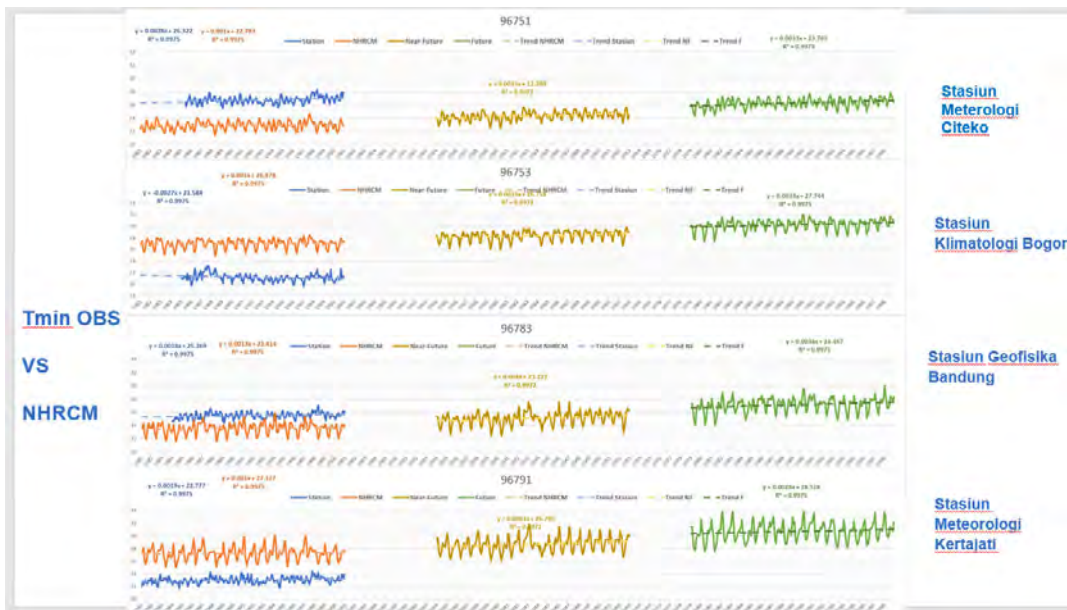


図 21 ジャワ島における最低気温の観測値と NHRCM の比較
 (上) 西ジャワ、(中) ジャワ島中部、(下) バイアス分布
 青丸：低温バイアス、赤丸：高温バイアス

b) 将来予測の解析

[確率密度関数]

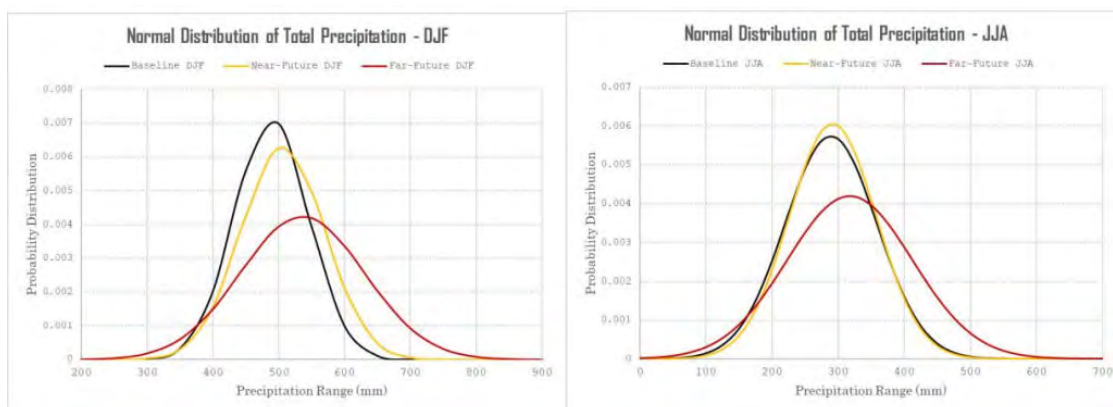


図 22 降水量の確率密度関数（左）12月～2月（DJF）、（右）6月～8月（JJA）

NHRCMで推算を行ったエリア（1081×421格子点）について、インドネシア全体の確率分布関数を、過去20年間のシミュレーション（黒線）と将来シミュレーション（黄色と濃い赤色）について計算した。その結果、DJFとJJAの両シーズンとも、降水量の平均値は増加し、DJFの増加幅が大きいと予測される。

近未来では、降水量の平均値はDJFの約480mmから510mmへと約30mm増加し、JJAについては平均値の上昇はあまり大きくないと予測される。将来については、DJFの平均降水量は480mm程度から540mm程度に増加し、60mm程度増加すると予測される。将来の平均降水量は、JJAは290mmから320mmに増加し、約30mm増加すると予測され、近未来の平均値の変化があまり大きくないのとは対照的である。

曲線の広がり（分布関数の分散）は、DJF（黄色：近未来と濃い赤色；将来）は、いずれも過去（黒色）にピークは低く、全体に広がった分布となり、将来は、降水量が大きくなる方向へのシフトがより顕著になる。将来、DJFの降水量は、降水量の大きな極端事象が発生する可能性が高くなることを意味している。

JJAでは、近未来期には変化はあまり顕著でなく、分布関数はやや狭くなっている。一方、将来は平均値が上昇し、降水量の大きなエリアが増加する傾向にある。JJAシーズンについては、地域により変化傾向が異なる。雨が多い地域はより湿潤となり、乾燥した地域は、より乾燥地域もあるが、降水量増加するエリアもある。

降水量平均値の増加と、降水量の多い地域の増加については、様々な分野の関係者や政策立案者に注意を喚起する必要がある。なお、インドネシア全体についての分析であり、それぞれの地域についてより具体的な確率分布分析を行い、地域の適応策についてより深い検討を行う必要がある。

[変化予測]

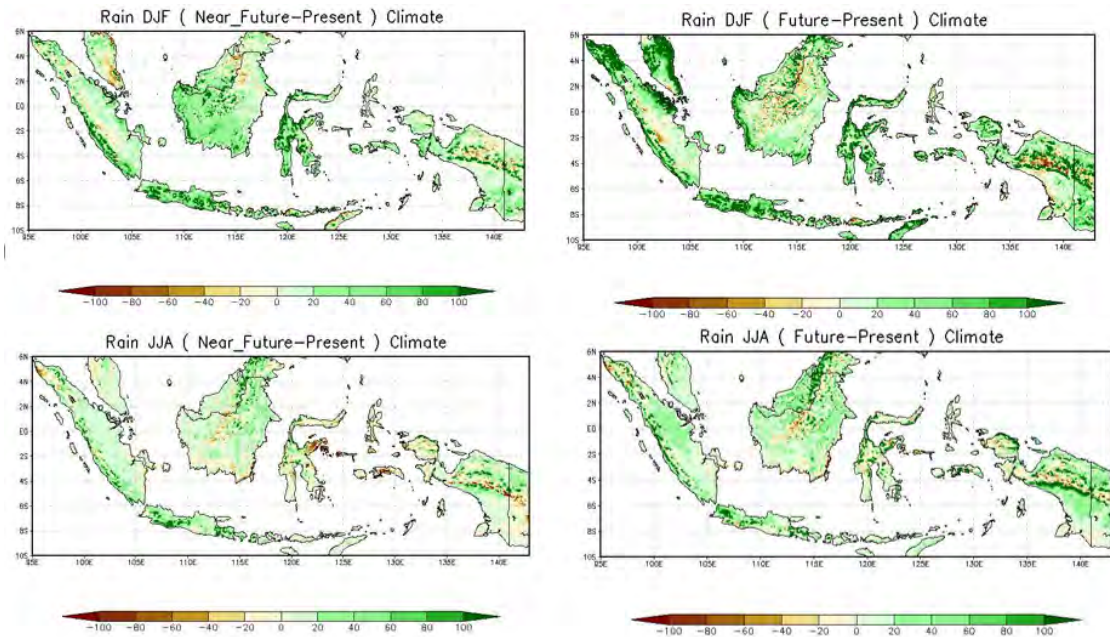


図 23 降水量の変化予測 (左上) 近未来の12月～2月 (DJF)、(右上) 将来のDJF (左下) 近未来の6月～8月 (JJA)、(右下) 将来のJJA

降水量の季節変化では、DJFは緑色の降水量が増加する地域が圧倒的に多く、将来は、雨季の降水量が増加すると予想される。しかし、スマトラ島中部、ボルネオ島、ニューギニアなど減少する地域もある。ジャワ島とセレベスでは、ほぼ全域で増加しており、湿潤化が進むことを示唆している (インド・オーストラリアモンスーンの影響)。

JJAは、DJFと類似するが将来との差はDJFほど大きくない。将来は、乾燥地域はより乾燥し、湿潤地域はより湿潤になる。両シーズンとも変化は大きくなる傾向で、変化リスクは増大する。

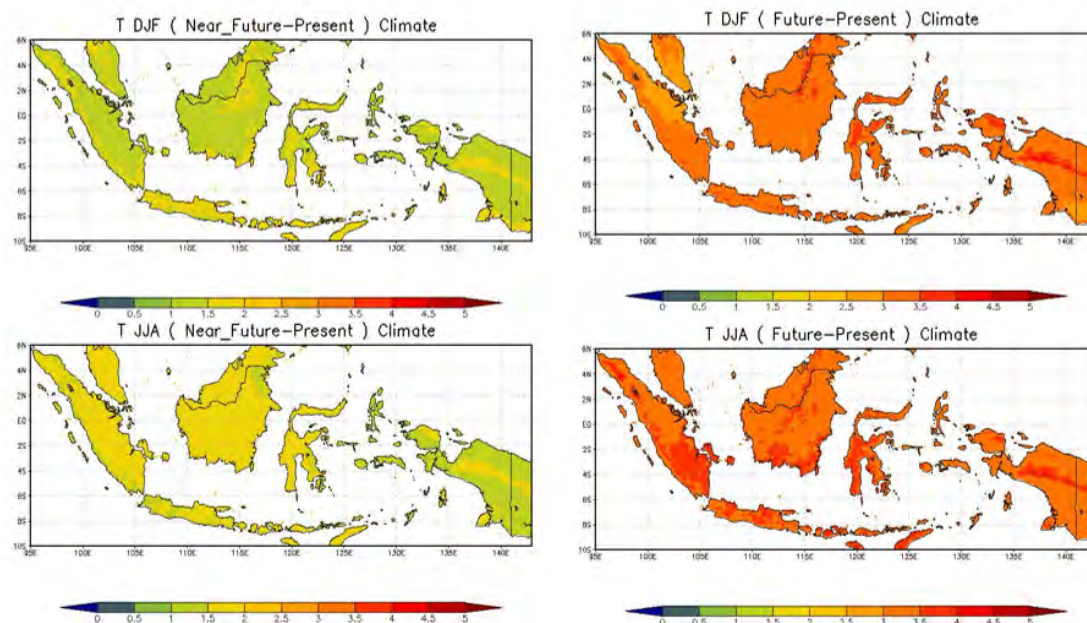


図 24 気温の変化予測 (左上) 近未来の 12 月～2 月 (DJF)、(右上) 将来の DJF
(左下) 近未来の 6 月～8 月 (JJA)、(右下) 将来の JJA

気温については、DJF、JJA とともに、近未来、将来ともにインドネシア全土で一様に高くなると予想される。近未来は 1℃～2℃程度、将来は 3℃～4℃程度上昇する。JJA は、近未来、将来ともに DJF より高温化する傾向にある。また、ニューギニア山系で大きく上昇し、熱帯氷床への影響がさらに大きくなる。

[気候インデックス]

本業務の短期専門家の協力のもと、気候インデックス（各時期の気候の極値やその変化に関する情報）を作成し、インターネットブラウザでデータを表示するシステムを構築した。

<http://13.230.234.238/NHRCM/index.html>

算出した気候インデックスは以下の通りである。

- TXx: Monthly maximum value of daily maximum temperature
- TNx, Monthly maximum value of daily minimum temperature
- TXn, Monthly minimum value of daily maximum temperature
- TNn, Monthly minimum value of daily minimum temperature
- TN10p, Percentage of days when TN < 10th percentile
- TX10p, Percentage of days when TX < 10th percentile
- TN90p, Percentage of days when TN > 90th percentile
- TX90p, Percentage of days when TX > 90th percentile
- DTR, Daily temperature range: Monthly mean difference between TX and TN
- Rx1day, Monthly maximum 1-day precipitation
- Rx5day, Monthly maximum consecutive 5-day precipitation
- SDII Simple precipitation intensity index: Let RRwj be the daily
- Rnnmm Annual count of days when PRCP ≥ nmm

- Rnnmm Annual count of days when PRCP \geq nmmm
- Rnnmm Annual count of days when PRCP \geq nmmm
- CDD. Maximum length of dry spell, maximum number of consecutive days with RR < 1mm
- CWD. Maximum length of wet spell, maximum number of consecutive days with RR \geq 1mm
- R95pTOT. Annual total PRCP when RR > 95p
- R99pTOT. Annual total PRCP when RR > 99p
- PRCPTOT. Annual total precipitation in wet days

気候インデックスの表示ウィンドウの例を図 25 に示す。

← → ↻ ⚠ Not secure | 13.230.234.238/NHRCM/NHRCM_climate_draw_area.html

Extreme index of NHRCM data, Present, Near-Future, Future

++++Present(1981~2000),Near-Future(2034~2053),Future(2079~2098)++++

TXx , TNx , TXn , TNn, DTR, SDH, R50, R100, R150, RX1D, PRECPTOT
 T , Tmax , Tmin , Fraksi050, Fraksi100, Fraksi150, CDD, CWD, RXSD
 TX10p, TX90p, TN10p, TN90p, R95p, R99p

Index

Mean Sigm
 Anual Seasonal
 SON DJF MAM JJA

Range :: lon-west,lon-east= 94.0 144.0
 Range :: lat-south,lat-north= -12.0 7.0

lon-west
 lon-east
 lat-south
 lat-north

図 25 気候インデックスの表示ウィンドウの例

[極端気候値の解析結果]

年降水量

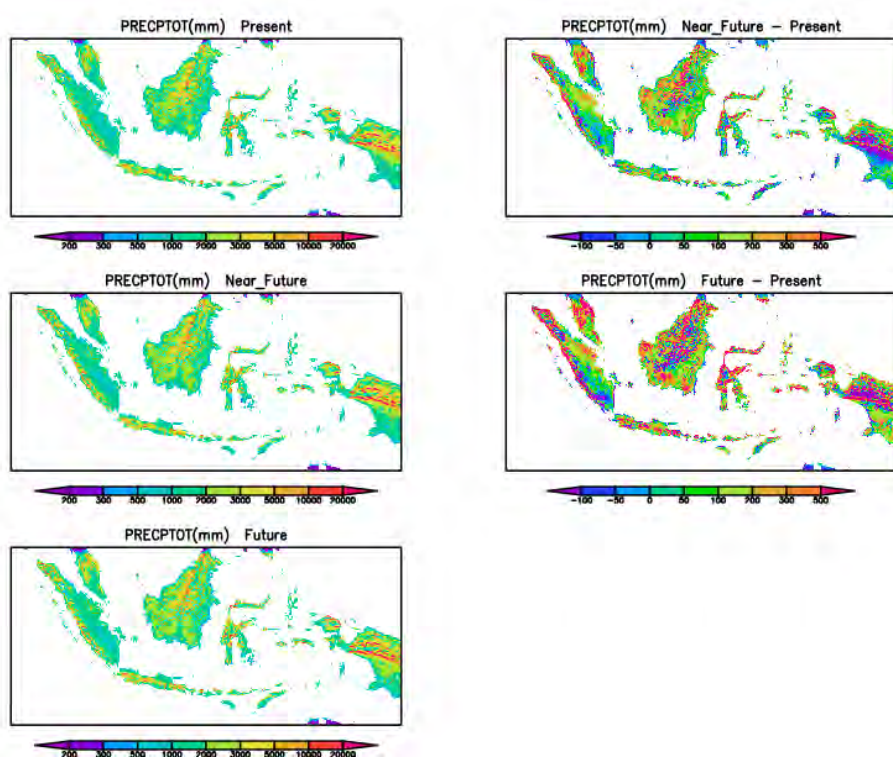


図 26 年降水量の予測（左）上から現在気候、近未来、将来、
（右）近未来、将来の現在気候からの差

上述のウェブページでは、気候の極端解析と気候パラメータ（季節または年）が表示される。降水量については、ベースライン、近未来、将来がほぼ同じであるが、山地は降水量が多く、平地は降水量が少なくなる傾向にある。近未来の降水量は、山間部で増加し、平地で減少する。将来では、湿潤な地域はより湿潤に、乾燥した地域はより乾燥する。

年平均気温

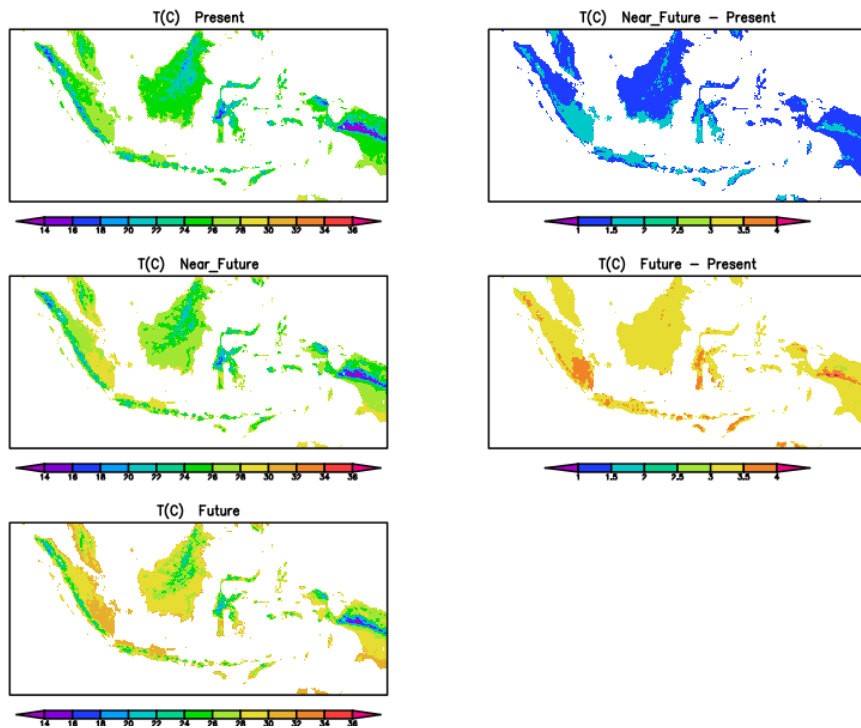


図 27 年平均気温の予測（左）上から現在気候、近未来、将来、
（右）近未来、将来の現在気候からの差

NHRCM は、山間部で気温上昇が大きい。南部では北部より気温上昇が大きい。近未来、将来ともに、気温は上昇し、近未来は 1.5°C~2.5°C（季節別温度より高い）、将来は 3°C~4°C 上昇する。近未来、将来ともに山間部の上昇が大きい。

日降水量 50mm 以上の年間日数 (R50)

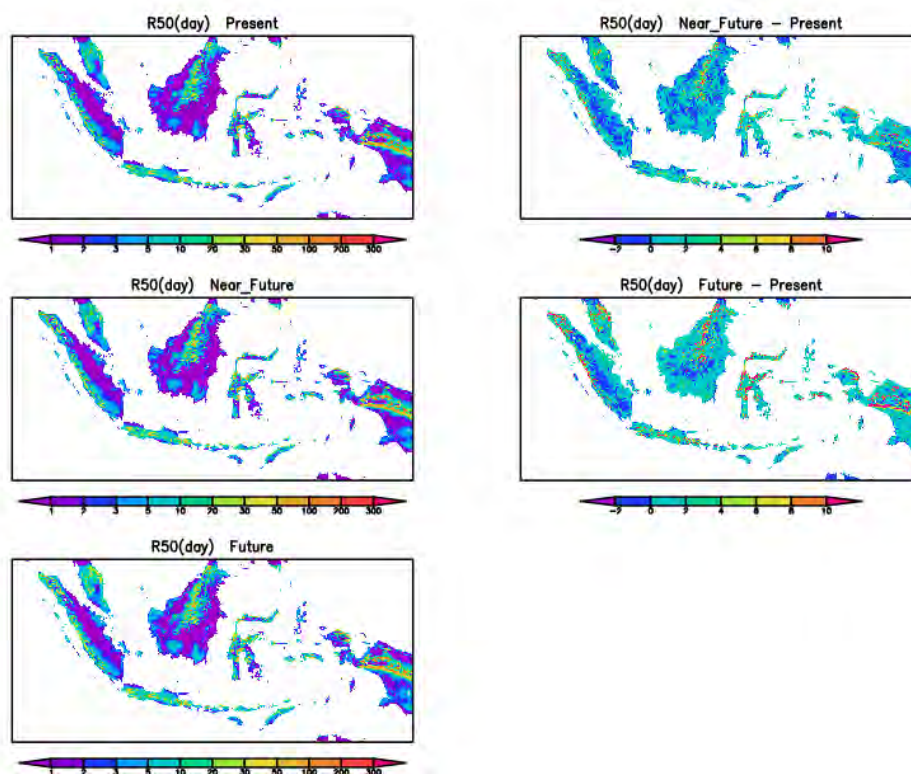


図 28 日降水量 50mm 以上の年間日数 (R50) の予測
(左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差

日降水量 50mm 以上の年間日数 (R50) は、山間部で頻度が大きくなる。近未来では減少する地域と増加する地域があり、山間部は 2~10 日前後増加する。現在からみた将来と近未来の変化傾向は似ているが、将来の方が日降水量 50mm 以上の頻度は増加する傾向にある。

日最高気温の月最大値 (TXx)

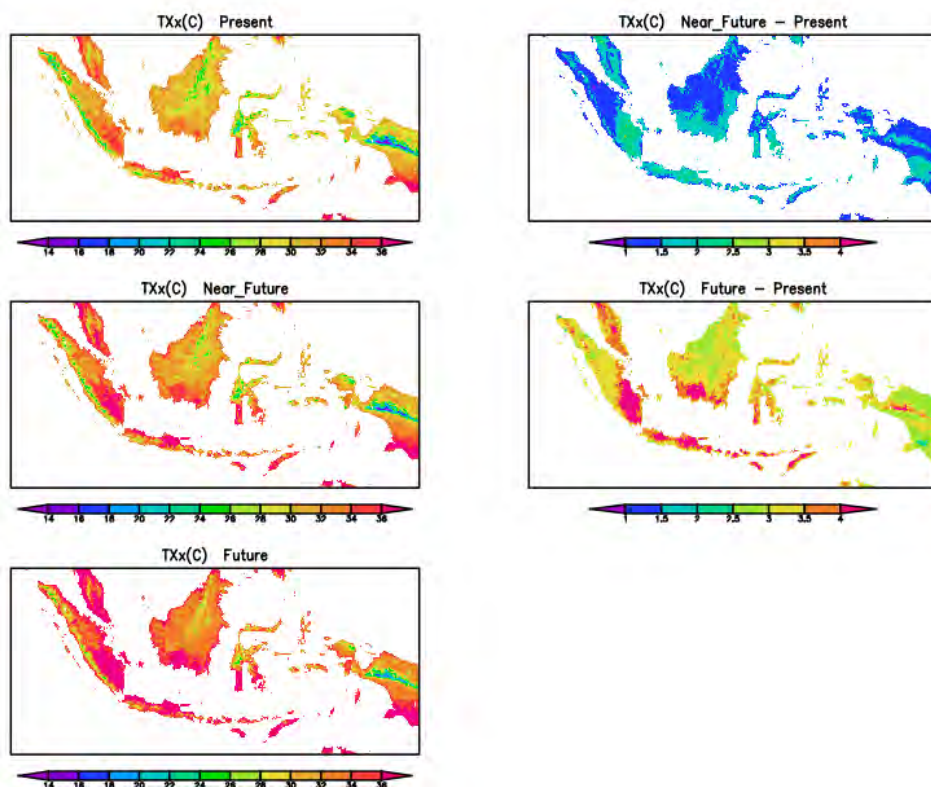


図 29 日最高気温の月最大値 (TXx) の予測
(左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差

日最高気温の月最大値は、いずれの期間もさらに高くなる。南部は北部より上昇度が大きい。近未来は 1.5°C~3°C、将来 2.5°C~4°Cで、近未来、将来ともに山間部では、より大きく上昇する。

日最低気温の月最低値 (TNn)

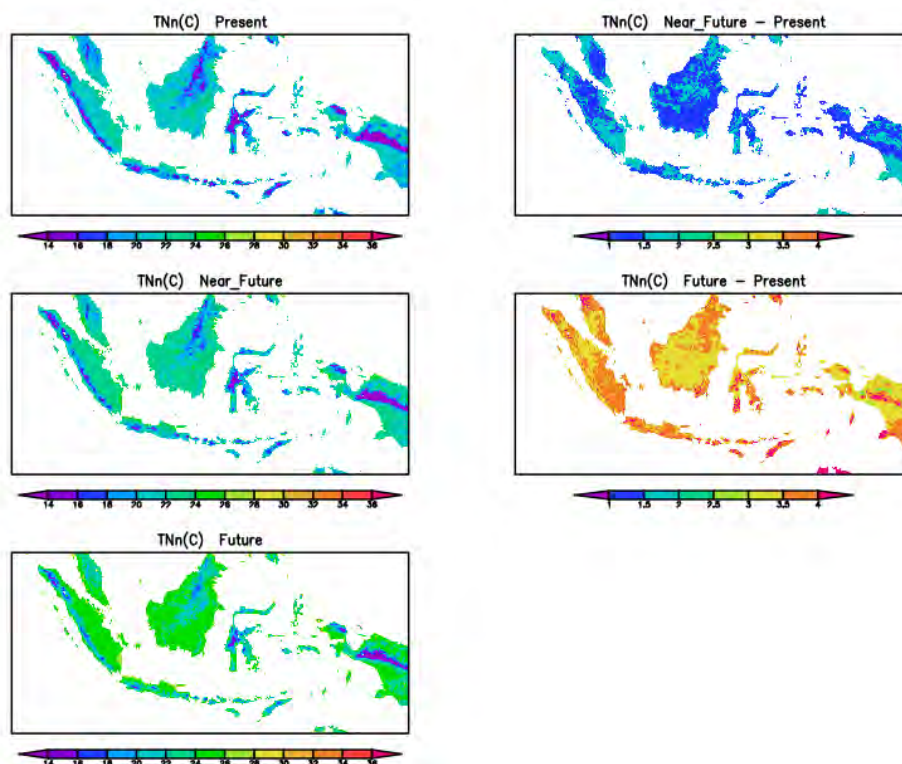


図 30 日最低気温の月最低値 (TNn) の予測

(左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差

最低気温の月最低値は、いずれの期間も上昇する。近未来 1.5°C~2°C、将来 3°C~4°C以上で、近未来、将来ともに山岳地帯で大きく上昇する。

日降水量 1mm 未満の連続日数 (CDD)

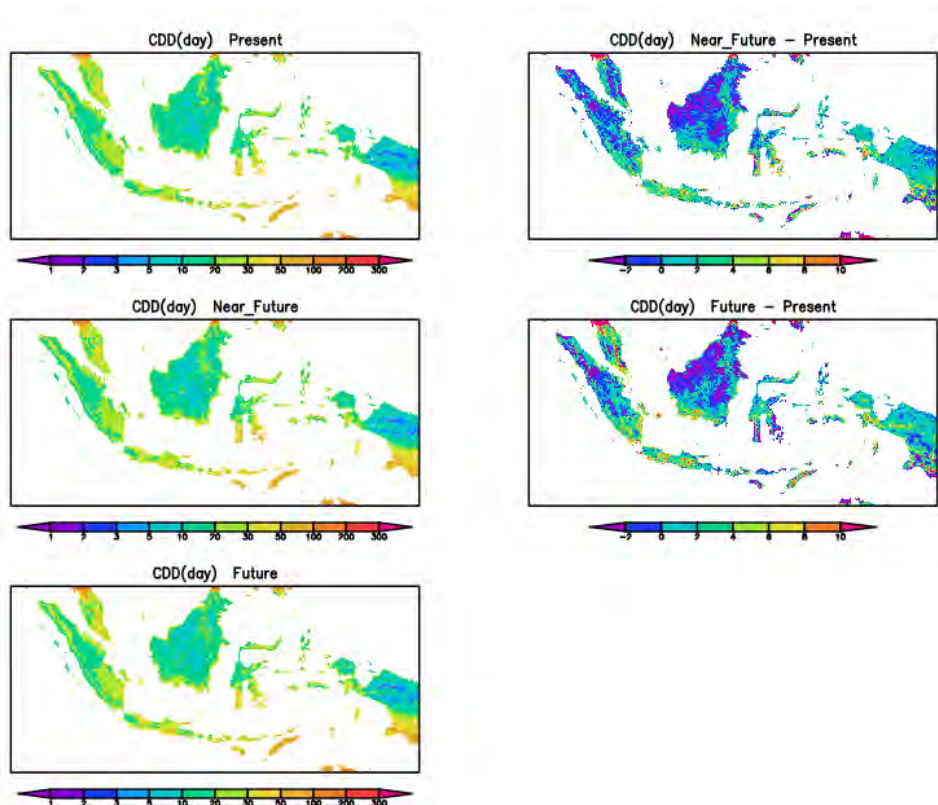


図 31 日降水量 1mm 未満の連続日数 (CDD) の予測
(左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差

近未来と将来の両方で、CDD は 2~100 日と予想される。CDD は南部で長く、北部で短くなると予測される。南スマトラ、南カリマンタン、南スラウェシ、中央パプアのように、近未来は短くなるが、将来では長くなる地域もある。

日降水量 1mm 以上の連続日数 (CWD)

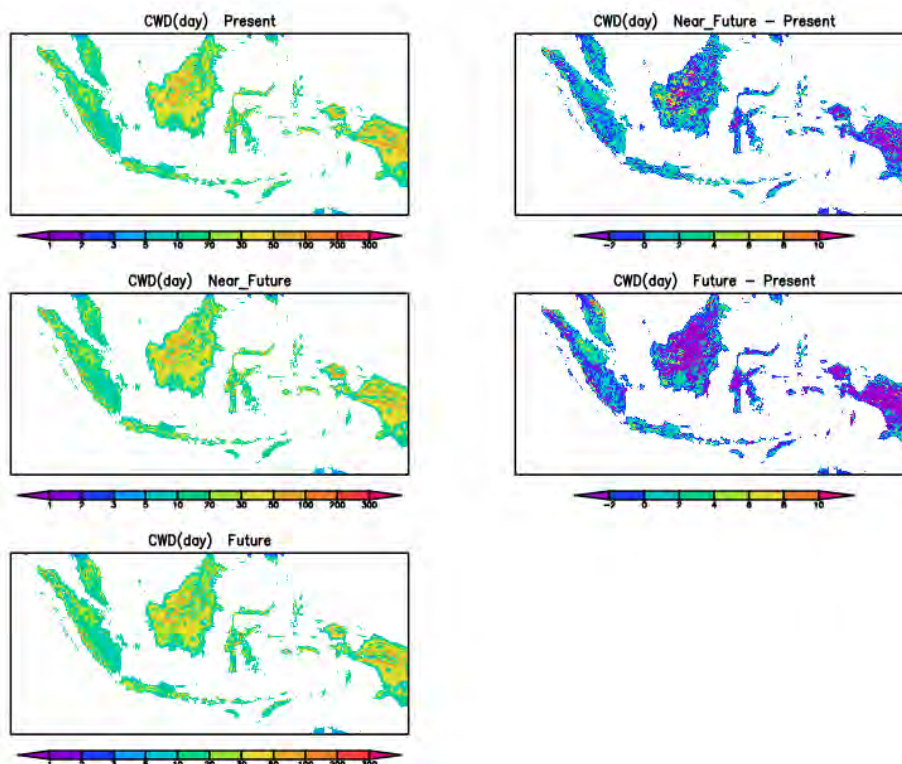


図 32 日降水量 1mm 以上の連続日数 (CWD) の予測

(左) 上から現在気候、近未来、将来、(右) 近未来、将来の現在気候からの差

近未来と将来の両方で、CWD は 10~200 日と予測される。中央カリマンタンとパプアでは CWD が長くなると予測される。近未来では CWD が長くなるが、将来では短くなると予測される地域もある。

前述のウェブサイトでは、HTML で図を表示するほか、NetCDF (.nc) 形式でも、データ出力が可能である。

[解析結果のまとめ]

- NHRCM は実測データと比較して、要素により地形などに起因するバイアスを有するものの、インドネシアの各季節の降水量をよく表現している。NHRCM は、山脈の降水量を多めに、低地の降水量を少なめに評価する傾向がある。NHRCM のシミュレーション結果は、降水量、気温ともに、地形パターンの空間的特徴を、解析値よりも良く再現している。
- NHRCM による将来予測では、降水量の季節性、空間分布、強度、年間パターンについて、さまざまな変化が見られる。将来は、降水量分布が極端な方向にシフトし、より大きな変化が起こることが予想される。なお、雨季と乾季がはっきりしている地域では、降水量変化は大きく、湿潤域はより湿潤化し、感想域は乾燥化する傾向にある。
- 極端な降水量と気温の変動は、将来において増加する。大雨や熱波のリスクも増加すると予測され、関係者や政策立案者に共有される必要がある。
- 全体として、NHRCM のシミュレーションによる将来のシミュレーション結果は、地球温暖化のもとでの気候の変化により、気候リスクが増大することを予想している。

(7) 気候変動に関するプロダクトの提供

a) 気候予測と季節予報に関するワークショップ

BMKG は、BMKG 地方官署と地方政府と協力して本ワークショップを、西ジャワ（2022 年 11 月 1 日～3 日）と中央ジャワ（2022 年 11 月 15 日～17 日）の 2 地域で開催した。このワークショップは、現地 BMKG 事務所の気候予測と季節予報に係る提供能力の向上、ステークホルダーに対する気候データ（気候予測と季節予報）活用の理解の深化を目的とした。

バンドン（2022 年 11 月 1 日～3 日）

1 日目は、関係者向けのミーティングが行われた。BMKG チームは午後のセッションで、3 題の発表を行った。

- 気候予測データの利用状況
- 作物に対する気候予測データの活用
- 水文気象災害に対する気候予測データの活用（洪水と干ばつ）

2 日目は、午前中は理論編、午後は実践編として、データ利用方法に関する情報共有が行われた。

- 気候変動とモデル（JICA Expert）
- 気候予測の基礎理論
- 気候予測データの利用可能性とデータ処理 **climpack** を用いた異常指数予測のためのキャパシティ・ビルディング
- 農作物生産性のための気候データ予測利用能力開発
- 気候データ予測活用のための能力開発（水文気象学・災害時）

3 日目は、季節予報チームのための会議が実施された。

スマラン（2022 年 11 月 15 日～17 日）

目的資料はバンドンと同じで、トレーニングは、気候変動チームにより 3 日目に実施された。

b) 本邦研修

本業務では、BMKG（気候変動チーム 3 名、季節予報チーム 3 名）を対象として、2022 年 12 月 4 日から 17 日まで本邦研修を実施した。

第 1 週は、BMKG チームも MRI と筑波大学で WG1 の結果についてプレゼンテーションを行い、第 2 週は、季節予報に焦点をあてて JICA 東京、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、気象庁で行われた。総合評価では、各研修生が、解析のために行ったこと、研修で学んだこと、今後の計画について発表があった。本邦研修の詳細は、3.5 に記す。

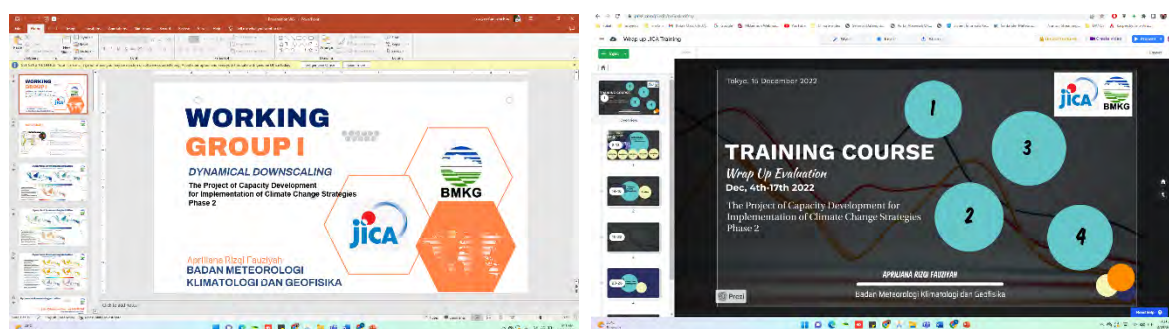


図 33 本邦研修におけるプレゼンテーション資料

c) Climate Change Information System (CCIS)

データの利用普及のため、登録ユーザーが過去データおよび将来予測データにアクセスできるインタラクティブなウェブサイト（CCIS）が開発された。

CCISでは、BMKGが観測し品質管理を行っている過去の観測データにつき、気温、降水量などの月統計値の変化図やインドネシア全域についての分布図のほかに、33~34頁で記載されている様々な気候インデックスについても表示する希望が備わっている。将来予測データについても、月統計値の変化図や分布図のほか、現在と将来、あるいは、近未来との比較などの変化分布図、過去データと同様に、様々な気候インデックスデータを表示できる機能を有している。

同データの利用については、CCISサーバーからのデータ利用者登録申請を行い、利用を強化された利用者だけがアクセス可能となるように設計されており、BMKGでのデータ公開ポリシーに基づき、今後、BMKGで検討することになっているが、初代のCCISがマルウェアの混入で、サービス停止に陥ったこと、アクセスが急増すると、1台のサーバーでは対応仕切れないことから、当面は、BMKG部内での利用に留め、利用状況などを確認しながら、提供範囲を検討すること、広く交換する場合は、セキュリティーサービスやロードバランスサービス（負荷分散）を提供してクラウドなどの利用を検討するように提言している。なお、再委託の委託契約書と納品書は、付属資料に示した。



図 34 CCIS ウェブサイト

3.1.5 今後の活動計画

本業務の活動をとおして、力学的ダウンスケーリングのための技術移転とデータの共有、CCISをとおしたデータ共有が進められたが、今後は以下のような活動を、BMKGが継続して実施することで、気候予測データの活用が更に進められ、プロジェクト目標の発現につなげることが必要である。

- 気候変動解析のスキルアップ
- NHRCMの成果を継続的に分析し、各セクターに適用する。
- HPCを用いた力学的・統計的ダウンスケーリング。CMIP6ダウンスケーリングや高解像度ダウンスケーリングの実施。
- 気候ダウンスケーリング活動に関する論文発表。
- ステークホルダー、省庁、ユーザーから必要な気候予測値を特定と提供。
- BMKG本部および現地事務所の能力強化、特に気候予測および季節予測の提供。

- インドネシア政府の温室効果ガス排出量削減の取り組みへの支援。

3.2 成果 1b（統計的ダウンスケーリング）

3.2.1 成果 1b の背景と基本方針

成果 1a で記載のとおり、インドネシアでは、将来の気候変動に伴う災害の深刻化・発生頻度の増加が重要なリスク要因となることが懸念され、将来の気候変動に伴う災害の深刻化・発生頻度の増加を評価し、地域レベルの開発計画や政策立案に活用するために、地域スケール（分解能 5km 程度）の気候変動予測が必要となっている。

成果 1a の力学的ダウンスケーリングは、気象・海洋の物理過程および陸海面の状況などを反映した気候モデルにより、直接将来の気候状態を推定するもので、将来気候予測においては最も信頼されるデータであるが、そのためには膨大な計算機資源と高度なモデリングなどの技術が必要で、簡単に実施することは出来ない。

これらの課題を補いつつ、より簡易に将来予測を行う方法として、統計的ダウンスケーリングがあり、将来の気候変動の概要を把握するために、多くの国、多くの機関で用いられている。成果 1b は、統計的ダウンスケーリングに係る技術移転を行うが、背景となる力学的ダウンスケーリングと統計的ダウンスケーリングの違いなどについて整理する。

<力学的ダウンスケーリングと統計的ダウンスケーリング>

気候変動は、解像度の高い（例えば 5km）気候モデルにより数値計算（力学的ダウンスケーリング）を行うことで、外部強制力（温室効果ガス濃度など）、大気海洋相互作用、気象モデル、地表面（標高・粗度など）を考慮し、理学的に理にかなった気候モデルとして将来予測がされる。

一方、そのためには膨大な計算機資源を必要とし、計算期間を伸ばしたり、シナリオを変えたり、解像度を細かくしたり、利用者ニーズに応じてカスタマイズするのは、膨大な金銭的・人的コストがかかることから、親モデルおよび力学的ダウンスケーリングの結果を統計的に補正した統計的ダウンスケーリングという手法が取られている。

力学的ダウンスケーリングと統計的ダウンスケーリングの違いは、下記 2 点である。

- 外部強制力、大気海洋相互作用、気象モデル、地表面を、物理過程をモデル化して取り込む（力学的ダウンスケーリング）
- 様々な過程を直接ではなく統計的に取り込む（統計的ダウンスケーリング）

気候モデルデータの利用に際して良く利用される、経年トレンド、現在と将来の比較を、親モデルの解像度レベルで評価するのであれば、統計学的ダウンスケーリング、力学的ダウンスケーリングで大きな違いは生じない。一方、標高や地形を考慮した、数十 km レベルの現象については、細かな解像度の力学的なモデルでないと推定できない。

これらの現象（例えば、バリ島の東側と西側の降水量の違いなど）の評価を行うには、期間を区切って力学的ダウンスケーリングを行い、元の粗い解像度のモデルと高解像度モデルを比較することで両者の関係を評価し、高解像度の統計的なダウンスケーリングの結果にこれらの関係性を定性的に反映させることで、検討を行う手法も用いられる。

農業・食品産業技術総合研究機構（NARO）においては、日本における狭領域（1km から 5km

の解像度)の統計的ダウンスケーリングを文部科学省が支援する SI-CAT (気候変動適応技術社会実装プログラム)で実施しており、クロスモデル/シナリオでの統計的ダウンスケーリングを行うために様々な GCM とシナリオを使用することができる。このことから、NARO の協力のもと統計的ダウンスケーリングを行い、その結果を BAPPENAS や他の関係機関に共有する。

3.2.2 成果 1b に係る現状の課題

成果 1a の活動をとおして、5km 解像度の力学的ダウンスケーリングが、現在・近未来・将来について計算され、これらを用いた以下の活動が実施された。

- ① 「将来」と「現在」、「近未来」と「現在」の変化の解析
- ② 解像度を 20km から 5km に上げたことにより、わかった知見

また、他機関にデータを共有する際に、

- ③ 他機関が必要とするデータを切り出すためのプログラムの使い方を含む技術共有、必要に応じた統計的な補正のための技術協力
- ④ モデルでは直接計算されないが、他機関が必要とする要素 (気候インデックス) 提供のための技術協力

を行う必要がある。加えて、

- ⑤ 2000~2100 年までのシームレスなトレンドの分析
- ⑥ 他のモデル、他のシナリオでの将来予測

が要望されている。これらに対応するために、BMKG が所有する地点データおよびメッシュデータを用いて、統計的ダウンスケーリングを行うツールを NARO の協力を得て BMKG に共有し、④~⑥についての統計的ダウンスケーリングに係る技術移転を実施した。

3.2.3 成果 1b の活動内容

統計的ダウンスケーリングについては、フェーズ 1 プロジェクトなどで技術協力を頂いた、国立研究開発法人農業・食品産業総合研究機構 (NARO、旧農業環境技術研究所) の農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 影響予測ユニット長 西森基貴主任研究員の技術支援を頂きながら実施することについて、2020 年 10 月 13 日のキックオフミーティングにおいて本業務の短期専門家より提案し、カウンターパート (C/P) との間で合意を得た。統計的ダウンスケーリングは、「データの収集」、「分析キットの作成と技術移転」「全国展開」の順で実施することとし、2021 年はジャワ西部について、「データの収集」「統計的ダウンスケーリングの実施」を行い、分析結果は日本気象学会秋季大会で C/P との連名で報告を行った。

(1) ステップ 1: データ収集

パイロットサイトにおける過去の観測データについては、BMKG が以下の資料を収集し、日本側に共有した (カッコ内は共有された時期)。

- 中部ジャワ 5 地点、西ジャワ 4 地点、および、ジャカルタ特別市 3 地点の SYNOP 観測所について 1991~2010 年の日最高気温、日最低気温、日平均気温、日降水量、日照時間 (2020 年 10 月)
- ジャワ島を 25km 程度のメッシュに区切った、最高気温、最低気温、日降水量の 1981~2010 年の月別値 (NetCDF および CSV 形式、SACAD データ) (2021 年 2 月)

Filename	Compressed ...	Original Size	Compr...	File Type	Modified Date
..					
rr_java_1981-2010.nc	114,489	414,360	72%	NC ファイル	2021-01-25 PM 01:33:46
rr_java_climat.nc	5,180	16,052	68%	NC ファイル	2021-01-25 PM 01:31:20
tg_java_1981-2010.nc	105,888	414,364	74%	NC ファイル	2021-01-25 PM 01:37:18
tg_java_climat.nc	4,756	16,052	70%	NC ファイル	2021-01-25 PM 01:37:46
tn_java_1981-2010.nc	106,646	414,364	74%	NC ファイル	2021-01-25 PM 03:08:48
tn_java_climat.nc	4,783	16,052	70%	NC ファイル	2021-01-25 PM 03:08:42
tx_java_1981-2010.nc	107,303	414,364	74%	NC ファイル	2021-01-25 PM 02:53:50
tx_java_climat.nc	4,754	16,052	70%	NC ファイル	2021-01-25 PM 02:53:44

Filename	Compressed ...	Original Size	Compr...	File Type	Modified Date
..					
rr_SACAD_Climatology.csv	5,598	15,052	63%	Microsoft Excel CS...	2021-02-01 AM 09:...
rr_SACAD_monthly.csv	104,293	313,409	67%	Microsoft Excel CS...	2021-01-25 PM 03:...
tg_SACAD_Climatology.csv	4,657	16,824	72%	Microsoft Excel CS...	2021-01-29 PM 04:...
tg_SACAD_monthly.csv	104,469	432,401	76%	Microsoft Excel CS...	2021-01-25 PM 03:...
tn_SACAD_Climatology.csv	4,651	16,476	72%	Microsoft Excel CS...	2021-01-29 PM 04:...
tn_SACAD_monthly.csv	103,668	420,953	75%	Microsoft Excel CS...	2021-01-25 PM 03:...
tx_SACAD_Climatology.csv	4,782	17,213	72%	Microsoft Excel CS...	2021-01-29 PM 07:...
tx_SACAD_monthly.csv	107,820	436,192	75%	Microsoft Excel CS...	2021-01-25 PM 03:...

図 35 収集・共有されたデータ（パイロット地区）

bujur	lintang	Jan-81	Feb-81	Mar-81	Apr-81	May-81	Jun-81	Jul-81
114.375	-8.625	22.82	22.9	22.99	23.04	22.55	22.69	22.45
113.625	-8.375	22.27	22.37	22.7	22.82	22.33	22.32	21.87
113.875	-8.375	20.41	20.57	20.65	20.81	20.39	20.44	20.35
114.125	-8.375	21.7	21.79	21.97	22.12	21.73	21.78	21.58
114.375	-8.375	22.72	22.75	22.98	23.11	22.74	22.79	22.51

WMO ID	DATA TIMESTAMP	TEMP AV	TEMP MA	TEMP MI	RAINFALL	SUNSHINE HOUR
96797	1991-01-01 00:00:00.0 +0:00	25.8	30.7	23	19	75
96797	1991-01-02 00:00:00.0 +0:00	25.6	30	23.2	17.5	66
96797	1991-01-03 00:00:00.0 +0:00	27.3	30.5	24.5	21.6	100
96797	1991-01-04 00:00:00.0 +0:00	27.2	31.2	23.7	2.5	56
96797	1991-01-05 00:00:00.0 +0:00	26.2	31.6	23.8	51	94

図 36 データの例（上：メッシュデータ、下：観測点データ）

Lat.	Lon.	Year	Mon01		Mon02		Mon03	
			GCM	BCSD	GCM	BCSD	GCM	BCSD
114.375	-8.625	2006	338.3	348.8	311.1	288.5	276.7	136.0
114.375	-8.625	2007	234.8	212.5	244.3	195.7	275.5	134.7
114.375	-8.625	2008	164.2	127.0	589.5	723.8	262.4	120.5
114.375	-8.625	2009	227.5	203.4	229.1	175.6	305.0	168.0
114.375	-8.625	2010	263.8	249.2	310.8	288.1	221.8	79.8
114.375	-8.625	2011	286.7	278.8	469.1	528.5	319.4	184.9

図 37 統計的ダウンスケーリングの結果（西ジャワ）

(2) ステップ2：分析キットの作成と技術移転

- 収集された観測値とメッシュデータを用いて西森氏が統計的ダウンスケーリングを実施した。統計的ダウンスケーリングは、Wilbyら（2004）による Gaussian-type の統計的手法

と、CDFによる統計的ダウンスケーリングが用いられた。

- Gaussian-type の統計的ダウンスケーリングは、ある観測地点における月統計値から平均 $\langle T_o \rangle$ と標準偏差 $\sigma(T_o)$ を求め、気候モデルのハインドキャストデータの最寄りメッシュの月統計値から求めた、平均 $\langle T_s \rangle$ 、標準偏差 σ_s により、

$$T = \frac{\sigma(T_o)}{\sigma(T_s)} (T_s - \langle T_s \rangle) + \langle T_o \rangle$$

の関係を用いて、将来予測値を推定する。なお、観測点がない地点については、観測値がある地点の $\langle T_o \rangle$ 、 σ_o を内挿して使用する。この際、観測値は正規分布に近似した分布を想定していることから、正規分布と異なる分布関数を持つ要素については、正規分布に近づける修正を行う必要があり、月降水量を Gaussian-type の統計的ダウンスケーリングを行う際には、月降水量の三乗根を用いて統計的ダウンスケーリングを行った。

- パイロットエリアにおける観測値とメッシュ平均値を BMKG と共有し、その成果については、2021年秋季の日本気象学会で西森氏・BMKGのC/Pとの連名で、成果発表を行った。
- CDFによる統計的ダウンスケーリングは、観測された値 O_i とハインドキャストデータの値 H_i を大きい順に並べ、それぞれの順位における補正值を求め、それを将来のモデル予測値に反映させる、分布関数を想定しない方法である。両者のデータ数が異なる場合は、データの順位を[0,1]の範囲に規格化しCDF関数を計算し、それを適用した。なお、分析キットは著作権の問題がクリアされていないことから、専門家チームでMRI-AGCMを用いた統計的ダウンスケーリングツールを開発し、2022年3月に利用方法についての技術共有を行った。2022年4~8月にかけて、主として月別値を対象に統計的ダウンスケーリングの実習を行った。また、日別値についても統計的ダウンスケーリングを実施したが、降水量については精度に課題が残った。
- 統計的ダウンスケーリングについては、C/Pが収集したSYNOP地点での観測値、メッシュ観測値、気候モデルのメッシュ値により、気候モデルによる将来の統計的ダウンスケーリングを演習として実施した。また、2021~2035年の気候モデルデータについて統計的ダウンスケーリングデータが必要との要望があり、2021~2045年のMRI-AGCMの統計的ダウンスケーリングを行い、2036~2045年については力学的ダウンスケーリングのデータと比較を行った。

2022年2月の現地業務において、C/Pが収集したSYNOP地点での観測値、メッシュ観測値、気候モデルのメッシュ値を用いて、ジャカルタを例に気候モデルによる将来の統計的ダウンスケーリングを行う方法について、Excelを用いた簡易キットを作成し、演習を実施した(2月22日)。この簡易適用例を用いて、統計的ダウンスケーリングの具体的なプロセスを実習し、統計的ダウンスケーリングの手法に対する理解を図った。

また、統計的ダウンスケーリングをプログラムで実施できるようソフトウェアを開発し、これらの使用方法についても講義と演習により2022年4~6月に技術移転を図った。なお、BAPPENASからは、解像度5kmの統計的ダウンスケーリングの要望があるが、このためには、5km解像度の月別のメッシュ値が必要であり、今後、このメッシュ値の整備についてBMKGで検討を行った。

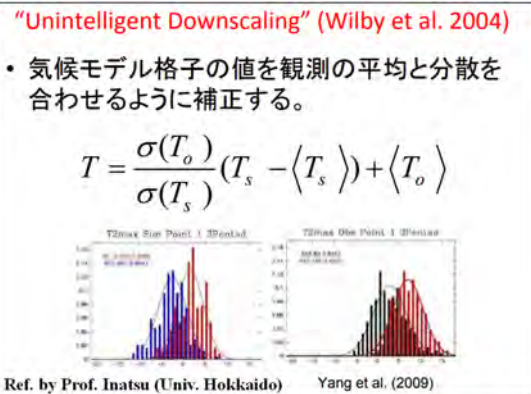


図 38 Gaussian 型の補正

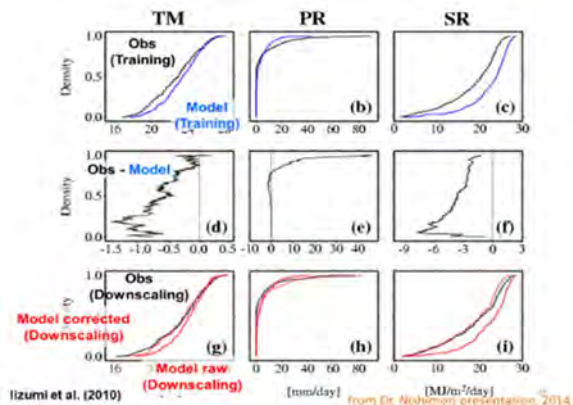


図 39 CDF 法

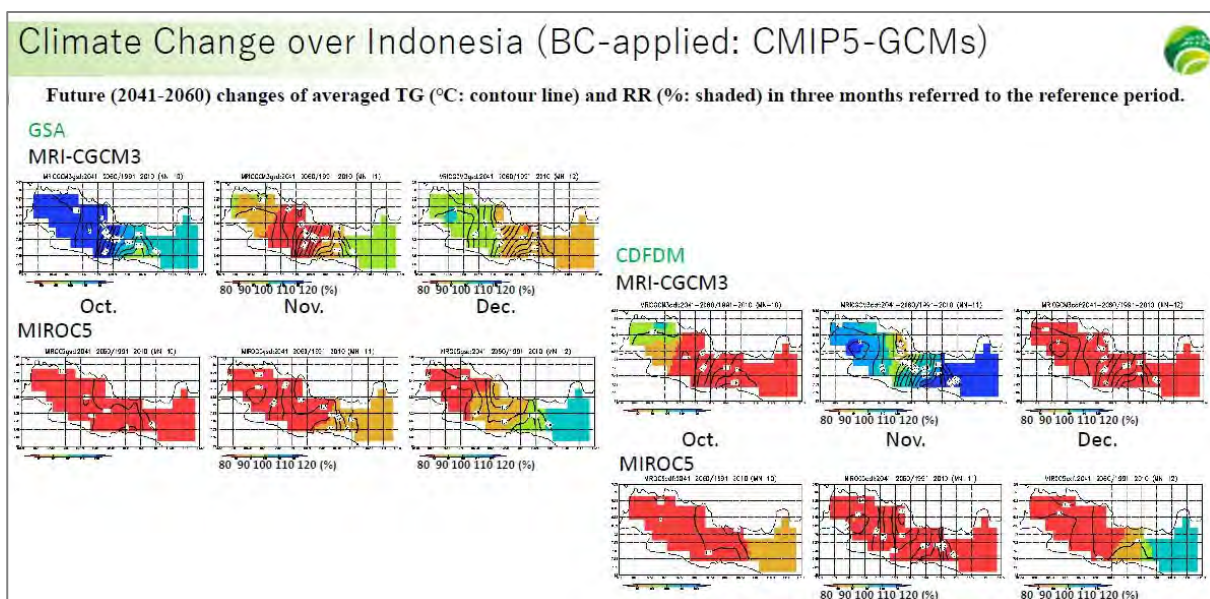


図 40 統計的ダウンスケーリングによる将来の降水量変化 (ジャワ島西部、西森氏学会発表資料より)

(3) ステップ 3: 統計的ダウンスケーリングのインドネシア全域への適応

2022 年 4~6 月の共有された分析キットを用いて、BMKG において、統計的ダウンスケーリングを全域に適用し、その結果を web ミーティングなどを通して、WG で評価した。

なお、メッシュデータから地点データへの内挿、地点データからメッシュデータへの内挿は、以下の方法による。

統計モデルの補正式は、BMKG の過去の観測値と気候モデルの値から求めるが、気候モデルの格子点値から BMKG 観測点における値を求める際には、近傍の 4 つの観測点の値を (g1,g2,g3,g4) とし、各観測点までの距離を (l1,l2,l3,l4) とするとき、距離の逆数 (1/l1,1/l2,1/l3,1/l4) を重みとして、BMKG

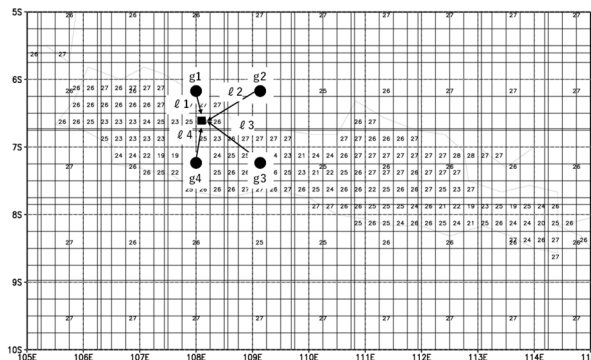


図 41 格子点値の観測地点値への内挿

観測点の値を計算する。ただ、この内挿には、気候モデルの値そのものではなく、平均値からの偏差を内挿する。

(4) 統計的ダウンスケーリングの課題

NAROによる統計的ダウンスケーリングの結果は、付属資料の学会発表のとおりであるが、統計的ダウンスケーリングを行った MIROC と MRI について、①12月の将来の降水量の変化傾向が MIROC と MRI で異なる、②Gaussian-type の推定の場合、将来の分布関数の変動幅が大きくなることがわかった。

- ①については、元になる気候モデルの特性によるもので、統計的ダウンスケーリングでは解決できない、また、②については、月降水量の分布関数が正規分布と異なることにより生ずる問題であり、Gaussian-type のダウンスケーリングを行う際には、その分布関数が指数関数（図 42 の左図）でなく、ガンマ分布（図 42 の右図）など正規分布に近似させることが可能であるか否かを検討する必要がある。

仮に分布関数が、指数関数などの場合は、Gaussian-type の統計的ダウンスケーリングではなく、CDF によるダウンスケーリングを行った方が良い。

前述の統計的ダウンスケーリングのツールでは、Gauss 型分布による補正や CDF による補正が実施できるが、Gauss 型分布により降水量の補正を行う場合、対象となる地点の降水量の分布パターンが指数関数（単調に減少）の場合は推定精度が落ちる可能性が高いため、利用時に注意するよう 2022 年 2 月の現地活動時に C/P と情報共有した。

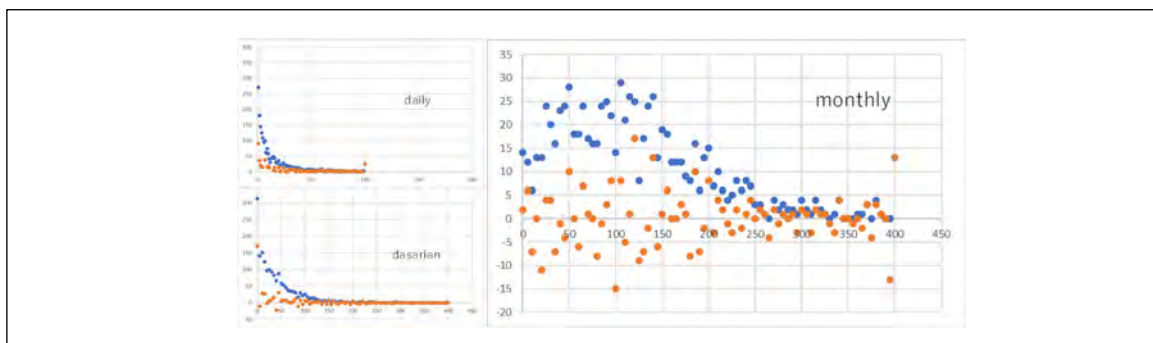


図 42 降水量の分布パターン（左：日と旬、右：月）

(5) 様々な要望に対する対応

BMKG には、外部機関から、「RCP4.5 による詳細ダウンスケーリング」、「2045 年付近の気候モデル予測値」の提供など、様々な要望が寄せられている。これらの要望に対して、詳細な力学的ダウンスケーリングをすべて実施することができればこれらに応えることが出来るが、前述のように経費・時間的な制約からすべてに対応することは出来ない。また、統計的ダウンスケーリングは、メッシュ値や統計的な性質を使った推定であり、親モデルの持つ特性を超えることはできない。このことから、統計的ダウンスケーリングの元データとなる親モデルの特性を把握しておくことは、統計的ダウンスケーリングを行い、その結果をチェックするために重要になる。

2022 年 2 月の現地活動において、MRI-AGCM3 の RCP2.6、4.5、6.0、8.5 シナリオについて、2006-2100 年までの気候変動予測データ（1.25 度、約 120km の解像度）を C/P と共有し、Grads を用いて可視化し、現在と近未来、現在と将来の比較、シナリオ間による違いを、C/P とともに

評価した。

Tool 1. Make differences between periods

```

C:\home\JICA_BMKG_2020\statistical-DS\Script\mri-cgcm_monthly>grADS
ga-> Diff_between_age.gs <-try 'Diff_between_age.gs'
.....
.....
.....
Usage :: run Script/Diff_between_age.gs elm rcp mmm ybs ybe yas yae
Purpose:: Draw difference between two ages(yas-yae) - (ybs- ybe)
elm :: Humidity, Tmax, Tmin, Wind, Rain)
rcp :: Scenario ( 26, 45, 60, 85 , hindcast)
mmm :: month( Jan, Feb,.....,Dec)
ybs :: Year start ( must be larger than 2005 forrcp=26,45,60,85 )
ybe :: Year end ( must be smaller than 2006 for rcp=hindcast )
yas :: Year start ( must be larger than 2005 forrcp=26,45,60,85 )
yae :: Year end ( must be smaller than 2006 for rcp=hindcast )
.....
.....
ga-> Diff_between_age.gs Rain 85 Jan 2006 2025 2080 2099 <- This command displays,
tybs,tybe= 1 229
tyas,tyae= 889 1117
ctl = pr85_2006-2100.ctl
vari = pr_85
No hardcopy metafile open
All files closed; all defined objects released;
All GrADS attributes have been reinitialized
Warning: OPTIONS keyword "template" is used, but the
DSET entry contains no substitution templates.
ga->
          
```

作図ツールの共有
説明資料の作成に
なれる
Arc-GISも検討中

対象ファイルを変えることで（現在は、MRI-CGCM,4シナリオ）、力学的DS、統計的DSデータに横展開できる

図 43 期間による違いを描画するスクリプト

Tool 2. Make differences between scenarios

```

C:\home\JICA_BMKG_2020\statistical-DS\Script\mri-cgcm_monthly>grADS
ga-> Diff_between_RCP.gs <-try 'Diff_between_RCP.gs'
.....
.....
.....
Usage :: run Script/Diff_between_RCP.gs elm rcp1 rcp2 mmm ybs ybe
Purpose:: Draw difference between two RCP( & mean (rbs- ybe) )
elm :: Humidity, Tmax, Tmin, Wind, Rain)
rcp1 :: Scenario ( 26, 45, 60, 85 )
rcp2 :: Scenario ( 26, 45, 60, 85 )
mmm :: month( Jan, Feb,.....,Dec)
ybs :: Year start ( must be larger than 2005 for rcp=26,45,60,85 )
ybe :: Year end ( must be smaller than 2006 for rcp=hindcast )
.....
.....
ga-> Diff_between_RCP.gs Rain 45 85 Dec 2026 2045
+++++
+++++
tybs,tybe = 252 480
ctl1 = pr45_2006-2100.ctl
ctl2 = pr85_2006-2100.ctl
vari1 = pr_45.1
vari2 = pr_85.2
+++++
+++++
No hardcopy metafile open
All files closed; all defined objects released;
All GrADS attributes have been reinitialized
Warning: OPTIONS keyword "template" is used, but the
DSET entry contains no substitution templates.
Warning: OPTIONS keyword "template" is used, but the
DSET entry contains no substitution templates.
ga->
          
```

<- This command displays,
difference of monthly
precipitation between
RCP 4.5 and 8.5 in
January between 2026 to
2045

図 44 シナリオによる違いを描画するスクリプト

加えて、MIROC および MRI モデルで 12 月の降水量の将来予測が異なる点について、各国の気候モデルの特性を評価するため、世界 4 か国 6 つのモデルを用いて行っている疑似温暖化実験 d4PDF のデータを収集し、複数のモデルによるインドネシア域の将来変動の傾向、各モデルによる差異を検討し、モデル間の比較を行った。

MIROC では、12 月の地上風は東寄り、モンスーンシーズンに入っておらず、その他のモデルは西風に変わりモンスーンに入っている。ただ、風向の変化は緯度にして数度ほどの微妙な差異で、モデルの評価に当たっては、個別の月や個別の島などを単体で比較するのではなく、より広域の長い期間のデータを検討し、その差異を評価することが重要であることがわかった。

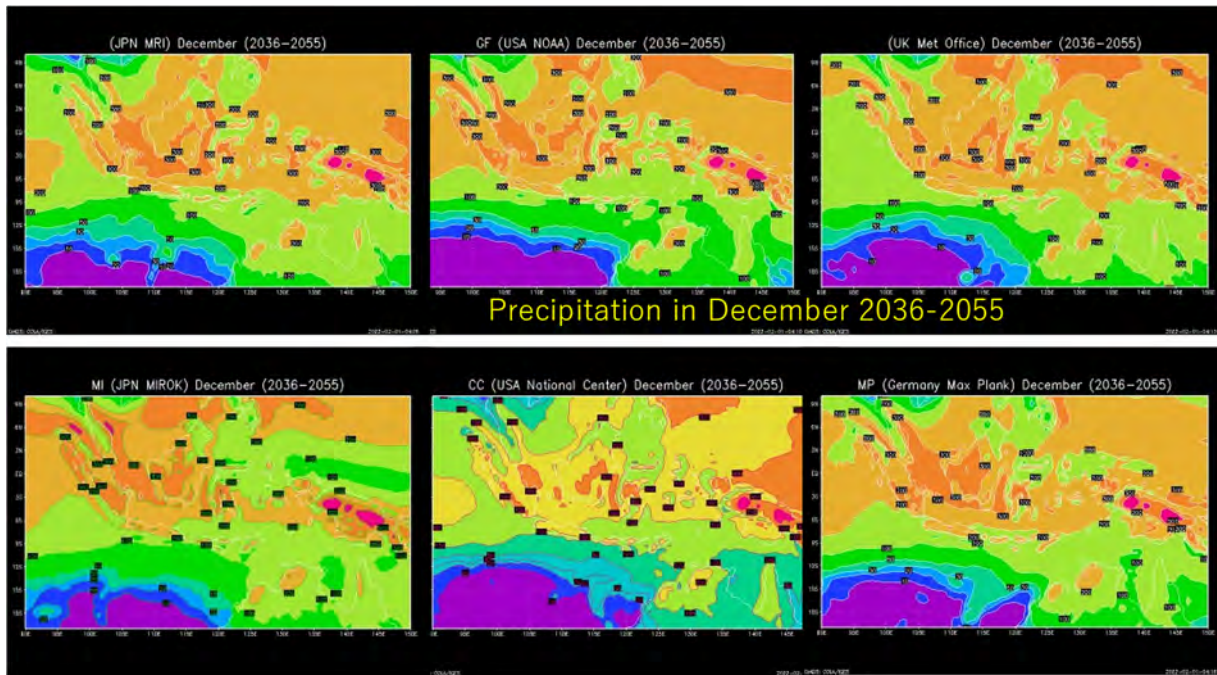


図 45 気候モデルによる降水量の違い (12 月の平均降水量、2036-2055 年)
 =上段 : 左から MR、GF、HA、下段 : 左から MI、CC、MP、略称は表 3-2-1 を参照=

表 5 d4PDF データで提供されている気候モデル

気候モデル	略称	研究機関名
CCSM4	CC	National Center for Atmospheric Research (USA)
GFDL-CM3	GF	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)
HadGEM2-AO	HA	Met Office Hadley Centre (UK)
MIROC5	MI	AORI, NIES, JAMSTEC (Japan)
MPI-ESM-MR	MP	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)
MRI-CGCM3	MR	Meteorological Research Institute (Japan)

なお、アンサンブルモデルのサンプル数は、以下のとおりであり、d4PDF の概要を図 46、47 に示した。

+4K: target 2090: 6 models (USA:2, JPN:3, UK:1) x 15 ensembles

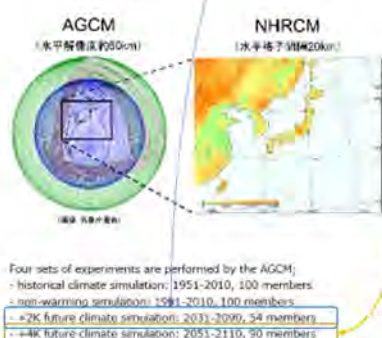
+2K: target 2040: 6 models (USA:2, JPN:3, UK:1) x 9 ensembles

database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)

How to use

Experimental Design of d4PDF

The d4PDF consists of outputs from global warming simulations by a global atmospheric model with horizontal grid spacing of 60 km (hereafter AGCM; Mizuta et al. 2012) and from regional downscaling simulations covering the Japan area by a regional climate model with 20 km grid spacing (hereafter RCM; Sasaku et al. 2011; Murata et al. 2013).



Results of a +2K simulation has been available since August 2018. The same six CMIP5 models were selected as in the +4K simulation, and 9 -member ensemble experiments are conducted for each of the six Δ SSTs, giving a total of 54 members. The greenhouse gases are set to the value in 2040 of the RCP8.5 scenario.

The future climate in which the global-mean surface air temperature becomes 4 K warmer than the pre-industrial climate is simulated in the +4K simulation. For the use of the +4K simulations, climatological SST warming patterns (Δ SSTs) are added to the observational SST after removing the long-term trend component. Six CMIP5 models were selected, and 15-member ensemble experiments are conducted for each of the six Δ SSTs, giving a total of 90 members. The greenhouse gases are set to the value in 2090 of the RCP8.5 scenario. In this simulation, the amplitude of the warming is kept constant throughout the 60-year integration of the years labeled from "2051" to "2110".

図 46 d4PDF データの概要

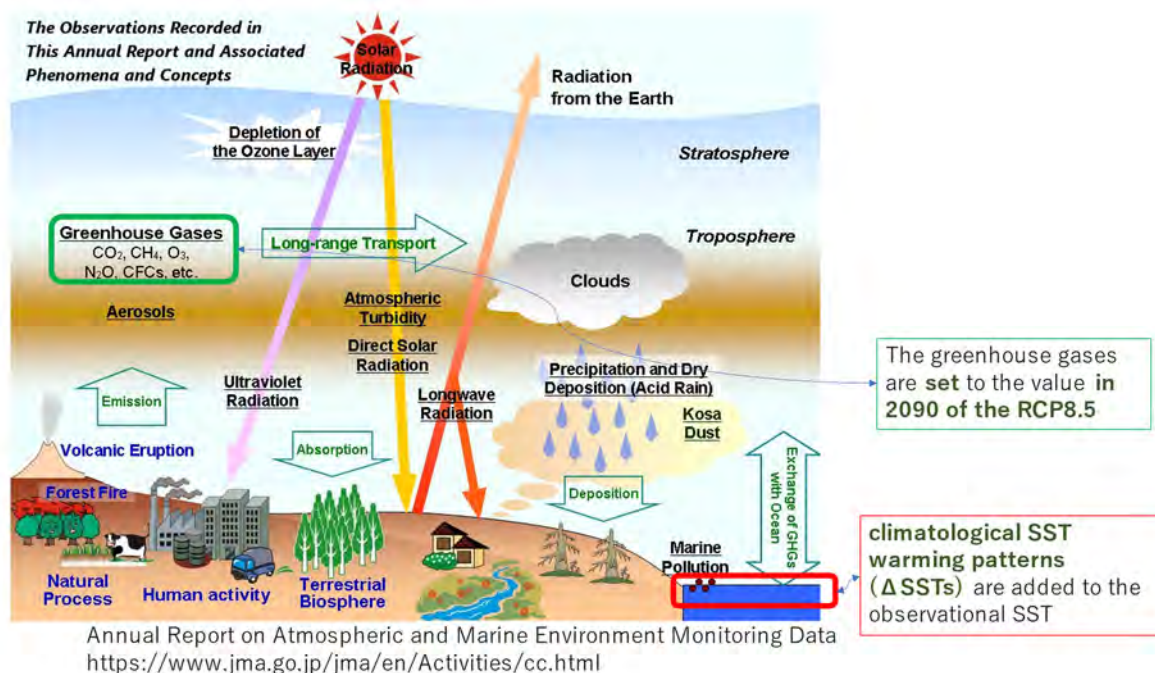


図 47 d4PDF データで考慮される物理要素

(6) インドネシア域における気候変動特性

[MRI-CGCM モデルにおける近未来と将来の変化]

統計的ダウンスケーリングを行う前に、MRI-CGCM データの将来にかけての変化を確認した。図 48 に、Jakarta (南緯 6.15 度、東経 106.75 度) の最寄りグリッドにおける、降水量・相対湿度・風速についての月統計値 (降水量は積算、他は平均値) を 2005~2100 年について、RCP の 4 つのシナリオについてプロットした。降水量では、RCP8.5 は他のシナリオに比べ増加傾向を示して

いる、一方、湿度においては他のシナリオよりも、将来に向け低下する傾向を示している。風速についても、RCP8.5では他のシナリオに比べ風速が小さくなっていく傾向をしめしており、年間の風速変動の幅も小さくなる傾向にある。

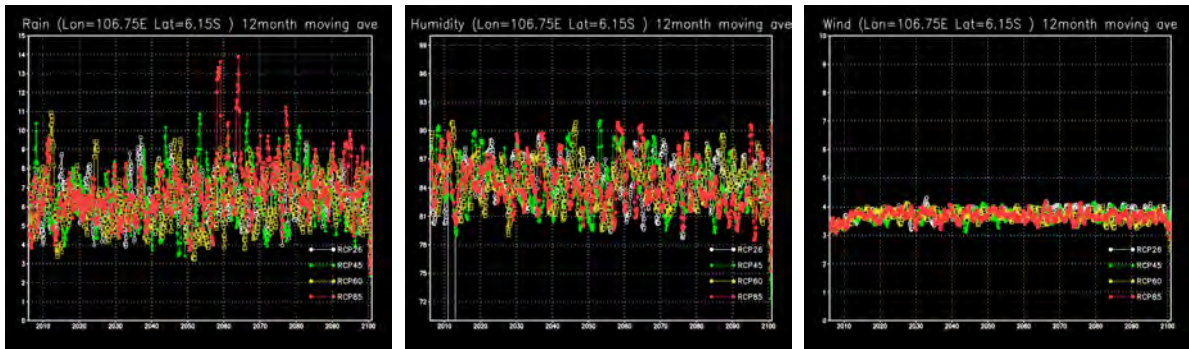


図 48 MRI-CGCM のトレンド（降水量、湿度、風速、Jakarta 最寄りグリッド）

図 49 に、CGCM データについて、Jakarta の最寄りグリッドの最高気温および最低気温のシナリオ別の将来変化トレンドを示した。すべての RCP シナリオにおいて、また、最高気温・最低気温ともに、明確な上昇トレンドが見られる。RCP8.5 では、最高気温、最低気温ともに上昇度が最も大きい。

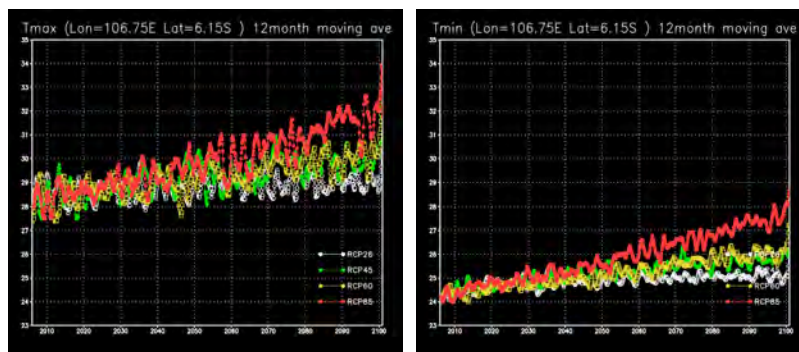


図 49 MRI-CGCM のトレンド（最高気温、最低気温、Jakarta 最寄りグリッド）

〔期間による違い〕

力学的ダウンスケーリングの結果では、インド・オーストラリアモンスーンの影響を強く受ける、ジャワ・スマトラ南部、パプアでは、雨期の降水量が増え、乾季の降水量が減る傾向にあることが示されている（wet-get-wetter tendency and dry-get-drier tendency）。

力学的ダウンスケーリングの親モデルである MRI-AGCM では、この傾向は、近未来（2036～2055 年）では、パプアにおける降水量の増加とパプア西部からスラウェシ北部での降水量減少として見られるが、ジャワ島、スマトラ南部、スラウェシ南部、カリマンタン南部での降水量増加は、まだ顕著でない。月別には 1 月に増加傾向がみられるが、12 月の増加傾向は明確でない。

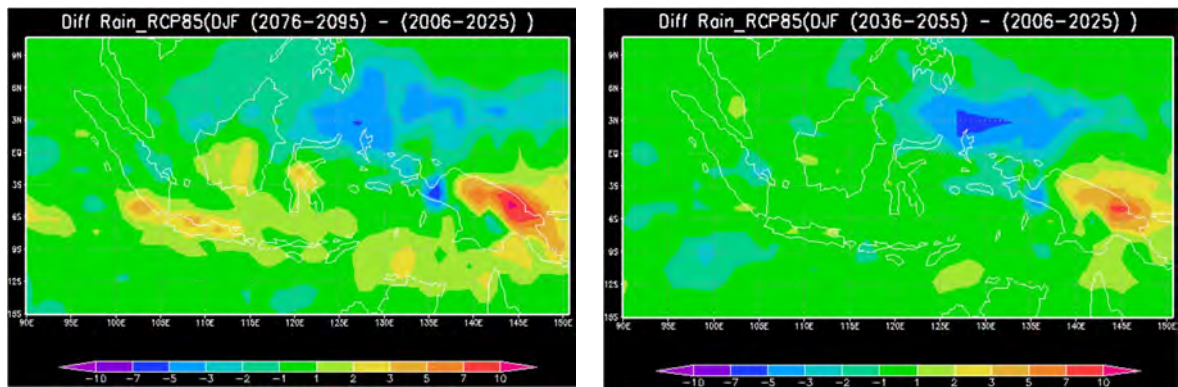


図 50 期間の相違における降水量変化の違い
(左：2076～2095年、右：2036～2055年12～2月の降水量変化(対2006～2025年))

[シナリオによる違い]

雨季の降水量変化については、RCP8.5 および RCP4.5 で顕著で、RCP2.6 ではあまり顕著ではない。また、RCP8.5 では RCP2.6 シナリオ間の比較結果を、近未来(2036～2055年)と将来(2076～2095年)で比べると、降水量の増加は近未来ではそれほど目立っておらず、気候変動の雨季の降水量への影響は、MRI モデルでは、2050年以降の RCP4.5 および 8.5 などの温暖化シナリオで表れている。

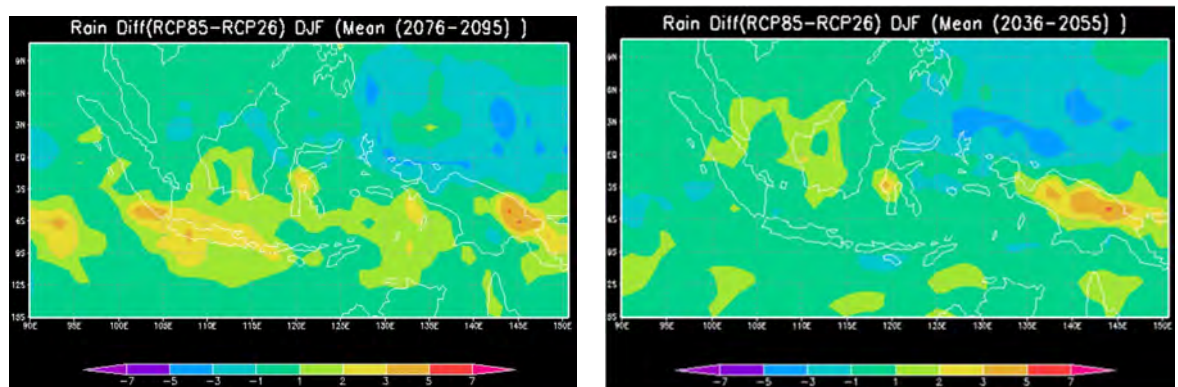


図 51 シナリオの相違における降水量変化の違い
(RCP8.5 と RCP2.6、左：将来、右：近未来)

(7) 観測データと MRI モデルの比較

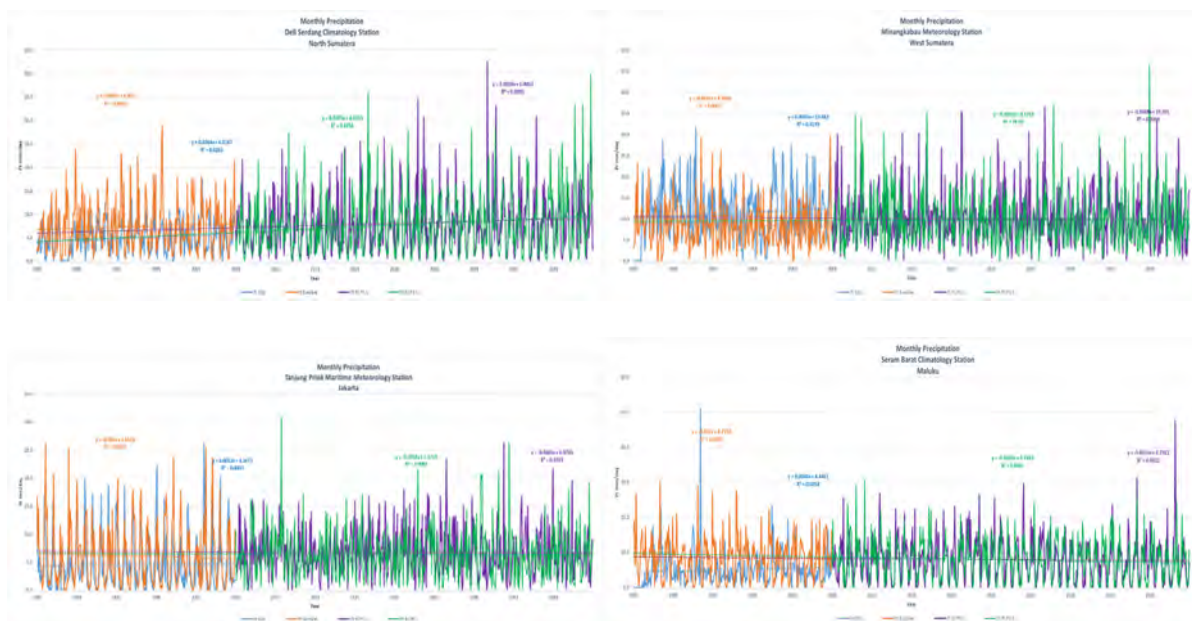


図 52 月降水量の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）
（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku、1981~2050年）

図 52 に、北ジャワ、西ジャワ、Jakarta、Maluku について、MRI モデルの過去実験データ（オレンジ色）と観測値（水色）、近未来までの MRI 将来予測データ RCP4.5（紺色）、RCP8.5（緑色）の月降水量の変化を示した（1981~2050年）。

降水量の変化は、北ジャワでは若干の増加傾向を、Maluku では若干の減少傾向を示しているが、気温の明確な上昇トレンドのような、明らかな変化傾向はない。過去データと観測データの比較についても、明確な変化トレンドはないが、観測値では、弱いながらも増加傾向にある（回帰式の傾きは正）。

次に、過去実験データと観測値を比べると、地点によってその傾向が異なっている。モデルが過大に降水量を解析している地点と、過少に解析している地点が混在している。変化傾向についても上昇トレンド、減少トレンドが混在している、明確な傾向はない。

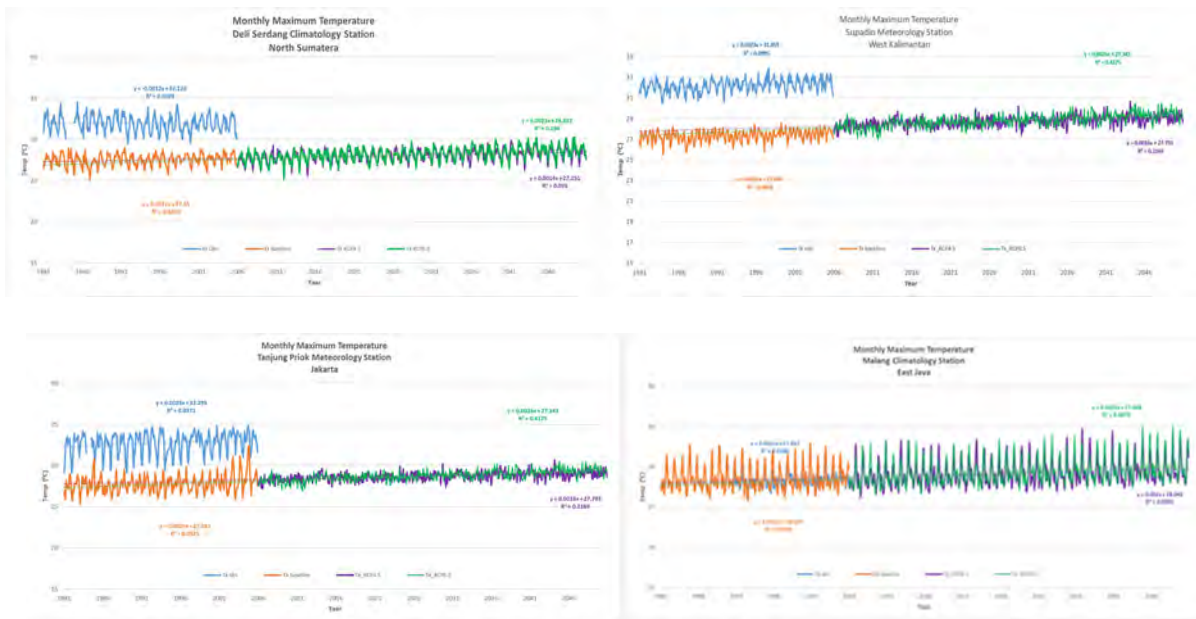


図 53 最高気温月平均値の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）
（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku）

図 53 に同様に、近未来までの最高気温の月降水量の変化を示した（1981~2050 年）。過去実験データと観測値を比較すると、Malang を除いて、モデルの過去実験値は観測値よりも低く、過去実験値に負のバイアスがあることがわかる。将来変化については、RCP4.5,8.5 とともに上昇傾向を示しているが、近未来までは、両者の違いはそれほど明確ではない。

回帰直線の傾きでみると、Jakarta と西ジャワでは、RCP8.5 では 0.26 ($^{\circ}\text{C}/10$ 年)、RCP4.5 で 0.16 ($^{\circ}\text{C}/10$ 年) で、RCP8.5 の方が上昇度が大きい。また、観測値の上昇トレンドの回帰式の傾きは、それぞれ $0.12, 0.23, 0.29, 0.21$ で RCP8.5 と RCP4.5 の上昇トレンドの傾きの中間の値をとっている。

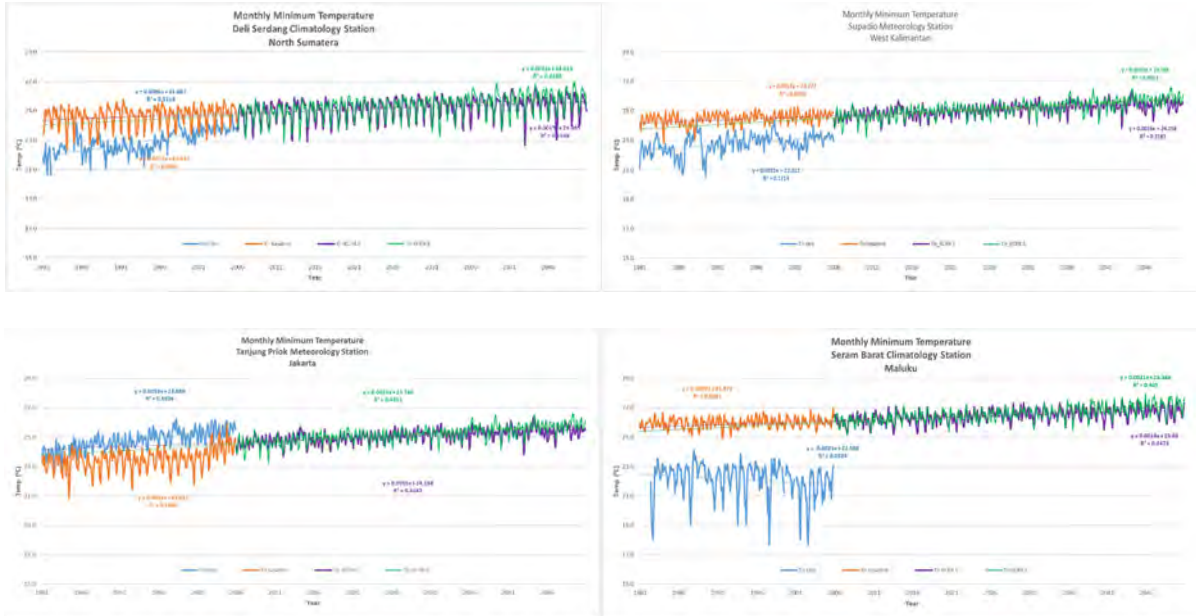


図 54 最低気温月平均値の変化（橙：モデル、水色：観測値、緑：RCP8.5、紺：RCP4.5）
（上左：北ジャワ、上右：西ジャワ、下左：Jakarta、下右：Maluku）

図 54 に同様に、近未来までの最低気温の月降水量の変化を示した（1981~2050 年）。過去実験データと観測値を比較すると、Jakarta を除いて、モデルの過去実験値は観測値よりも高く、過去実験値に正のバイアスがあることがわかる。Tanjung Priok, Jakarta については、逆に負のバイアスがあるが、これは、Tanjung Priok, Jakarta の観測場所が移転したことによる影響が大きいと考えている。将来変化については、RCP4.5,8.5 とともに上昇傾向を示している。

(8) 新旧平年値の比較から見た気候変動

インドネシアは東西につらなる多くの島から構成され、様々な降水量変化パターンをもっており、1つの観測所の値は小さなロカルエリアの特徴を表しているにすぎず、インドネシア全体の傾向を分析するには、多くの観測点データで比較検討を行う必要がある。インドネシアは、2つの季節、雨季と乾季を持つ地点が多いが、降水量の変化パターンは、場所・地形など様々な要素によりいろいろなパターンがある。例えば、12月には、ジャワ島では雨季に入るが、そのほかの島はまだ乾季であり、インドネシア全体が一斉に雨季になったり、寒気になったりすることはない。インドネシアの降水量パターンは、大きく分けると3つのパターン、赤道型、モンスーン型、逆モンスーン型（ローカル型）に分けられる。

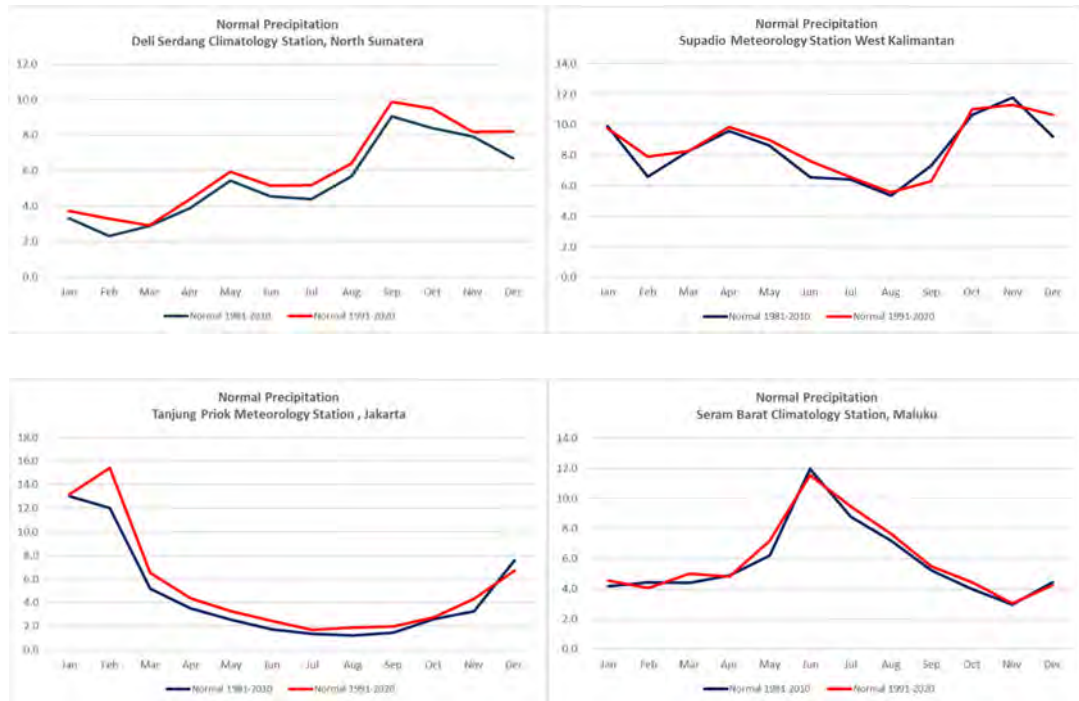


図 55 旧平年値（紺：1981~2010年）と新平年値（赤：1991~2020年）の月降水量

図 55 は、WMO が規定する平年値（30 年間の平均値）について、旧平年値（紺：1981~2010 年）、新平年値（赤：1991~2020 年）の月降水量を地点別にプロットもので、インドネシアの 3 つの降水量変動パターン、モンスーン、赤道、ローカルを示している。新平年値では旧平年値にくらべて降水量が若干増加している地点が多い。

上図は旧平年値と新平年値の間の月降水量の変化を示しているが、そのほかの地点についても、概ね同様の変化傾向にある。

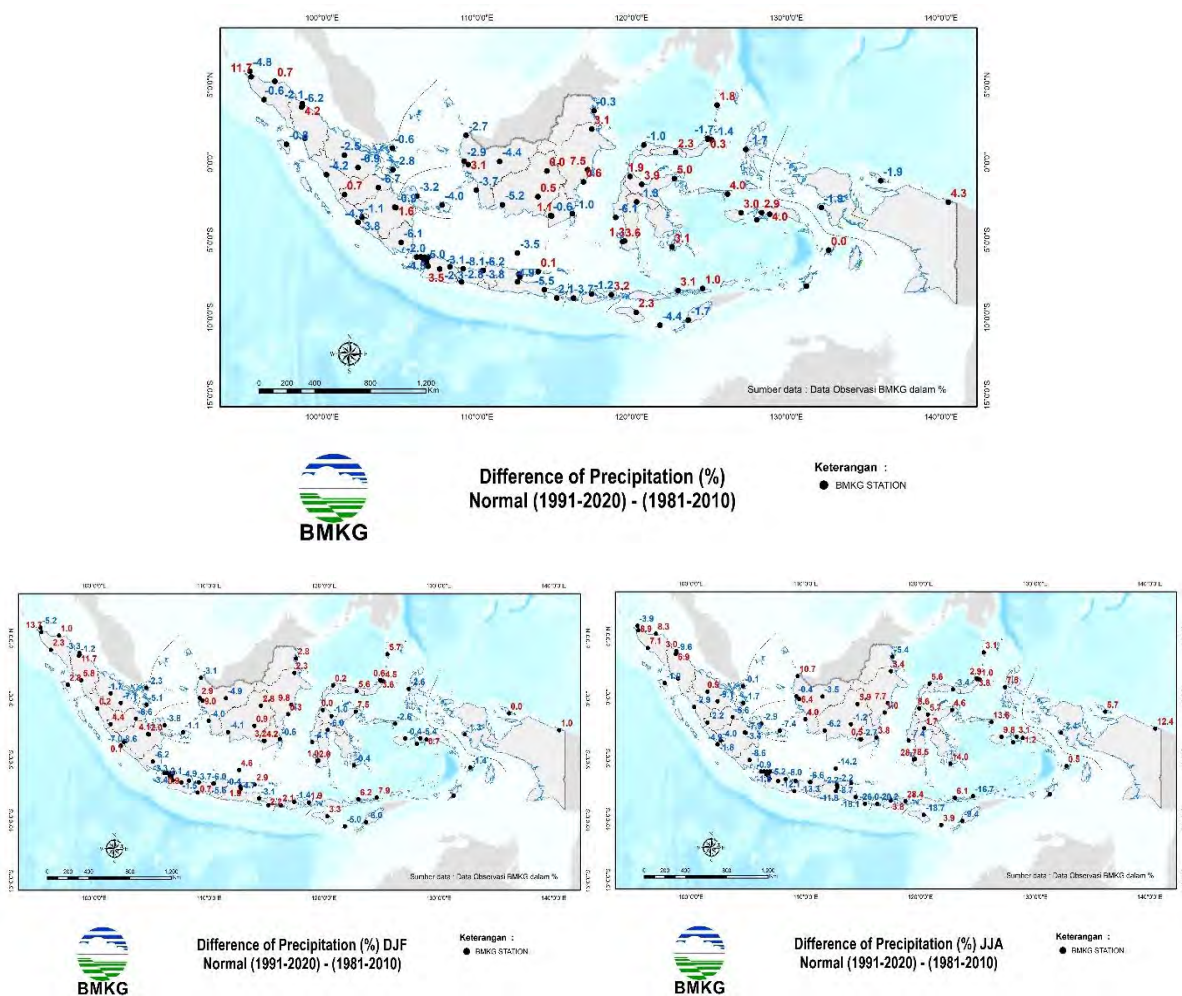


図 56 旧平年値に対する新平年値の降水量増加率 (%)
 (上 : 年降水量、下左 : DJF、下右 : JJA)

図 56 は、年降水量、DJF (12~2 月)、JJA (6~8 月) の期間降水量について、新平年値における旧平年値に対する増加率 $\{(\text{新平年値} - \text{旧平年値}) / \text{旧平年値}\}$ を、94 の BMKG 観測点についてプロットしたもので、増加した地点は「青」減少した地点は「赤」でプロットし、増加率(減少率)もあわせてプロットしたものである。年降水量は 53 地点で増加し、31 地点で減少している。JJA については、モンスーンタイプの降水量パターンの地点では減少し、ローカルタイプの地点では増加する傾向にあり、赤道タイプの地点についても増加している。DJF については、増加する地点と減少する地点が半々である。

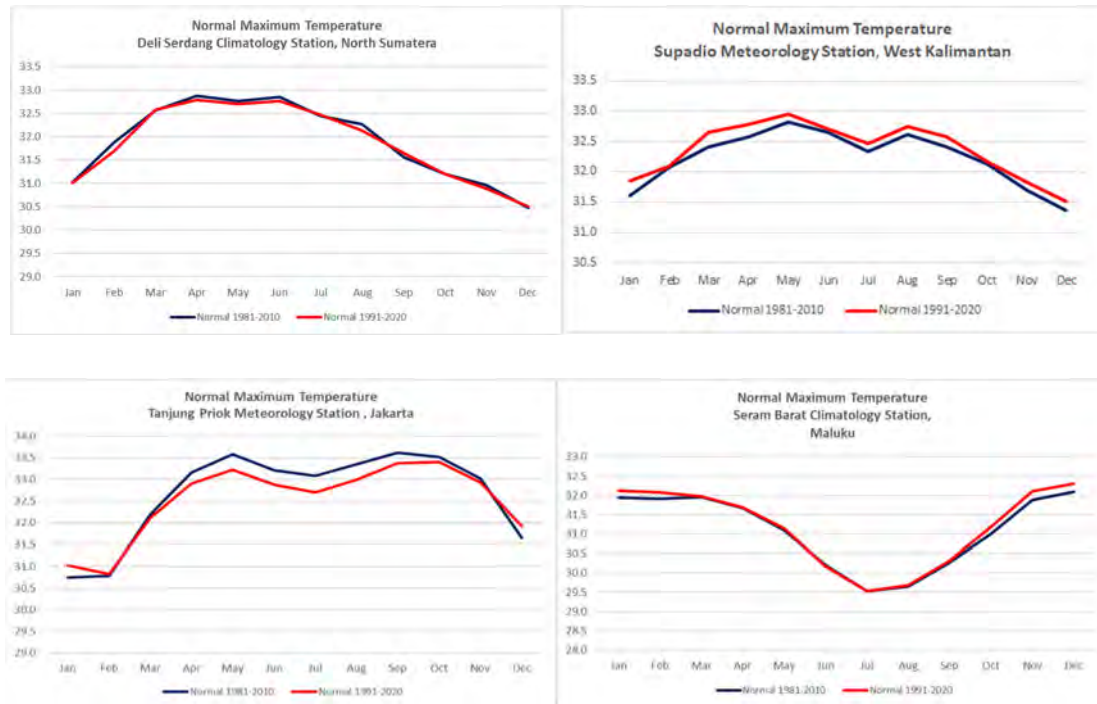


図 57 旧平年値（紺：1981～2010 年）と
新平年値（赤：1991～2020 年）の最高気温月平均値

図 57 は、旧平年値（紺：1981～2010 年）、新平年値（赤：1991～2020 年）について、最高気温の月平均値を、図 55 と同じ地点について（モンスーン、赤道、ローカル型の地点）を示している。Jakarta を除いて、新平年値では旧平年値にくらべて全般に上昇している地点が多い。Jakarta については、他の地点と異なり、新平年値では低下しているが、観測所の移転があり、その影響も考慮する必要がある。

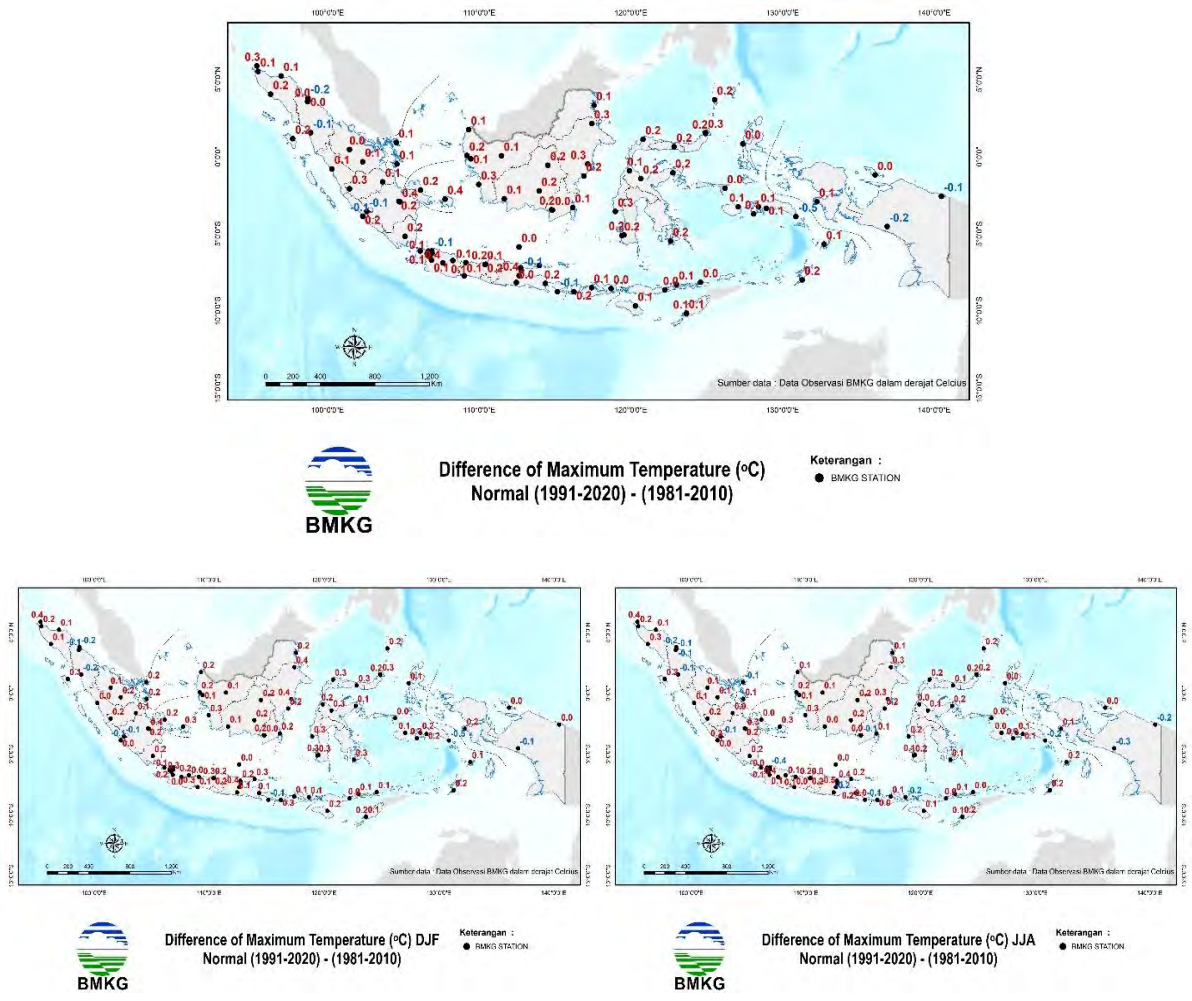


図 58 最高気温期間平均値の旧平年値に対する新平年値の上昇率 (°C)
(上 : 年、下左 : DJF、下右 : JJA)

図 58 には、年、DJF (12~2 月)、JJA (6~8 月) の期間について、最高気温の期間平均値を、新平年値における旧平年値の上昇度 $\{(\text{新平年値} - \text{旧平年値})\}$ を、94 の BMKG 観測点についてプロットしたもので、上昇して地点は「赤」低下した地点は「青」でプロットし、変化量をあわせて示した。いずれの期間もほとんど地点で最高気温は上昇しており、4 地点では、最も大きい 0.4°C の上昇を示した。98 地点の平均上昇度は 0.1°C であった。DJF、JJA のいずれの期間でも上昇しており、東 Java の 3 地点では 0.5°C 上昇している。98 地点の平均上昇度は 0.1°C であった。

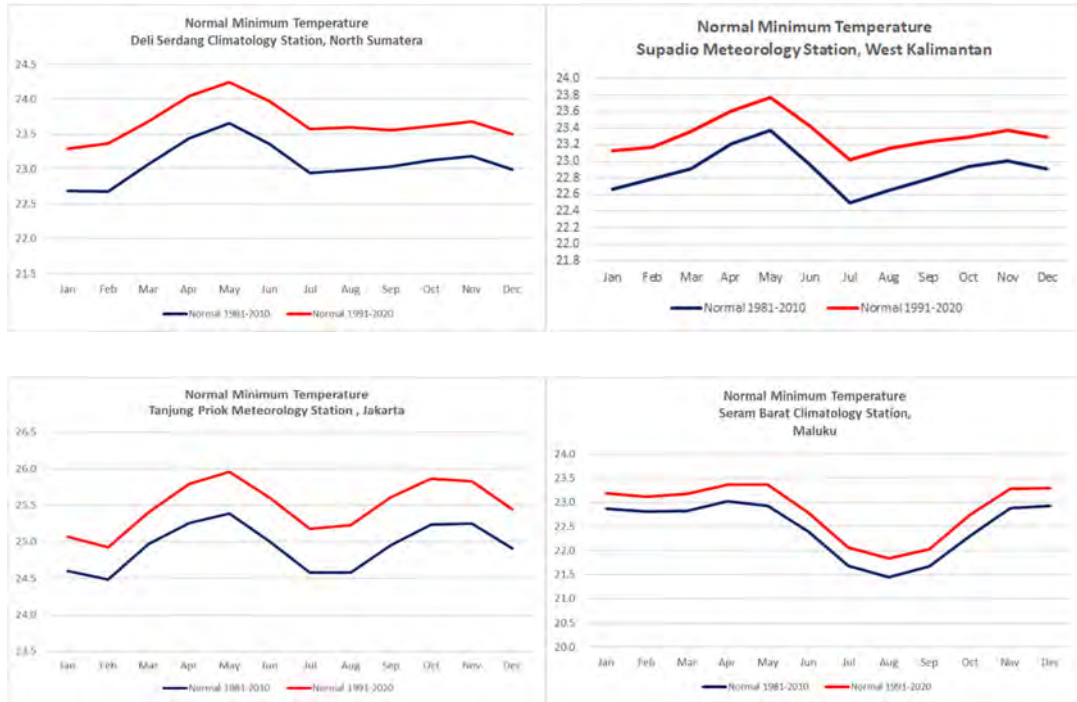


図 59 旧平年値（紺：1981～2010 年）と
新平年値（赤：1991～2020 年）の最低気温月平均値

図 59 は、旧平年値（紺：1981～2010 年）、新平年値（赤：1991～2020 年）について、最低気温の月平均値を示した。いずれの地点も、新平年値では旧平年値にくらべて明確な上昇傾向がみられる。月ごとの変化パターンには、大きな変化は見られない。最低気温における上昇とは、最高気温における上昇度より明らかに大きく、また、変化傾向が明確でない降水量に比べ、明確な変化を示している。

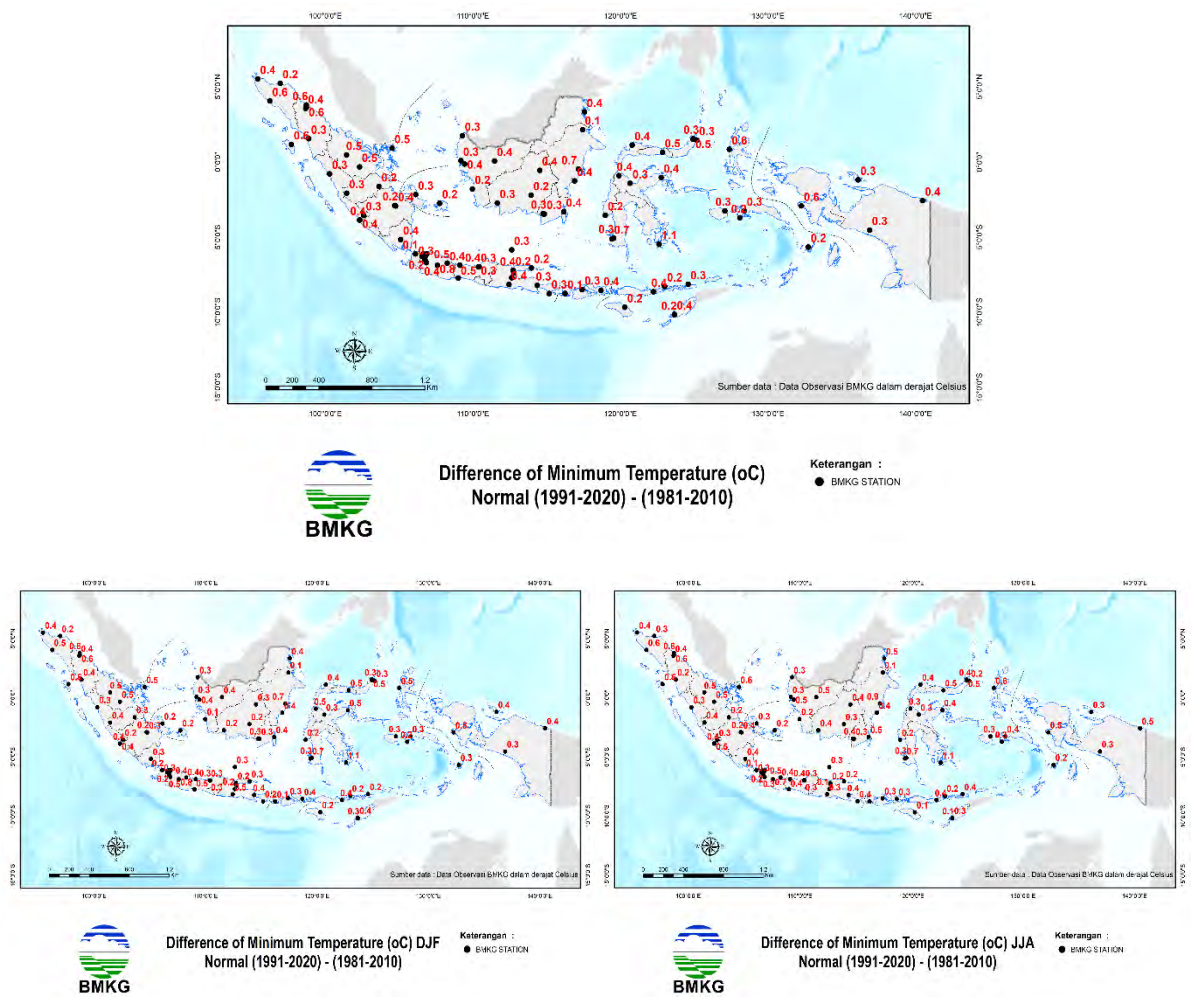


図 60 最高気温期間平均値の旧平年値に対する新平年値の上昇率 (°C)
(上 : 年、下左 : DJF、下右 : JJA)

図 60 には、年、DJF (12~2 月)、JJA (6~8 月) の期間について、最低気温の期間平均値を、新平年値における旧平年値の上昇度 $\{(\text{新平年値} - \text{旧平年値})\}$ を、94 の BMKG 観測点についてプロットしたもので、上昇して地点は「赤」低下した地点は「青」でプロットし、変化量をあわせて示した。いずれの期間もほとんど地点で最低気温は上昇しており、Beto Ambari, Baubau (Southeast Sulawesi) では 1.1°C 上昇している。92 地点における平均上昇度は 0.4°C であった。4 地点では、最も大きい 0.4°C の上昇を示した。98 地点の平均上昇度は 0.1°C であった。DJF、JJA のいずれの期間でも同様に、ほぼ全地点で上昇している。

(9) 統計的ダウンスケーリング結果

統計的ダウンスケーリングによりより小さなスケールの気候統計値を得ることができる。図 61 は統計的ダウンスケーリングの結果で、上左がオリジナルの MRI 気候モデルデータ、上中央が BMKG の観測値、上右が地点データを用いた統計的ダウンスケーリング結果、下中央が BMKG のメッシュ統計値 SACAD、下右がメッシュデータを用いた統計的ダウンスケーリングの結果である。オリジナルの MRI 気候モデルデータでは山岳部での降水量の増加を十分には表現できていない。SACAD データでは山岳部の降水量 (山岳部で降水量が増加し、平地では減少する) を比

較的に良く表現できている。統計的ダウンスケーリング結果では、地点データあるいは SACAD データの持つ、降水量パターンを反映した統計的補正がなされている。

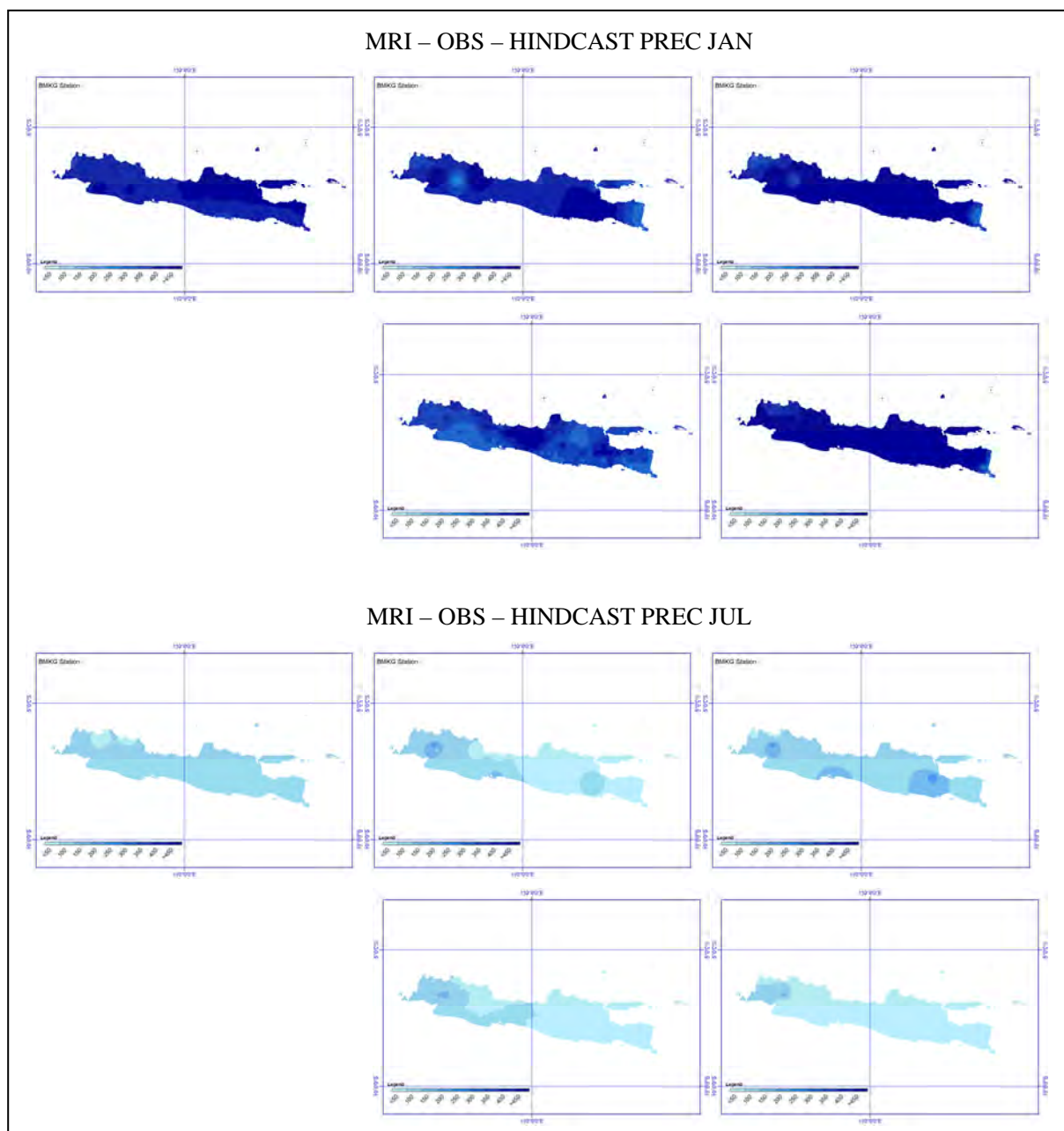


図 61 月降水量 (上 : 1 月、下 : 7 月)

上 : 左から、MRI モデルオリジナルデータ、BMKG 地上観測点データ、統計的 DS 結果

下 : 左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果

図 62 は、2021~2035 年の期間について、RCP4.5 と 8.5 のシナリオによる違いを検討するために、CDF 型 (左) と Gaussian 型 (右) の統計的ダウンスケーリングの結果で、上段は RCP4.5、下段は RCP8.5 のシナリオデータの統計的ダウンスケーリングの結果である。降水量分布は、手法の違いにより異なる結果を示しており、ジャワ島の降水パターンを正確に表現しているとはいえない。CDF による RCP4.5 の統計的ダウンスケーリングの結果が、250-300mm の降水量を推定しており、実際の分布をある程度表現できている。今回の計算結果からは、統計的ダウンスケ

ーリングは、将来の変化傾向をある程度推定できるが、降水量については再現性に課題があると考えられる。

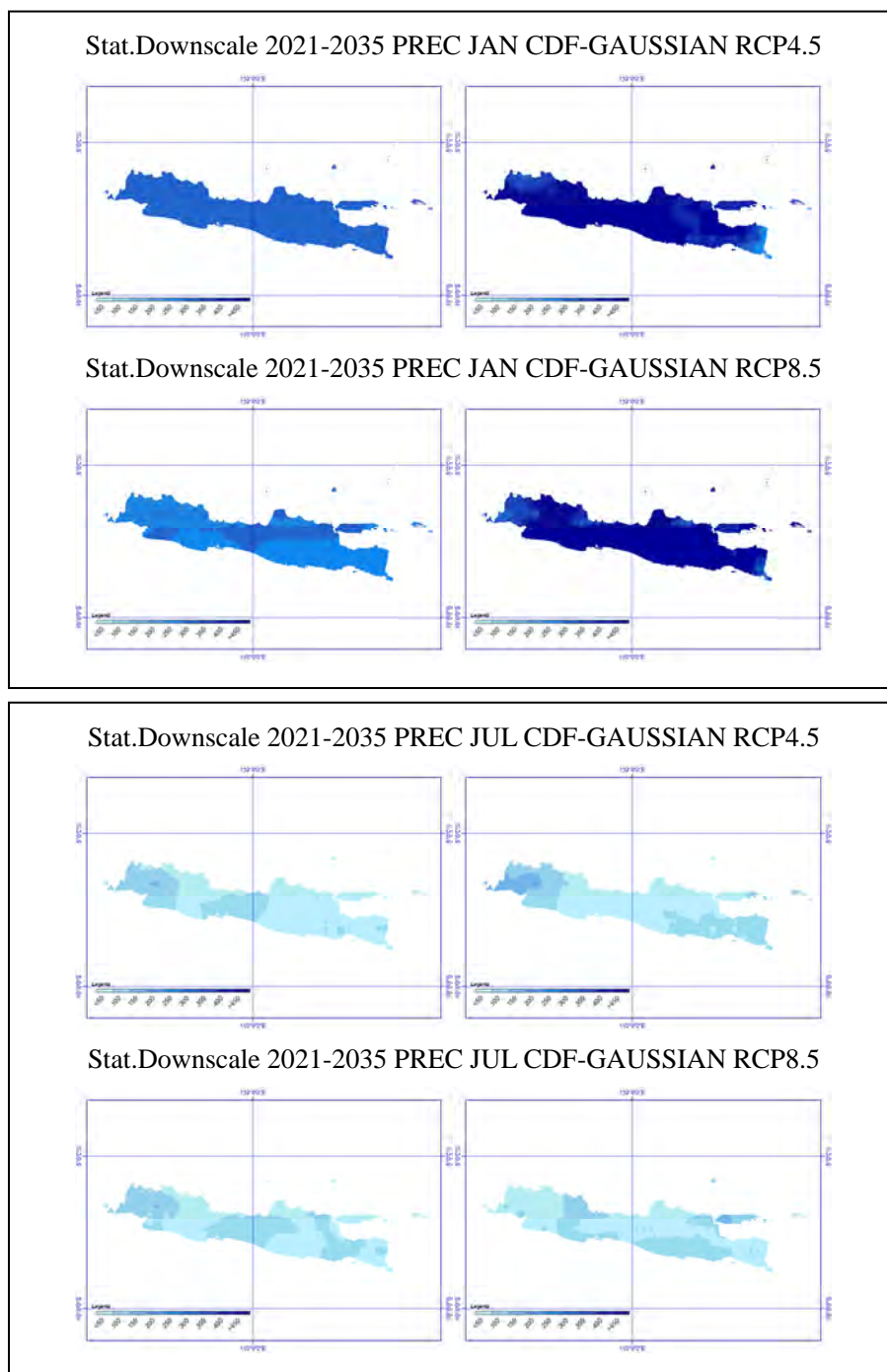


図 62 統計的ダウンスケーリング（左:CDF, 右:Gaussian）の結果（降水量）
（上段：1月、下段：7月、いずれも上図が RCP4.5, 下図が RCP8.5）

図 63 は最高気温についての統計的ダウンスケーリングの結果で、上左がオリジナルの MRI 気候モデルデータ、上中央が BMKG の観測値、上右が地点データを用いた統計的ダウンスケーリング結果、下中央が BMKG のメッシュ統計値 SACAD、下右がメッシュデータを用いた統計的ダウンスケーリングの結果である。オリジナルの MRI 気候モデルデータでは山岳部での気温分布を十分には表現できていない。SACAD データでは山岳部の気温についても（山岳部で低下、平地

で上昇)を比較的良く表現できている。統計的ダウンスケーリング結果では、地点データあるいは SACAD データの持つ、気温パターンを反映した統計的補正がなされ、また、オリジナルモデルの低温バイアスが補正されている。

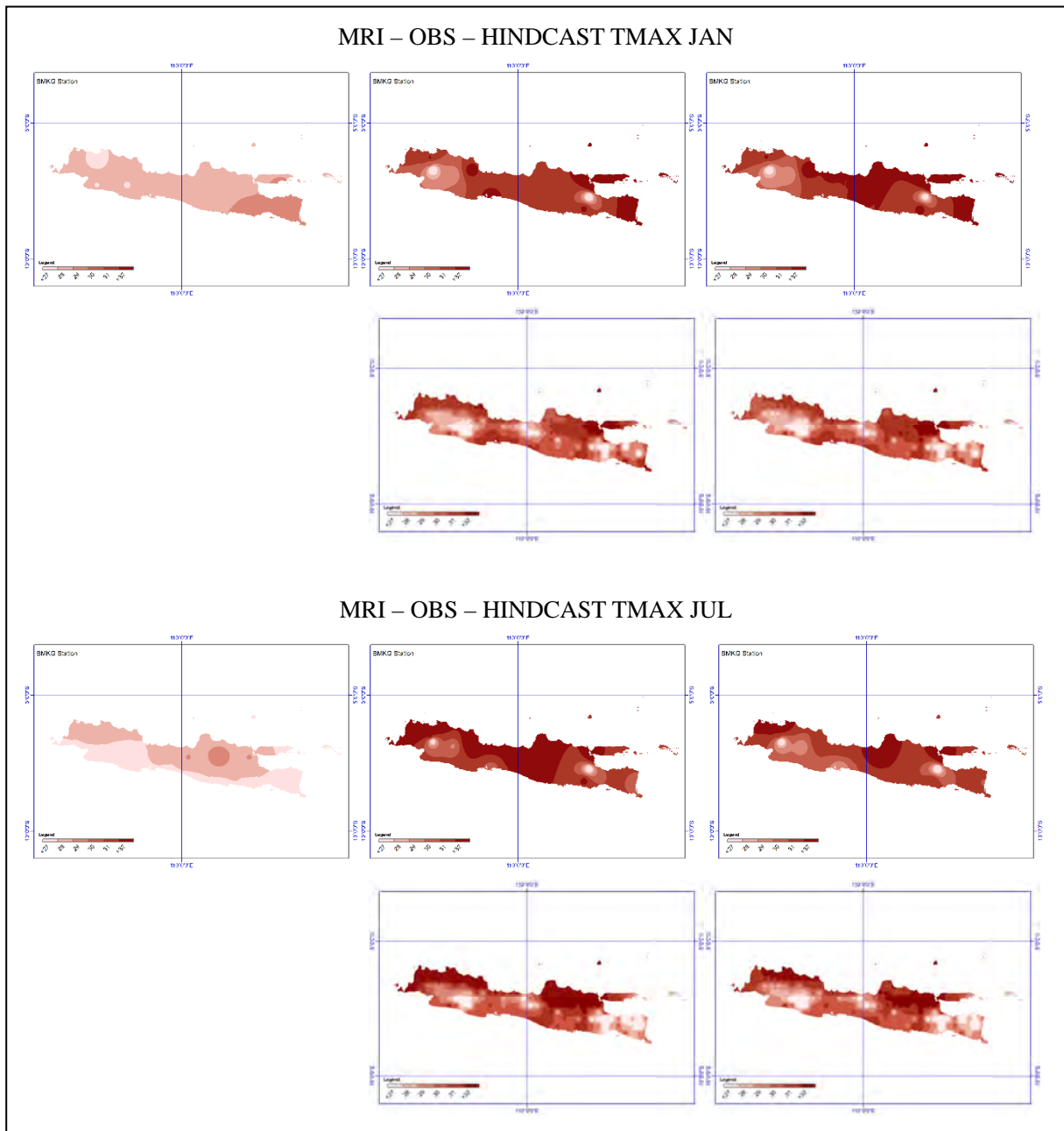


図 63 最高気温月平均値 (上 : 1 月、下 : 7 月)

上 : 左から、MRI モデルオリジナルデータ、BMKG 地上観測点データ、統計的 DS 結果

下 : 左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果

図 64 は、2021~2035 年の期間について、RCP4.5 と 8.5 のシナリオによる違いを検討するために、CDF 型 (左) と Gaussian 型 (右) の統計的ダウンスケーリングの結果で、上段は RCP4.5、下段は RCP8.5 のシナリオデータの統計的ダウンスケーリングの結果である。気温分布は、降水量よりは地形に応じた分布パターンをある程度反映した結果となっているが、ジャワ島の気温の分布パターンを正確に表現しているとはいいがたく、データの与え方などさらに検討する必要がある。

ある。CDFによるRCP4.5の統計的ダウンスケーリングの結果は、27-32°Cの温度帯のデータを概ね推定できており、実際の分布をある程度表現できている。今回の計算結果から、統計的ダウンスケーリングは、将来の変化傾向をある程度推定できるが、降水量よりは地形を反映した結果を推定できるが、計算結果を検討し、データの与え方を修正するなど、さらに検討していく必要がある。

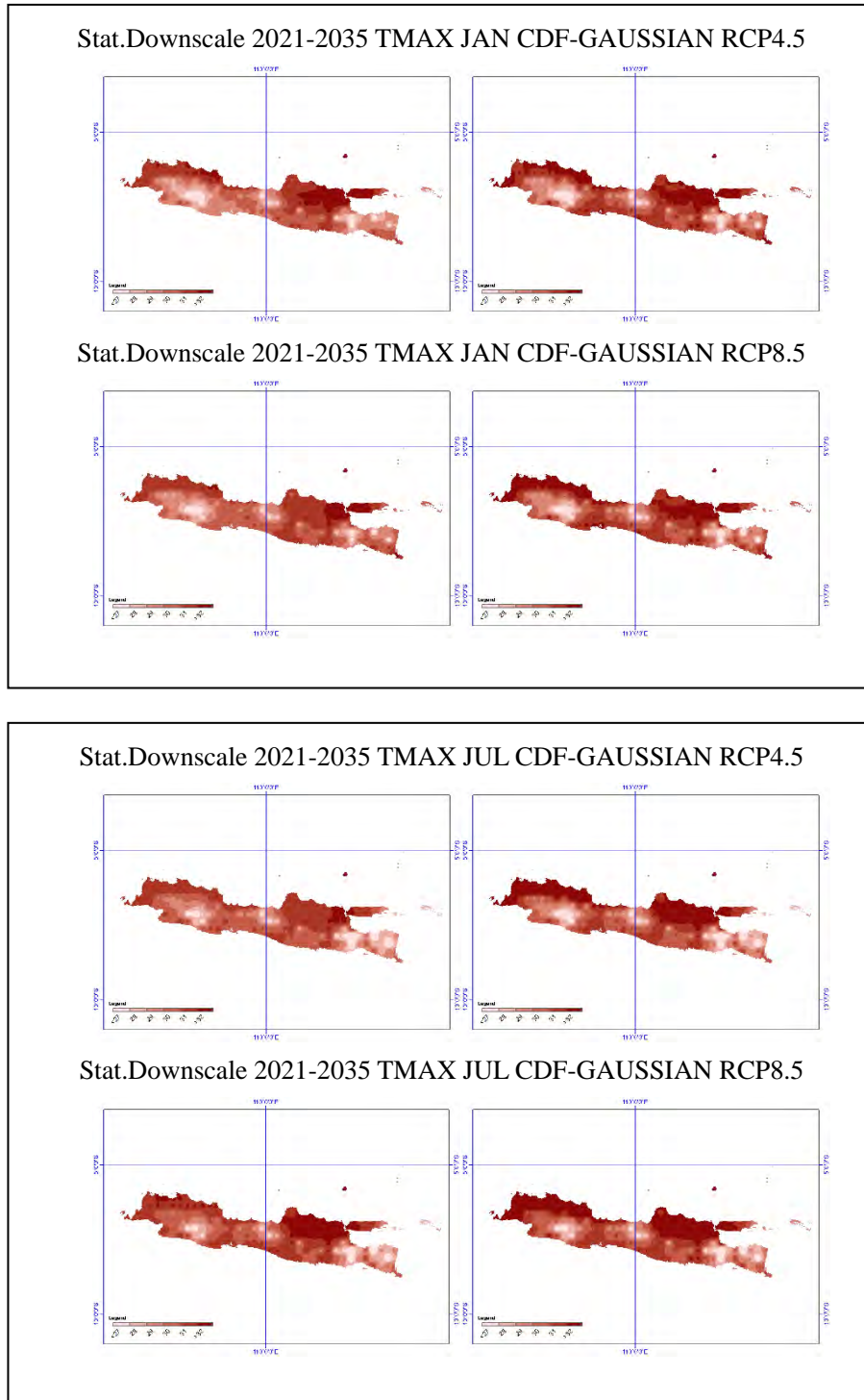


図 64 統計的ダウンスケーリング（左:CDF, 右:Gaussian）の結果（最高気温）
（上段：1月、下段：7月、いずれも上図がRCP4.5, 下図がRCP8.5）

図 65 は最低気温についての統計的ダウンスケーリングの結果で、上左がオリジナルの MRI 気候モデルデータ、上中央が BMKG の観測値、上右が地点データを用いた統計的ダウンスケーリング結果、下中央が BMKG のメッシュ統計値 SACAD、下右がメッシュデータを用いた統計的ダウンスケーリングの結果である。最高気温の場合と同様に、オリジナルの MRI 気候モデルデータでは山岳部での気温分布を十分には表現できていないが、SACAD データでは山岳部の気温についても（山岳部で低下、平地で上昇）を比較的良く表現できている。統計的ダウンスケーリング結果では、地点データあるいは SACAD データの持つ、気温パターンを反映した統計的補正がなされ、また、オリジナルモデルの低温バイアスが補正されている。

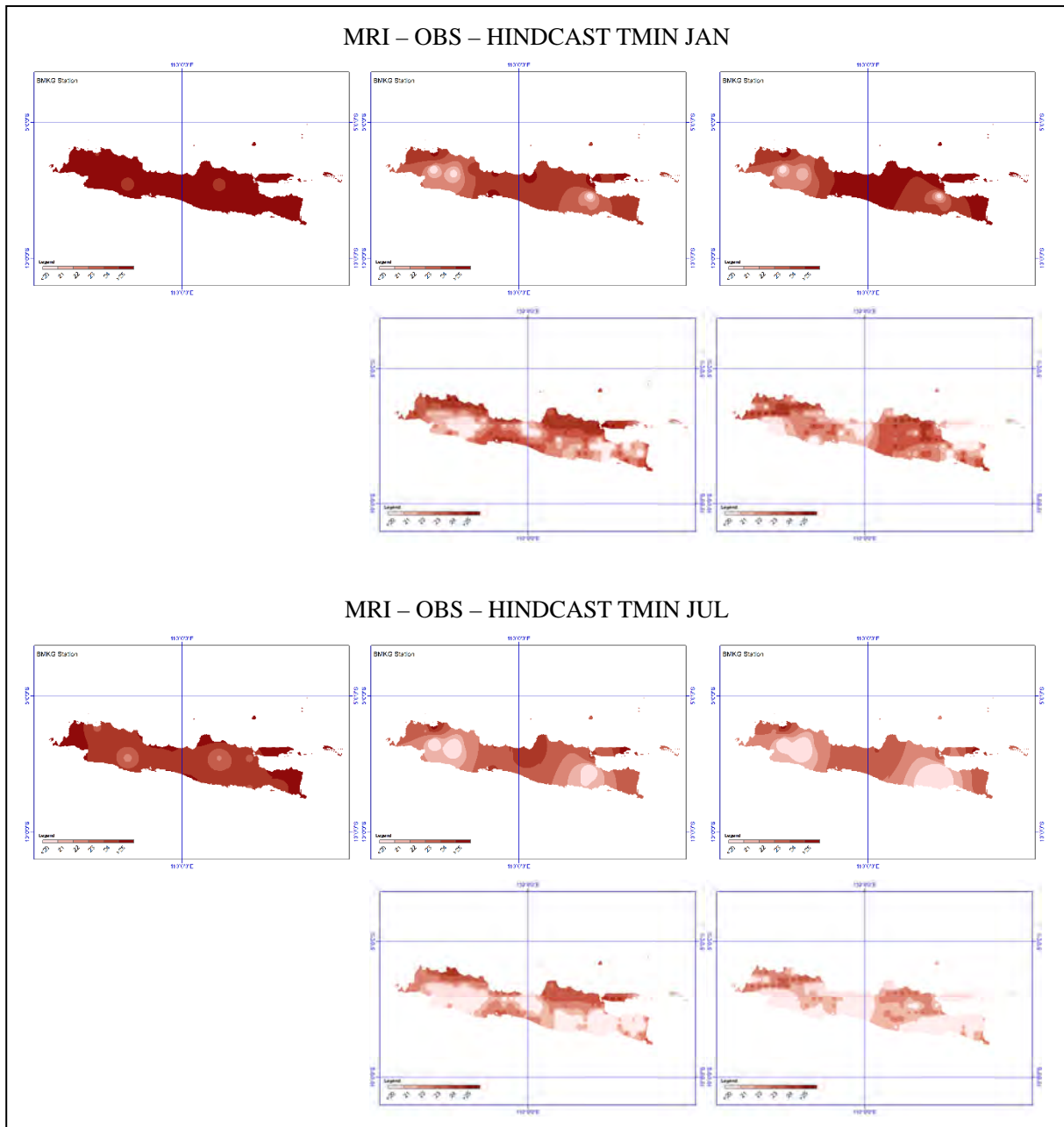


図 65 最低気温月平均値（上：1月、下：7月）

上：左から、MRI モデルオリジナルデータ、BMKG 地上観測点データ、統計的 DS 結果
下：左から、BMKG-SACAD メッシュデータ、統計的 DS 結果

図 66 は、2021~2035 年の期間について、RCP4.5 と 8.5 のシナリオによる違いを検討するために行った、CDF 型(左)と Gaussian 型(右)の統計的ダウンスケーリングの結果で、上段は RCP4.5、下段は RCP8.5 を示した。最低気温でも、地形に応じた分布パターンをある程度反映した結果となっているが、ジャワ島の気温の分布パターンを正確に表現しているとはいいがたく、データの与え方などさらに検討する必要がある。CDF による RCP4.5 の統計的ダウンスケーリングの結果は、20-25°Cの温度帯のデータを概ね推定できており、実際の分布をある程度表現できている。今回の計算結果からは、統計的ダウンスケーリングは、将来の変化傾向をある程度推定できるが、計算結果を再検討し、データの与え方など、さらに調整を行っていく必要があると考えられる。

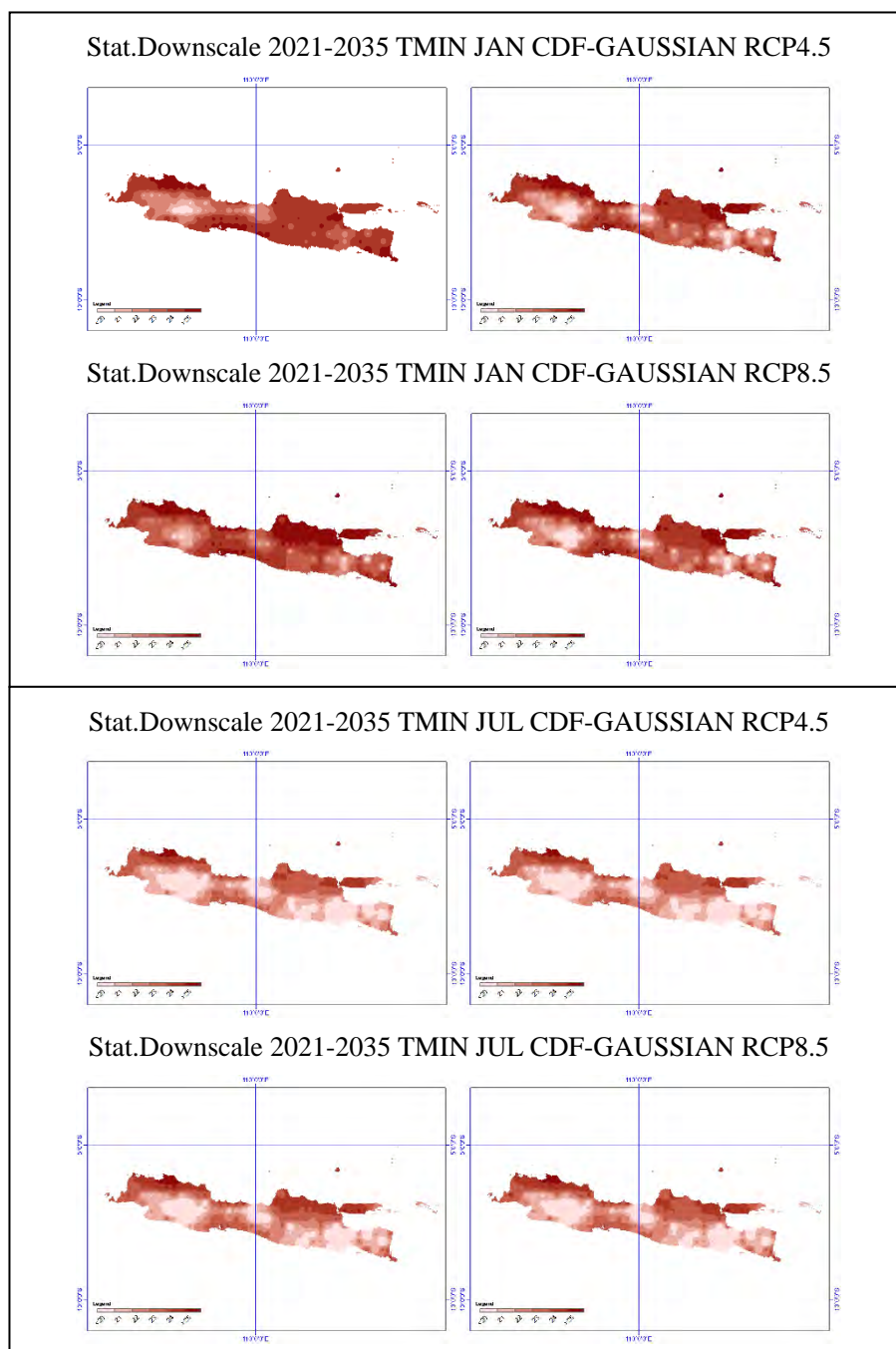


図 66 統計的ダウンスケーリング (左:CDF, 右:Gaussian) の結果 (最低気温)
(上段: 1 月、下段: 7 月、いずれも上図が RCP4.5, 下図が RCP8.5)

(10) CMIP6 データの統計的ダウンスケーリング

NARO 西森主任研究員の技術支援を受け、Gaussian 型と CDF 型の統計的 DS について、月・日単位データを統計的ダウンスケーリング (DS) するソフトウェアを、2022/3 の一次渡航時およびその後のリモート活動で作成・共有した。統計的 DS は、CMIP5 の MRI-AGCM データ、および、d4PDF の 2K および 4K 実験のデータに対して実施したが、プロジェクト後半で、CMIP6 データの利用について、BMKG から強い要望が寄せられた。

ESGF の web サイト (<https://aims2.llnl.gov/search>) から CMIP6 データを download する手法を NARO 西森氏から教授頂いた。また、データは NetCDF 形式で格納されていることから、Grads を用いてデータを描画する方法、Grads のスクリプトを用いて、インドネシア領域のデータを切り出す方法について、ダウンロード方法とあわせて、マニュアルを作成し、2023 年 3 月に技術移転を行った。

上記サイトの MRI-AGCM、MIROC モデルのデータは、CMIP5 と同じ 1.25 度格子のデータであることから、CMIP5 で作成した統計的 DS のソフトがそのまま利用できる見込み。

ESGF の他のページには、より解像度の高い 25km メッシュデータなどもあり、これらも同様にダウンロードし、切り出し、統計的 DS を実施できる。前述のデータダウンロードマニュアルと、今回技術移転された統計的ダウンスケーリングパッケージで、BMKG で CMIP6 データについても統計的ダウンスケーリングを行うことができる。

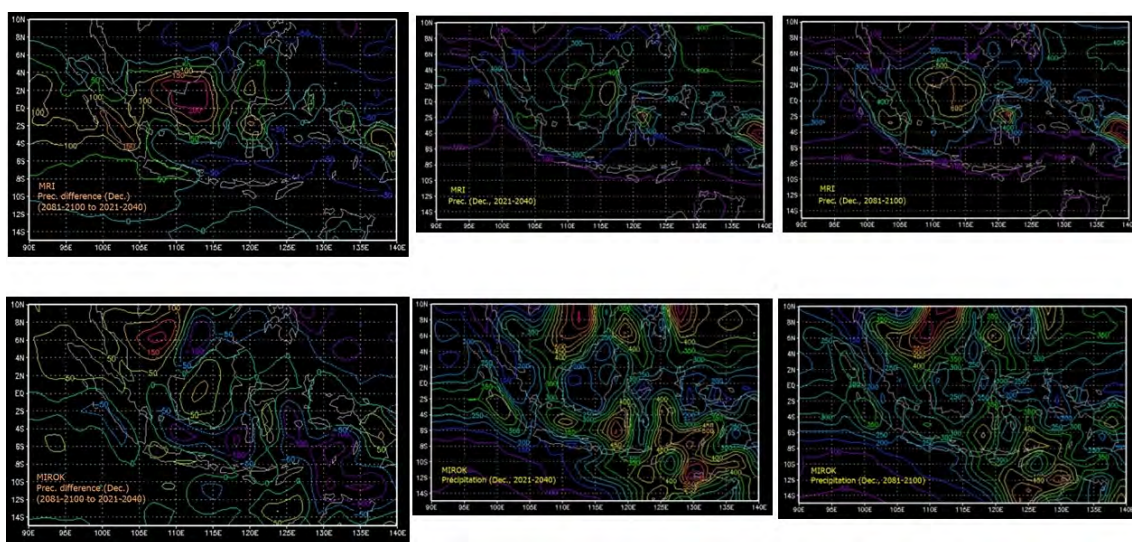


図 67 CMIP6 データの比較例 (上 : MRI、下 : MIROC、12~2 月の月降水量)

3.2.4 成果 1b の達成状況

統計的ダウンスケーリングは、解像度の粗い気候モデルデータを実況値を用いてバイアス補正を行ったり、観測値のもつ分布関数にあわせて統計的に補正を行う手法である。本プロジェクトでは、観測値については BMKG が収集し、気候モデルデータについては専門家チームが NARO などの協力を得て共有した。また、統計的ダウンスケーリングの手法は、Gauss 分布および CDF を用いた手法で、月統計値を主な対象として、様々なダウンスケーリングを実施した。

BMKG が収集した観測データは、BMKG 有人観測所の 1981~2020 年のデータおよび 1981~2010 年の SACAD と呼ばれるメッシュ再解析値で、これらを用いた統計的ダウンスケーリングが実施された。

統計的ダウンスケーリングは、メッシュデータについてはパイロット地区となっている「中部ジャワ、西部ジャワ、ジャカルタ特別市 (DKL)」についてのみ行ったが、有人観測所については、インドネシア全土の約 90 地点において統計的ダウンスケーリングを行った (図 52 および図 53)。加えて、有人観測点については 1981~2010 平均値および 1991~2020 平均値の差異を検討することで、気温と降水量の 1981~1990 年と 2011~2020 年の変化の分析を行い、インドネシアほぼ全域にわたり気温が上昇トレンドにあること、降水量については現時点では変化傾向は不明確であることが分かった。

統計的ダウンスケーリングについては、地点データに適用し、バイアス補正などを行うには有用だが、降水量については分布関数が日単位になると正規分布からずれていくことから精度に課題があり、月単位で概要を比較するのに用いるのが有効と考えられる。また、統計的ダウンスケーリングは参照する観測データやメッシュデータに大きく依存するため、より高い解像度のメッシュデータが必要である (5km メッシュの月単位の統計的ダウンスケーリングを行うには、同程度の解像度の月単位のメッシュデータが必要)。BMKG では、降水量については、JAXA が提供する GSMaP と BMKG の観測データを用いた再解析を行っており、これらのデータを活用することで、高解像度の統計的ダウンスケーリングを行うことができる。

表 6 WG2 ミーティング

Date	Meetings	participants	number	themes
2021.06.14	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	Sharing MRI-AGCM data and scripts
2021.07.13	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	Sharing grads scripts for MRI-4-scenarios-GCM, d4PDF
2021.09.21	WG2, WG3 meeting	WG2, WG3 team, JICA team	10	progressive reports and discussopn of next activities
2021.11.5	WG2, WG3 meeting	WG2, WG3 team, JICA team	10	progressive reports and discussopn of next activities
2021.11.18	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	Sharing grads scripts for MRI-4-scenarios-GCM, d4PDF
2022.02.02	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	Sharing grads scripts for MRI-4-scenarios-GCM, d4PDF
2022.02.16	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	Evaluation of MRI-AGCM 4 scenarios
2022.02.22	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	trend analysis (temperature and precipitation) at whole BMKG staions,
2022.03.01	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	trend analysis (temperature and precipitation) at whole BMKG staions, sharing statistical DS tools
2022.06.27	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	statistical downscaling (daily data) lecture and exercise
2022.08.31	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	statistical downscaling (daily data) lecture and exercise
2022.11.15	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	summarize statistical downscaling
2023.02.13	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	final meeting presentation meeting
2023.02.28	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	final meeting presentation meeting
2023.03.01	WG2 meeting	WG2 team, JICA team	8	CMIP6 data download and visualization

本プロジェクトの活動は、COVID19 による渡航制限・活動制限により、特に前半はリモート活動が主体となったが、統計的 DS ツールを共有し、オンラインミーティング (表 6) を適宜行い、使用方法を説明し、演習を行うことで、統計的ダウンスケーリングの基本的な技術移転を実施することが出来た。これらはフェーズ 1 から続く BMKG と専門家チームの人的なつながりと相互理解によるところが大きく、プロジェクトを担当する C/P と専門家チームの相互理解が十分である場合は、リモートでも多くの活動が実施できることが分かった。ただ、細かな技術移転やツールの変更などについてはやはり現地における OJT が重要であり、今後の技術移転に際しては、年に 1~2 回は現地活動が不可欠だが、リモートによる活動も活用しつつ技術移転を行うことも、BMKG においては可能であると考えられる。

3.2.5 今後の活動計画

統計的ダウンスケーリングについて、**gaussian-type** と **CDF** による統計的ダウンスケーリングパッケージの共有を行い、**BMKG** の観測データを用いて、おもに、西ジャワにおける統計的ダウンスケーリングとその評価を行った。

統計的ダウンスケーリングは、少ない計算機資源と時間で様々なモデルやシナリオのデータをダウンスケーリングすることができ、実況値（地点データでもメッシュデータでも良い）があれば、将来の気候変化を簡易に計算することができる便利な手法である。一方、**gaussian-type** では、分布関数を正規分布であることを仮定していること、**CDF** では、分布関数を特定しないが、気候モデルと実況のデータ範囲や極値などが大きく異なると、推定値が実況に引っ張られるなど、統計的な推定方法がもつ弱点もある。

本業務を通じて、統計的ダウンスケーリングに関する基礎的な知見とツールは共有され、**BMKG** がより解像度の高いメッシュデータを開発することが出来れば、インドネシア全域にわたる統計的ダウンスケーリングは容易に実行することができる。ただ、統計的な手法によることから、旬あるいは月単位などある程度の期間を持ったデータについてダウンスケーリングを行うのが適当である。メッシュデータの整備を行うことで、前述の留意事項に注意しながら、簡易なダウンスケーリング手法として、今後も活用が期待される。

なお、**CMIP6** では気候モデルの元モデルの解像度が **30km** 程度となること、統計的ダウンスケーリングは気候値を用いたバイアス補正、内挿に用いるのが有効であることから、今後については4章に記載したように、各モデルやシナリオの概要を把握するための手法として用い、利用者からの多様な要求にこたえるのが適切な利用方法と考えられる。

3.3 成果 1c（高解像度ダウンスケーリング）

3.3.1 成果 1c の背景と基本方針

成果 1a および 1b では、力学的および統計的なダウンスケーリングにより、インドネシア全域の気候変動予測を行い、将来の気候変化、変化トレンドなどを分析したが、その解像度は **5km** であり、分析できる現象の空間的サイズは数十 **km** レベルまでで、例えば日本の夏によくみられる熱雷（いわゆる積乱雲による夕立）などを細かく検討することは出来ない。

インドネシアにおいては、地方都市における中小河川の氾濫、ジャカルタなど大都市での溢水が頻発している。これらの現象について検討するには、解像度 **1km** あるいは **500m** といったより高解像度の力学的ダウンスケーリングを実施することが必要で、空間事業省などから「インドネシアの開発計画・気候変動関係の施策の策定・実施等」に寄与する、より詳細なダウンスケーリングについて強い要望がある。

3.3.2 成果 1c に係る現状の課題

本プロジェクトに先行して実施された「フェーズ 1」では、筑波大学の計算科学研究センター 日下博幸教授ほかの指導・協力を得て、**BMKG** における **WRF** モデル（米国 **NCAR** が提供するオープンソースの気象モデル）による力学的ダウンスケーリングの実施・技術移転を行っており、「フェーズ 2」においても、筑波大学の協力を得て、都市レベルの高解像度気候モデルダウンスケーリングの実施能力を、**BMKG** に技術移転を行った。

3.3.3 成果 1c の活動内容

共同研究の対象については、筑波大学との予備的な検討の段階で、ジャカルタを対象に気候変動および都市化による熱環境変化の両方を考慮することで、気候変動モデルだけでは推定できない都市化も考慮した将来変化を推定することとした。

2020 年においては、新型コロナウイルス感染拡大防止のための渡航制限や大学における研究活動の制限などがあり、具体的な検討を実施することができなかったが、2021 年度に共同研究の検討を開始した。手順としては、以下のとおりとした。

- 共同研究のために求められるスキル、知識などに係る要件の提示（日本側）
- 共同研究者の推薦（BMKG 側）と筑波大との協議
- 共同研究のターゲット、プロトコルの設定

活動は、WG3 として実施し、必要に応じて、他の WG と合同で打ち合わせを行い、他の WG の協力も得ながら課題に取り組んだ、WG ミーティングは表 7 に示すとおり。

表 7 WG3 ミーティング

Date	Meetings	participants	number	themes
2021.06.29	DS joint meeting	BMKG, Tsukuba university, JICA-project-office	12	discussion on high resolution DS
2021.09.21	WG2,3-meeting	MRI-GCM grads scripts sharing	10	Sharing MRI-GCM visualization tools and manuals
2021.11.5	WG3 meeting	WG3 team	5	Progressive report and discussion for next activities
2022.02.8	WG3 meeting	WG3 team	2	Progressive report and discussion for next activities
2022.03.8	WG3 meeting	WG3 team	2	Progressive report and discussion for next activities
2022.03.29	WG3 meeting	WG3 team	2	Progressive report and discussion for next activities
2022.06.27	WG3 meeting	WG3 team	2	Progressive report and discussion for next activities
2022.08.31	WG3 meeting	WG3 team	2	Hindcast data evaluation and discussion for next activities
2022.11.15	WG3 meeting	WG3 team	2	2045 heavy rain event simulation and discussion for next activities
2023.02.13	WG3 meeting	WG3 team	2	2045 heavy rain event simulation and discussion for next activities

(1) 2022 年 3 月までの活動

筑波大学との事前検討では、筑波大学で実施している都市と温暖化の影響評価の研究成果をベースにすることで、気候変動および都市化による熱環境の変化の両方を考慮し、気候変動モデルだけでは推定できない、より現実的な将来変化を推定することが可能となることを確認した。このことから、インドネシア最大の都市であり、影響をうける人口が最も多いジャカルタを対象とし、C/P に対して高解像度のダウンスケーリングを提案した。

新型コロナウイルス感染拡大の影響による渡航制限や筑波大学における研究活動の制限などがあり、2020 年度は具体的な検討を実施することができなかったが、2021 年 4 月 13 日の joint-meeting において、筑波大学における東南アジアにおける大都市の気候変動の研究成果を共有し、BMKG と研究の対象都市、対象時期、対象要素についての検討、インドネシア側で共同研究実施メンバーの選定を依頼した。この際、BMKG 側より共同研究者に必要な条件の提示依頼があり、下記の項目を提示し C/P の選定を依頼した。

- ④. familiar to LINUX OS
 - ii. having interest (hopefully knowledge) in climate change and urbanization effect
 - iii. hopefully experiences for WRF model
 - iv. review papers regarding precise downscaling in Asian big cities by prof. Kusaka

これに対し、BMKG からより詳細な研究計画を立てるための打ち合わせ開催の依頼があり、6 月 29 日に下記の関係者が参加し、WG ミーティングを実施した。

BMKG: Mr. Kadarsah, Mr. Donaldi, Ms. Trinhah, Mr. Ferdika Amsal (Sorbonne Université)、 Mr. Jose Rizal (climate model, WRF, IPCC), Mr. Agus, Ms. Nurdeka, Mr. Tyas Rahmdar (R&D), Mr. Kawtsar (JICA project office)

Tsukuba university: Prof. Kusaka, Mr. Asano

JMBSC: Mr. Tonouchi, Mr. Satoda, Mr. Kobayashi

実施するダウンスケーリングについては、

- 対象地域：インドネシアジャカルタ特別市、2045年（インドネシア建国100年）
- 解析事例：都市排熱と温暖化を考慮した都市における大雨事例の解析（解像度1km）
- 研究担当者： BMKG：Ms. Trinhah, Mr. Donaldi、筑波大学：浅野氏

とし、同研究を筑波大学に同研究を再委託し、実施することとした。

なお、研究の実施に当たって、BMKG側は、

- 現在および2045年のジャカルタ地区の土地利用データ、可能であれば排熱データ
- 過去の大雨事例と大雨時の観測データ（降水量・気温・風向風速）
- インドネシア域で再現性の高い全球気候モデルの推奨

筑波大学側は、

- 観測データとの比較による再現実験（hindcast experiments）の評価
- 適切な境界条件、パラメータ設定などの試験
- 地形、土地利用、排熱データなどの収集

を実施することとした。

このうちBMKG担当の第3課題の気候モデルについては、CORDEX-SEAでBMKGが実施した力学的ダウンスケーリングに利用した気候モデルは以下の6モデルで、GFDLがもっとも再現性が良いとのことであった。

CNRM-CM5 (Voltaire et al., 2013), CSIRO-Mk3.6.0 (Jeffrey et al., 2013), EC-Earth (Hazeleger et al., 2012), IPSL-CM5A-LR (Dufresne et al., 2013), GFDL-ESM2M (Dunne et al., 2012), and MPI-ESM-MR (Giorgetta et al., 2013)

進捗状況については、定期的にWGミーティングを開催し共有し、課題についての検討を実施した。2022年2月までの実施結果は以下のとおり。

- 2013年1月16~18日のジャカルタにおける大雨事例について再解析データをもとに評価実験を行い、再現性の良い気候モデル2、境界条件3、物理過程3を抽出した
- 再現結果は図3-3-1のとおりで、衛星から観測された降水量分布を細かな積雲レベルで再現していることが確かめられた。

CMORPH vs WRF: hourly precipitation

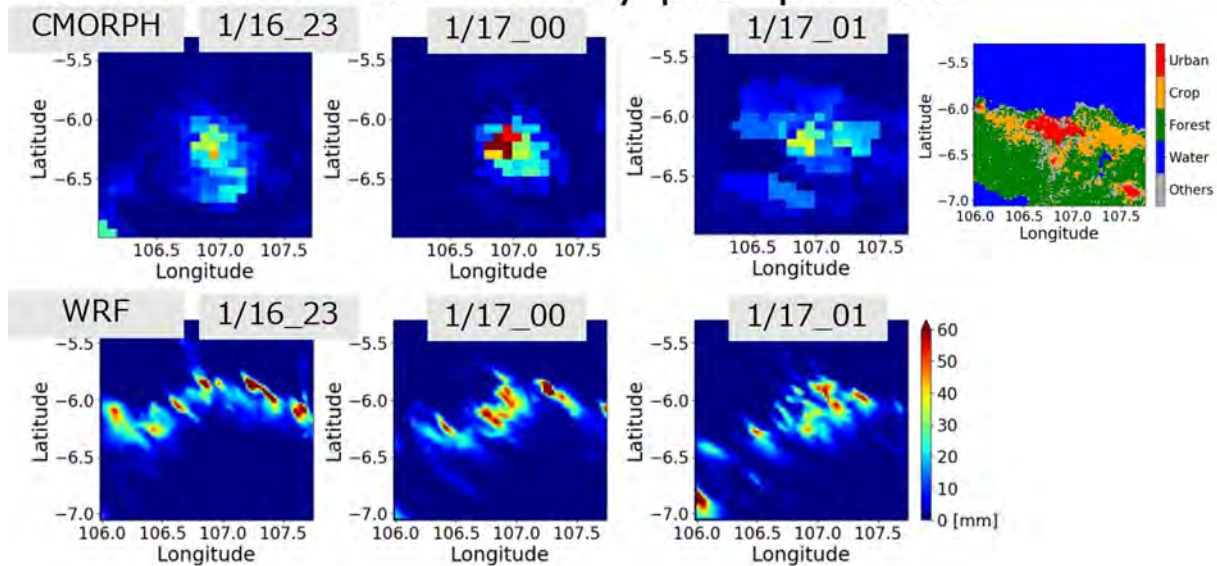


図 68 予備的な大雨事例の再現実験結果（上：衛星観測降水量、下：再現実験結果）

BMKG 側からは、ジャカルタエリアの観測所における上記期間の降水量・気温・風向風速・天候のデータと、ジャカルタ域の土地利用データ（Shape ファイル）が共有された。

(2) アンサンブル実験による再現性の検証（2022 年 4～11 月）

表 8 に示す、複数の客観解析値、境界条件、物理過程で、大雨事例について hindcast 実験（過去の解析値を用いた再現実験）を行った。実際の降水量分布（CPC MORPHing technique[CMORPH]の観測データ）と比較検証を行い、再現性の高い、モデルや条件を比べた。また、単独の気候モデル、境界条件、物理過程の結果よりも、複数の条件で計算した結果により評価する方がシミュレーションの信頼度が高くなることから、都市域の「あり」「なし」について、4つの初期条件、3つの雲物理過程（WSM6,WDM6,Thompson）、2つの境界層 PBL スキーム（Planetary Boundary：大気境界層乱流のパラメタリゼーション：YSU,ACM2）について、都市化と非都市化の降水量のシミュレーションを実施した。

表 8 都市化アンサンブルシミュレーション 1（2022 年 4～8 月）

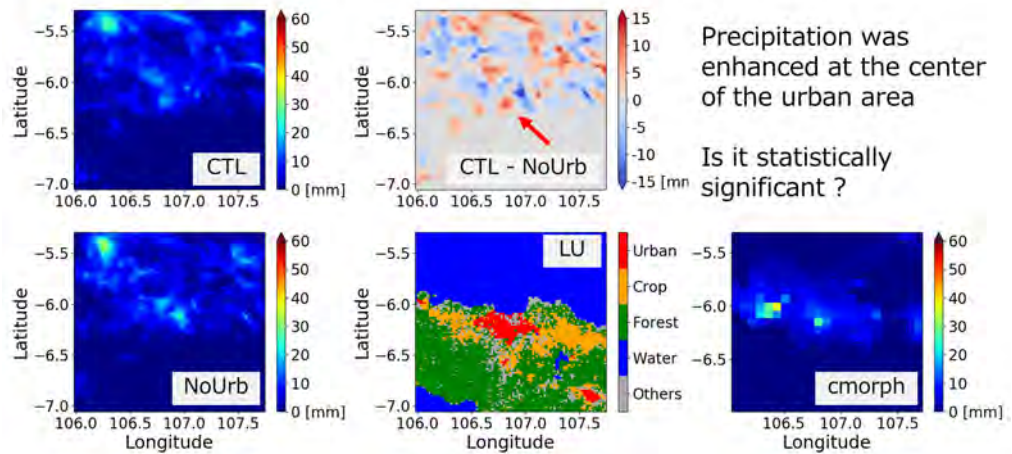
初期値（再解析値名称と初期時刻）	雲物理	PBL スキーム
FNL: 2007-01-31 18 UTC	WSM6	YSU
FNL: 2007-02-00 00 UTC	WDM6	ACM2
FNL: 2007-02-00 00 UTC	Thompson	
ERA5: 2007-02-00 00 UTC		

FNL と ERA5 は客観解析データの名称

FNL: NCEP（USA）が提供する Operational Global Analysis data

ERA5: ECMWF（欧州）が提供する、第 5 世代全球再解析データ

Ensemble mean (2007-02-01_18 UTC)



Ensemble mean (Cumulative precipitation)

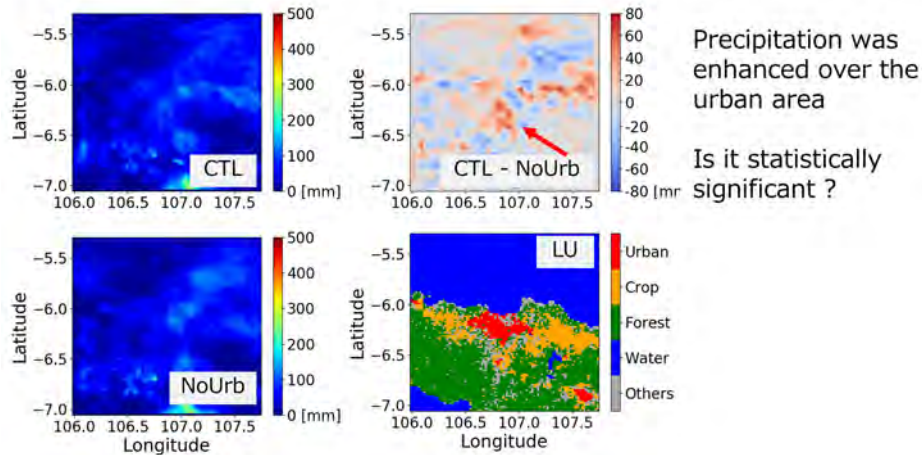


図 69 都市化が降水量に与える影響 (いずれも ensemble 平均)

上 : 18UTC の 1 時間降水量、下 : 積算降水量 (CTL:都市あり、NoUrb:都市なし、LU:土地利用状況、CTL-NoUrb:都市の有無による降水量の違い、2022/8/31 資料)

図 69 は、都市が「ある場合 (CTL)」と「ない場合 (NoUrb)」で、降水量を比較したもので (降水量は、 $4 \times 3 \times 2 = 24$ ケースのシミュレーション結果の平均)、上図は、降雨が最も強かった 2007/2/1 の 18UTC (世界時の 18 時、ジャカルタでは翌 2 日の午前 1 時)、および、2/1~2 にかけての降水量合計を比較した結果である。ここで、NoUrb は、CTL の図において赤色で示される都市域を、Crop (農地) に置き換えて計算を行っている。

シミュレーション結果では、ジャカルタを構成する都市域のやや山側に降水量の増加しているエリアが現れ、都市により、都市域周辺の収束が強化され、都市域の降水量が増加することを示唆している。

2022 年 8~12 月には、大雨事例を 2007/2,2013/1,2015/2 の 3 事例、それぞれの大雨事例について初期値を 3 例、解析値を FNL,ERA5 の 2 種類、積雲パラメタリゼーション 2 種類、雲物理過程 3 種類、PML スキーム 3 種類、合計 324 例について、同様のアンサンブル実験を行い、適切なパラメータやスキームの選択、及び、アンサンブル実験による再現実験を実施した。

表 9 都市化アンサンブルシミュレーション 2 (2022 年 8~12 月)

Case	2007-02, 2013-01, 2015-02
initial time	3 times for each events
Data	FNL, ERA5
cu physics	Kain Fritsch, New Tiedtke
mp physics	Thompson, WDM6, WSM6
pbl physics	ACM2, YSU, MYNN25

Case	2007-Feb-01, 2007
initial time	2007-Feb-01 00 UTC
analysis data	FNL
cu physics	New Tiedtke
mp physics	WDM6
pbl physics	YSU

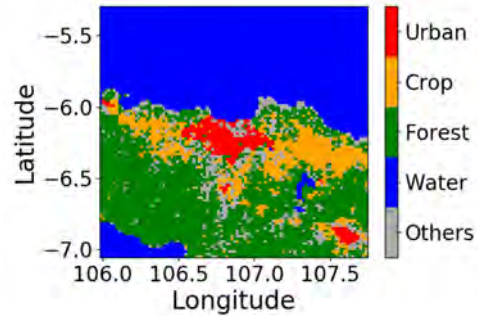
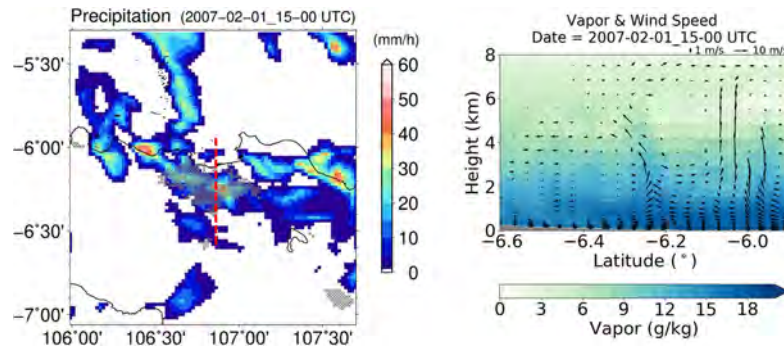


図 70 都市化が降水量に与える影響 (解析例)



(left) Precipitation Map, Vertical Vapor profile (15UTC of 2007-Feb-01)

図 71 都市化が降水量に与える影響

(左 : 降水量分布、右 : 鉛直断面図、2022/11/30 資料)

図 70 は、アンサンブル実験のうち再現性の良い、FNL、New Tiedtke、WDM6、YSU 条件のもとでシミュレーションした、2007/2/1 の大雨事例の 15UTC (現地時間 22 時) の 1 時間降水量および鉛直断面図だが、ジャカルタの都市の上空で、海からの風と陸地からの風が収束し上昇流を形成しており、この上昇流は上空に向かって南側に傾いて水蒸気量の多いエリアを形成していることがわかる。降雨をもたらしている雲の主体は右図の緯度-6.0 度付近の上昇流域であり、ジャカルタがもたらす排熱がその上空で上昇流を強化し、ジャカルタの南側で降水を強化している過程が推定される。

(3) 都市化と温暖化がジャカルタの降雨に与える影響

最後に、2022年12月から2023年2月にかけて、(1)(2)の実験から2007/2/1の大雨事例によく合ったモデル・パラメータの組み合わせを用いて、2045年の気象条件(RCP8.5)のもとで、ジャカルタの降雨がどのように変化するかをシミュレーションした。

温暖化実験については、表10に示す手法によりシミュレーションを実施した。具体的には、気候モデルの将来(2036-2055)と現在(2000-2019)の各要素の月平均値の差を、対象とするイベントの初期条件に加えることで将来の気候条件とし、シミュレーションを実施した。複数の気候モデルでシミュレーションを実施したが、その一例としてGFDL(USA)を用いた結果を図3-3-6に示した。

なお、将来、ジャカルタ域はさらに拡大していると考えられ、それらの効果を検討するため、都市域が約2倍に拡大すると想定した将来都市の影響(図72)についても実験を行った。

表 10 疑似温暖化実験の手法

$$var_{event, FC} = var_{event, PC} + \Delta var$$

$$\Delta var = var_{twenty\text{-}year\text{ monthly mean}, FC} - var_{twenty\text{-}year\text{ monthly mean}, PC}$$

Variables	ts, ta, hum, u, v, gph
Scenario	RCP8.5
Future Climate	2036-2055
Present Climate	2000-2019
GCM	CNRM-CM5
	CSIRO-Mk3-6-0
	GFDL-ESM2M
	MPI-ESM-MR

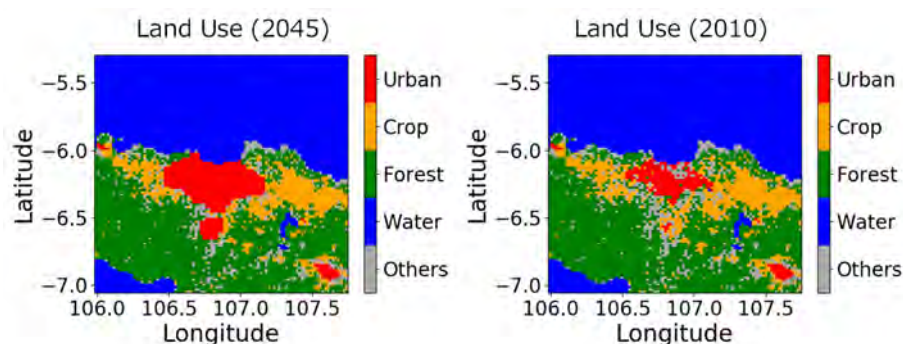


図 72 将来の都市域 (左: 2045年、現在のほぼ2倍、右: 現在)

「疑似温暖化の影響」

都市域は現在のままで、気候モデル値を将来(疑似温暖化後)と現在でシミュレーションを行った。その結果の特徴は以下のとおり。

- 全体として雨の強い領域が拡大し、強雨域は北西に移動する
- 海上から陸地に向かう北西風の領域が狭くなり、陸地から海に向かって吹く南寄りの風と

- の収束線が海側に移動する
- 都市の上空に形成される上昇流域も、海側に移動して、図 71 で海上に解析された、海上の上昇流域とほぼ一体化している

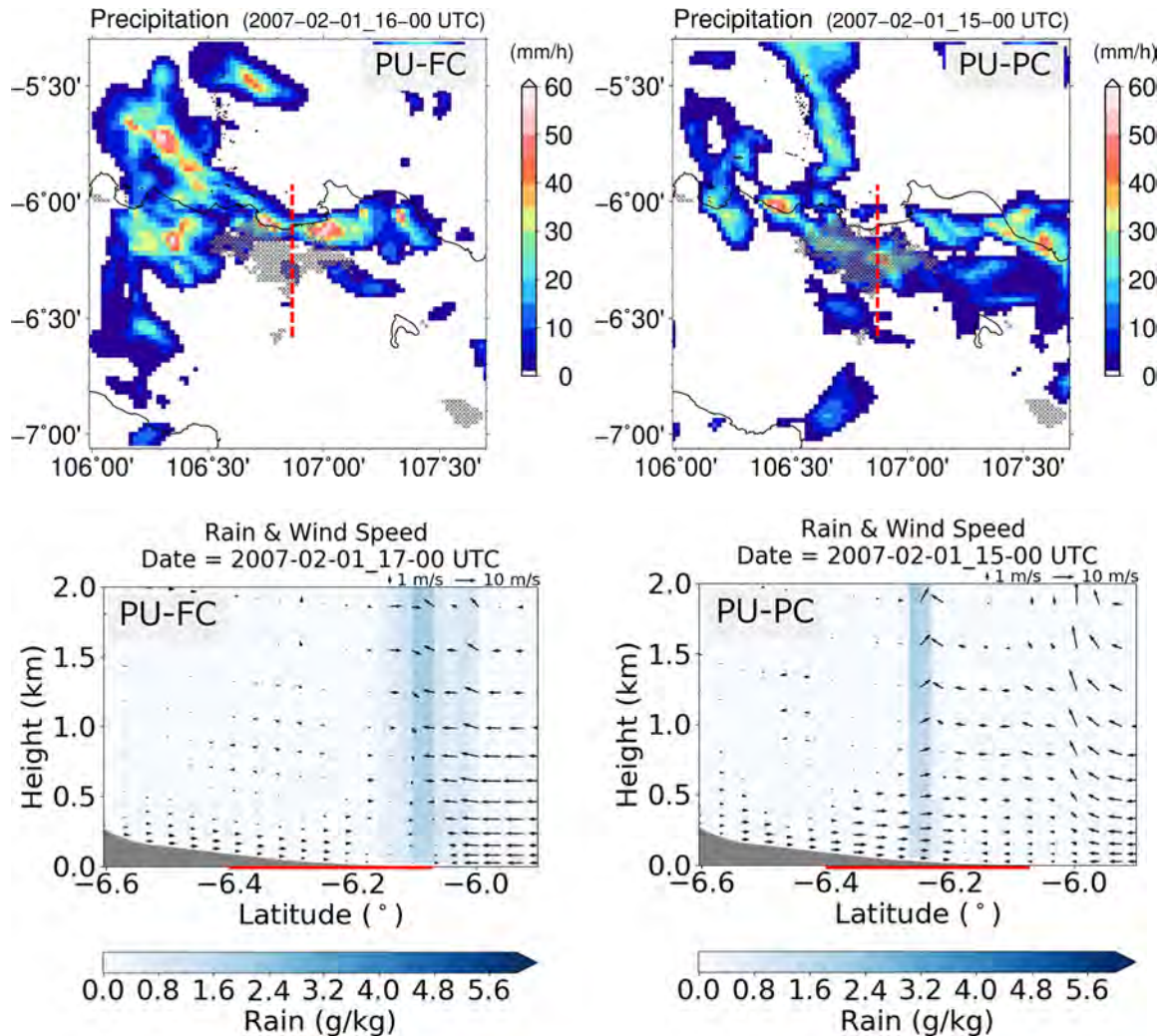


図 73 温暖化が降水に与える影響（左：温暖化後、右：現在気候、都市域は現在）
（上：降水量分布、下：鉛直風と降水量、1時間降水量（2007-Feb-01 15UTC）

この実験結果は、気候変動で全体の気温と水蒸気量が増加することにより、強雨域が拡大しており、また、海上の気温と水蒸気量が大きくなることにより、海上で対流が強化されることで、ジャカルタ上空に形成される上昇流域が海側にシフトしたと思われる。温暖化により空気中の水蒸気量が増え、強い雨のエリアが拡大することは、ある程度合理的だが、強雨域の海岸線方向へのシフトについては、元となる気候モデルの解像度が数十 km であること、細かな海陸分布、水蒸気分布などの反映など、検討する課題がいくつかあり、より多くの事例で検証する必要がある。

図 74 に、2045 年の温暖化した気候条件で、現在の都市域と将来の都市域（図 72）の条件で、比較を行った。図 73 に示されるように、温暖化により、降水域が海側にシフトしているが、都市域がさらに拡大することで、都市域での上昇気流がさらに強化され、海上の降雨域が都市側に移動している。

今回の詳細ダウンスケーリングでは、都市化は、強雨域を都市上空で強化し、温暖化は海上での降水量を強化する方向に働いている傾向があり、今後、多くの事例について、将来の気候変動の影響を評価していくことが必要である。

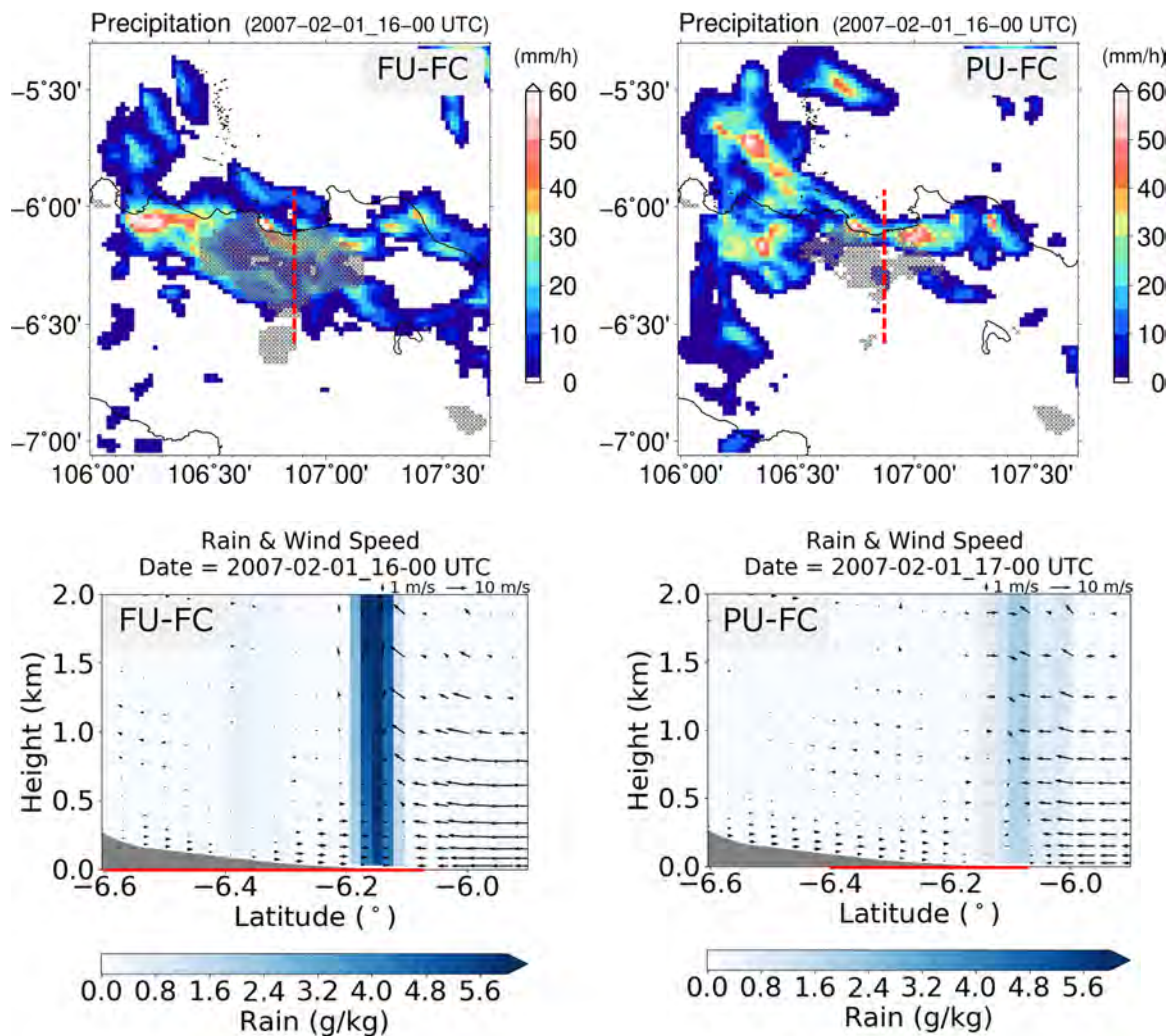


図 74 更なる都市化が降水に与える影響（左：都市域拡大、右：現在都市）
（上：降水量分布、下：鉛直風と降水量、1時間降水量（2007-Feb-01 15UTC）

3.3.4 成果 1c の達成状況

筑波大学との共同研究では、以下のプロセスで WRF モデルを用いて気候モデルのダウンスケーリングを実施した。

- 過去の大雨事例の抽出
- 大雨事例を対象に、複数の再解析値、対流スキーム、雲物理過程を用いた再現計算（アンサンブル実験による再現性の信頼度評価を含む）と実況値での評価
- 最適のスキーム、雲物理過程などを用い、都市なし、現在のジャカルタ、将来のジャカルタ（現在の2倍に拡大している仮定）について、現在気候のまま、気温が2℃上昇した条件で、2045年のジャカルタを対象とした再現実験を実施
- 都市化の効果、温暖化の効果、都市化+温暖化の効果の評価

実施内容は非常に研究的な要素が強く、すべての技術を BMKG に移転することは出来なかつ

たが、研究としてどのような手順でシミュレーションを実施するかを共有することができた。

3.3.5 今後の活動計画

今回の活動で、テーマを絞った地球温暖化の影響評価を行うためのプロセスを **BMKG** と共有することが出来た。かなり高度な内容で、**BMKG** に直接技術移転することは出来なかったが、研究テーマを設定して、それらについての科学的なアプローチを行うプロセスは、**BMKG** の資産となりうる。

気候変動評価については、活動 **1a,1b** のインドネシア全域を対象としたデータベースを作成することが主たる活動となるが、今回のプロジェクトでも建国 100 周年にあたる 2045 年のジャカルタの気候変動評価結果の提供という要望が寄せられたように、よりテーマを絞った気候変動対策のためのデータ提供を求められるケースが今後さらに増加してくると考えられ、多様なニーズに対応する能力を **BMKG** で強化していくことも必要である。

これらに対応するための技術的要請レベルは非常に高く、**BMKG** の現在の体制で対応することは簡単ではない。これらのギャップを埋めるためには、活動 **1c** で実施したように、本邦を含む海外の研究機関と共同研究を実施すること、あるいは、**BMKG** が行っている若手職員を海外に派遣と学位取得の取り組みと連携するなど、研究機関との連携、積極的な人材交流を行うことが効果の高いアプローチと考えられる。

3.4 成果 2（長期予報の能力強化）

3.4.1 成果 2 の背景と基本方針

5 つの主要な島と 13,000 以上の島々からなるインドネシアは、顕著な乾季と雨季を含む多様な気候を特徴とする。通常、乾季は 7 月/8 月から 10 月で、雨季は 10 月から 1 月/2 月であるが、年々および地域的な変動は非常に大きい。

インドネシアの気象や気候変動に影響を与える要因には、エルニーニョ南方振動 (ENSO)、インド洋ダイポールモード現象 (IOD)、インドネシア近海の海面水温 (SST)、アジア・オーストラリアモンスーン、熱帯大気変動の一つであるマッデン・ジュリアン振動 (MJO) などがある (図 75)。また、地球温暖化の進行は、インドネシアの気候変動や変動特性の重要な要素としての役割を徐々に増している。

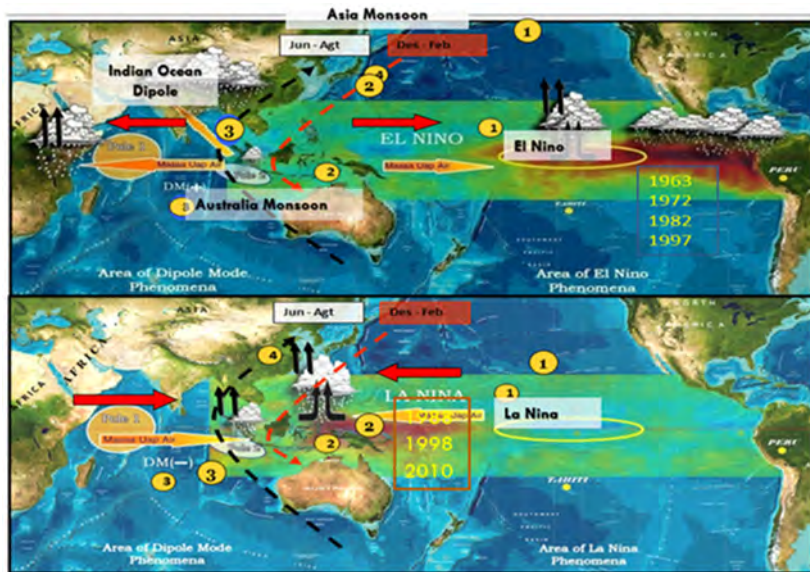


図 75 主要な気候要因 (BMKG)

このように、インドネシアの天気や気候は、これらのさまざまな気候要因と地理的および地形的要因によって特徴付けられる (図 76)。BMKG ではこれまで、長期予報 (季節予報) のために 342 の「季節変動区 (ZOM)」と 65 の「季節変動のない区 (NonZOM)」を設定し、これら要因の変動特性を踏まえて、地域毎に予報を発表してきた³。

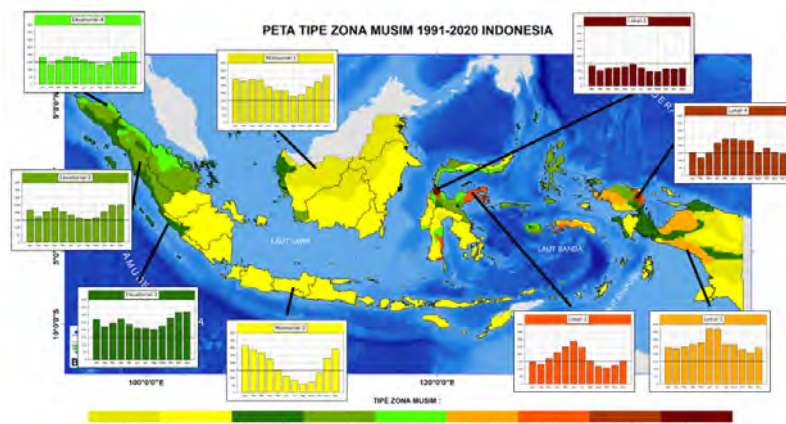


図 76 インドネシアの気候地域 (BMKG)

3.4.2 成果 2 に係る現状の課題

(1) BMKG の長期予報

BMKG は、欧州中期予報センター (ECMWF) が提供する力学的アンサンブル予報資料と BMKG が作成した予報ガイダンス、および ENSO や IOD、アジア・オーストラリアモンスーンなどの監視・診断活動に基づいて、雨季と乾季の 10 日予報、3 か月予報、季節予報を行っている (図 3-4-3)。

³ BMKG は、季節予報等に用いる新平年値 (1991 年～2020 年の統計) の導入に伴い、新しい季節予報区を設定した。これは、a) 1 年に少なくとも乾季・雨季がある地域 (615 ZOM) と b) 1 年に 1 シーズンの地域 (108 ZOM) である。

さらに、BMKG は、CPC (気候予測センター) /NOAA、TCC (東京気候センター) /CPD (気候情報課) /JMA (本邦気象庁) など他の国家気象水文センター (NMHC) からの予測資料を予報作成に活用している。さらに、BMKG は経験的/統計的予測手法も活用するとともに、バンドン工科大学 (ITB) と協力して、季節予測のマルチモデルアンサンブル (Multi-Model Ensemble, MME) 手法の開発にも取り組んでいる。

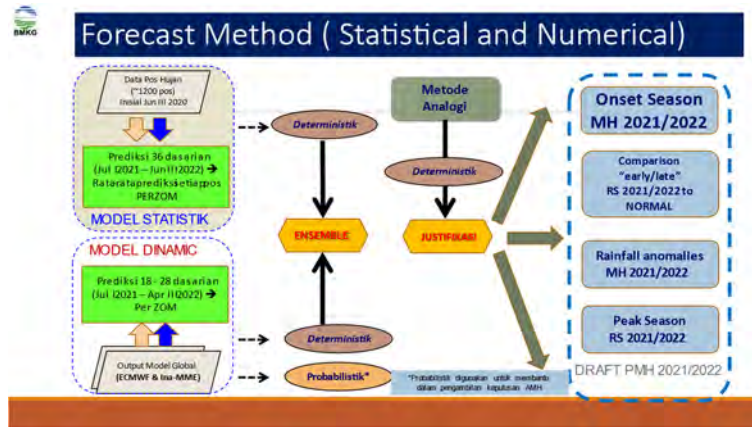


図 77 季節予報作成フローチャート (BMKG)

(2) 長期予報の課題

上述の通り、BMKG は先進気候センターからの最新の知見を活用するとともに独自に予報手法を開発・運用して、1・3・6カ月予報を発表している。

一方、利用者からは、特に雨季の開始/終了に関するより精度の高い予報に対する要望が強い。農業セクターにとって、主要作物の植え付けには雨期の開始や終了の予報が重要である。

また、季節予報の精度向上のためには、乾季や雨季の降水量に変動をもたらす要因について把握する必要がある。さらに、近年は大雨による被害が増えてきていることから、防災対策に資する気象情報の要望も強まっている。

さらに、地球温暖化の影響が社会・経済活動への及ぼす懸念が次第に強まる中、インドネシアの社会・経済活動長期計画の策定のため、BMKG に対し「より長期の気候情報」の提供が要望されている。

3.4.3 成果 2 の活動内容

上述の BMKG をとりまく現状と課題を踏まえて、以下の活動に取り組む。

(1) 活動目標

季節予報の強化に関する技術移転・研究開発を支援し、BMKG の季節予報の改善・強化に寄与する。

(2) WG の設置と具体的な課題の検討

本業務の短期専門家は、BMKG 担当者と定期的にオンライン会議を開催し、具体的な課題と担当について検討を重ねた。会議での検討と「検討並びに「インドネシアの「農業保険実施能力向上事業」の気象観測データ評価能力向上プロジェクト」の成果も踏まえ、以下の 5 つの課題に取り組んだ (表 3-4-1)。これら課題には主に BMKG の若手職員が分担して主にこれら課題に取り

組み、BMKG シニアスタッフや本業務の短期専門家が調査の分担並びに技術的アドバイスをを行った。

表 11 WG4 の主な課題と担当者

課題(Tasks)	担当(Staff)
(1) BMKG季節予報の精度評価 (BMKG seasonal forecast evaluation)	(BMKG) Supari Adi Amsari Rosi Damiana Rama Ridha Ayu (JICA expert) Kuirhara
(2) インドネシアモンスーンの変動特性の調査 (Monsoon variability study)	
(3) 1カ月先までの大雨の予測可能性調査 (S2S prediction study)	
(4) エルニーニョ南方振動(ENSO)/インド洋ダイポールモード(IOD)影響調査 (ENSO and IOD impact study)	
(5) 気候の1年予報の調査 (1 year climate outlook study)	

課題の概要は以下の通り。

a) **BMKG 季節予報の評価精度評価**

- BMKG の季節予報を評価し、スキルの評価と予測を改善に向けた課題を特定する。
- 2020 年末までの季節予測の精度評価を行う。
- 期待される成果として、季節予報の精度や技術的な改善が必要な課題を確認することが可能となる。

b) **インドネシアモンスーンの変動特性の調査**

- インドネシアモンスーンの特徴とそれに伴う降水量変動を、特にモンスーンの開始/終了、モンスーン期間の長短、およびモンスーンの総降水量に着目して、長期傾向分析を含めて調査する。
- 西ジャワ州などのパイロット地区について、1981 年から現在までの約 40 年間の降水量データを収集し、上記解析を行う。
- 期待される成果として、インドネシアの社会経済活動に大きく係わるモンスーンと降水量の変動特性について、より一層、理解が進む。また、季節予報の精度向上にも寄与するとともに、BMKG が提供する気象情報の改善にも貢献する。

c) **1 カ月先までの大雨の予測可能性調査 (Sub-seasonal to Seasonal (S2S) Prediction study)**

- ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) や JMA (本邦気象庁) の数値予報モデルの予報資料を用いて、概ね 1 カ月程度先の大雨発生の予測可能性について調査する。
- 対象地域は西ジャワ州や過去数年の大雨発生地域から選択する。
- 期待される成果として、市民生活に大きく影響する大雨の予測可能性についての理解が進むとともに、BMKG が提供する気象予測情報の精度向上に寄与する。

d) **ENSO (エルニーニョ・南方振動) および IOD (インド洋ダイポールモード) の影響評価**

- 季節予報の基礎情報の一つである ENSO や IOD の予報評価を行うとともに、インドネシアの降水量変化への影響を評価する。
- その結果、季節予測技術の向上に向けた課題を確認することができる。

e) 1年先までの気候見通しに関する調査

- ・ インドネシア政府機関から要請されている1年先までの気候情報にどのような情報が必要かを調べる。
- ・ 情報の正確性に基づいてどのような情報を提供できるかを調べるため、世界の気象機関の先例などの情報を収集する。
- ・ 期待される成果として、BAPPENASなどの政府機関の要望の応えることができる。また、BMKGの気候情報の拡大にも寄与する。

(3) 本業務の短期専門家の活動

前項で述べた課題について、BMKG 担当者と協力して調査を進めるとともに、以下に示すような情報の提供と技術的なアドバイスを行った。

- ・ S2S 調査に利用可能な本邦気象庁の最新6か月予報資料の紹介。
- ・ 気象庁におけるIOD 監視データの紹介
- ・ 気象庁のアジア・オーストラリアモンスーンデータの紹介
- ・ 世界の気象機関による1年予報の実施例の紹介
- ・ その他、調査に必要な情報や資料、技術的なアドバイスの提供

3.4.4 成果2の達成状況

WG4の実施計画を図78に示す。プロジェクト開始から2021年12月まで、COVID-19 感染拡大の影響で、本業務の短期専門家がBMKGを訪問して直接、情報提供やアドバイスを行うことができなかつた。この間はWG4では定期的にオンライン会議を開催し、調査の進捗状況について情報交換を行い、必要に応じて専門家が助言を行った。専門家は、2022年1月以降、3回の現地活動(2022年1月~3月、2022年7月~8月、2023年2月~3月)を実施した。これらの現地活動では、WG4の課題調査の進捗状況や今後の取り組みについての検討・確認、報告書作成等を行った。また、ワークショップ等に参加し、季節予報や気候変動問題について講演を行った。

プロジェクト活動期間の専門家による季節予報に関連する講演の実施状況を表12に、WG4会合の開催状況を表13に示す。

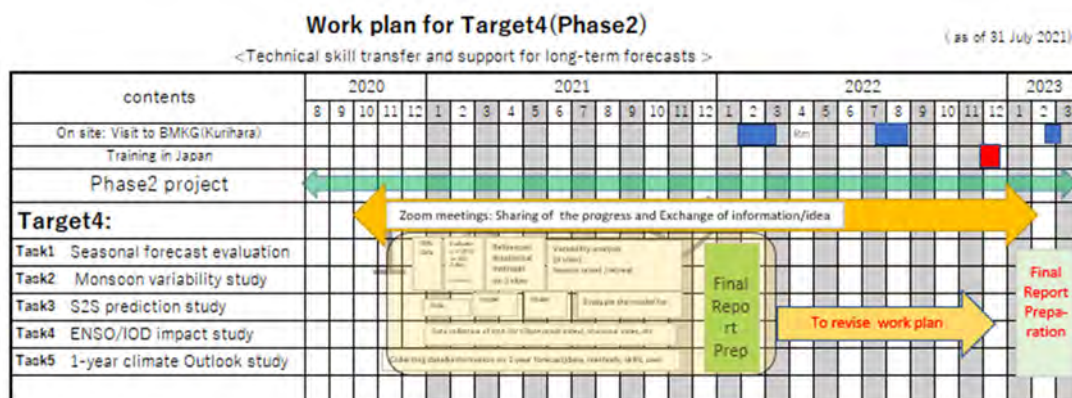


図 78 WG4 の実施計画

表 12 ワークショップ/フォーラム/セミナー (2020年10月～2023年3月)

NO	Year.Month.Date	会合 (Meetings)	参加者 (Participants)	内容等 (Contents of the meeting)
1	2021.03.12	National Climate Outlook Forum (NCOF)	BMKG and seasonal forecast experts	To discuss and prepare 2021 Dry season forecast
2	2021.03.18	National Climate Forum for User	BMKG and seasonal forecast users	To explain 2021 Dry season forecast
3	2021.07.29	National Climate Expert Forum (NCEF)	BMKG and seasonal forecast experts	To discuss 2021/22 Wet season forecast
4	2021.08.27	National Climate User Forum	BMKG and seasonal forecast users	Meeting with seasonal forecast users
5	2021.11.17	Focus Group Discussion	Seasonal forecast experts from BMKG and Malaysia met office	To share information on Climate Variability and Climate Services in Southeast Asia
6	2022.02.15	National Climate Expert Forum	BMKG and seasonal forecast experts	To discuss 2022 Dry season forecast
7	2022.02.22-26	National Climate meeting	BMKG seasonal forecasters	Seasonal forecast meeting for Dry season 2022
8	2022.08.02-05	Wet season forecast meeting (Lombok)	BMKG seasonal forecasters	To prepare for wet season 2022/23 forecast
9	2022.08.20-21	Climate Field School (Medan)	BMKG and users (Tea/coffee producers)	Climate Field school for tea/coffee production
10	2022.11.01-03	Workshop of Climate Projection and Seasonal Prediction in Bandung	BMKG and local organizations	Lectures on climate change/seasonal forecast by JICA experts and WG4 members
11	2022.11.15-17	Workshop of Climate Projection and Seasonal Prediction in Sumarang	BMKG and local organizations	Lectures on climate change/seasonal forecast by JICA experts and WG4 members
12	2023.01.25	The Focus Group Discussion - ENSO Forecast Development	BMKG and seasonal forecast/ENSO forecast expert	Discussion and lecture on ENSO monitoring and forecast

表 13 WG4 会合等の実績 (2020年10月～2023年3月)

	Date	Meetings	Participants	Contents of Meeting
1	2020.10.13	Kick-off Meeting	WG4 members, Project Expert	JICA hosted Kick-off Meeting
2	2020.10.20	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To prepare Work Plan for Target 4
3	2020.11.24	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
4	2020.12.22	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
5	2021.02.03	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
6	2021.03.04	JICA/BMKG Joint meeting	JICA, BMKG, JMBSC	Progressive report and Work Plan for 2021
9	2021.04.06	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG activities
10	2021.04.14	JICA/BMKG Joint meeting	JICA, BMKG, JMBSC	Joint meeting
11	2021.05.19	The Second JCC	JICA, Related Organizations, JMBSC	The Second JCC
12	2021.05.25	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
13	2021.06.24	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
14	2021.07.28	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above

17	2021.08.31	Technical Working Group Discussion	JICA, BMKG, JMBSC	Joint meeting
18	2021.09.02	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
19	2021.09.17	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Preparing mid-term reports
20	2021.09.27	JICA/BMKG joint meeting	JICA, BMKG, JMBSC	JICA/BMKG joint meeting for mid-term reporting
21	2021.10.12	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
23	2021.11.23	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
24	2021.12.15	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
25	2022.02.03	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
26	2022.02.10	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
28	2022.02.15	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To discuss work plan among others
30	2022.03.02	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
31	2022.04.13	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
32	2022.05.22	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
33	2022.06.29	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
34	2022.07.18	WG4 Monthly meeting	WG1,2,3 and 4, Project Expert	To report and share the progress of WG activities
38	2022.08.24	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
39	2022.09.14	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
40	2022.10.28	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
43	2023.01.18	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
45	2023.02.14	WG4 Monthly meeting	WG4 members, Project Expert	To report and share the progress of WG4 activity
46	2023.02.27	WG4 meeting	WG4 members, Project Expert	To prepare for the final report meeting and for Complete report of WG4
47	2023.02.28	WG4 meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
48	2023.03.02	WG4 meeting	WG4 members, Project Expert	Speech rehearsal for the final report meeting
49	2023.03.03	WG4 meeting	WG4 members, Project Expert	Same as above
50	2023.03.06	Final report meeting	JICA/BMKG project PhaseII members	Report to JICA/BMKG
51	2023.03.06	Open seminar	JICA/BMKG and related organizations	Lectures by experts on climate change issues
52	2023.03.10	WG4 meeting	WG4 team, JICA	Wrap-up for WG4 Activity
53	2023.03.20	WG4 meeting	WG4 team, JICA	Preparation of WG4 final report

各課題の取り組み概要を以下に示す（各課題の詳細報告は本報告の付録として添付した）。

a) 課題 1 季節予報評価

目的

2012 年から 2020 年までのデータを用いて季節予報（雨季・乾季の開始の予測）を評価し、予測改善のための課題を明らかにする。

結果

BMKG の雨季/乾季の開始に関する季節予測は、気候予報よりも優れていることがわかった。注意：気候予報では、乾季/雨季の開始を常に「平年」と予報する。

雨季の開始の予測は、乾季の開始の予測よりも優れている（図 79）。

バリ島地域とパプア島地域では、乾季開始の予測精度は過去 10 年間で上昇傾向である（図 80）。乾季/雨季の開始と ENSO/IOD の関係が示唆される。

予測精度には地域差があり、インドネシア北部地域と赤道付近ではより一層の予報改善の努力が必要である（図 81）。

達成状況

乾季/乾季開始の乾季/雨季予測の技術レベルが確認された。予測スキルの年々の変動は ENSO などの要因に関連していることが分かった。さらに、一部の地域では、過去 10 年間で予測精度が向上していることが判明した。

今後の取り組み

今回の予報評価調査では、1981 年～2010 年の平年値を用いた予報評価を行った。現在は品質が向上した 1991 年から 2020 年までの統計値を用いて予報を行っている。そのため、新しい平年値資料を使用して予報検証を行い、今回の結果と比較検証する。また、今回の調査で明らかになった ENSO/IOD と降水量変動の関係を応用して予報スキルのさらなる向上を目指す。さらに、その結果を予測精度に基づく予報解説の実施に活かすよう努める。



図 79 乾季/雨季発症予測の正解率の経年変化

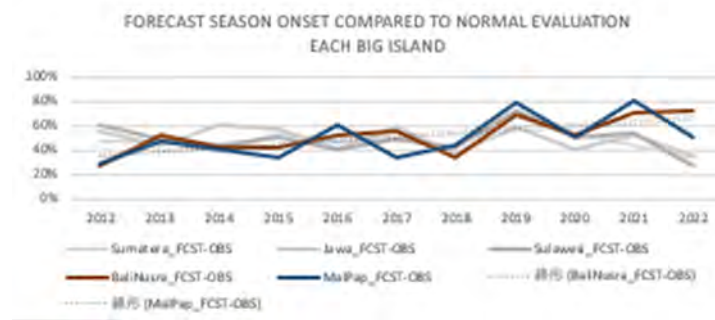


図 80 乾季発症予測における島別正解率の変化

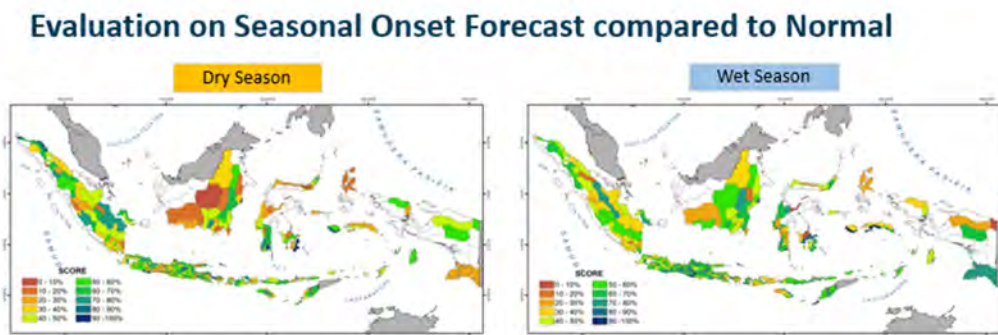


図 81 予報地域における乾季/雨季発症予測の正解率

b) 課題 2 モンスーン変動特性調査

目的

パイロット地域（バンドンとスマラン）における乾季/雨季の開始時期の変動と総降水量の変動特性を調査する（図 82）。

結果

- JATENG_24（スマラン地域）は、JABAR_31（バンドン地域）に比べて乾季が長く、雨季が短い。さらに、JATENG_24は、4月に乾季が始まり 11月に雨季が始まる。一方、JABAR_31はそれぞれ 5月乾季、10月に雨季が始まる。
- 今回の調査では、両地域とも乾季が短縮し雨季が延長する長期的な傾向が見られた。同様に、乾季の総降水量は減少傾向が、雨季の総降水量は増加傾向が見られた。（図 83、図 84）。
- エルニーニョ現象は両地域の降雨パターン影響を与え、降水量は減少する傾向がある（図 3-4-11、図 3-4-12）。この傾向は乾季に特に顕著となる。JABAR_31は乾季と雨季の両方で降雨量の減少を示すが、JATENG_24では（雨季の期間にあたる）1月から4月までは降水量の減少を示していない。JABAR_31では、エルニーニョ現象は、乾季の期間の延長と雨季期間の短縮など、季節の始まりと期間の変化をもたらす。
- ラニーニャ現象の影響は、エルニーニョのそれほど明確ではない。ラニーニャ現象発生時、降雨量は特に雨季に増加する傾向がある。強いラニーニャ現象時にはこうした傾向が見られるものの、中程度および弱いラニーニャ現象時には地域への影響は必ずしも明瞭ではない。

達成状況

パイロット地域の乾季および雨季モンスーンの降水量変動特性、特に ENSO に伴う降水量変動特性が明らかになった。

今後の取り組み

同様の調査を他の季節予報区 (ZOM) でも実施し、インドネシアのモンスーン全体の変動の特徴を明らかにする。また、ENSO に加え IOD などの大規模な大気・海洋変動とどのように関連しているか調査を行い、BMKG の季節予報の改善に資する。

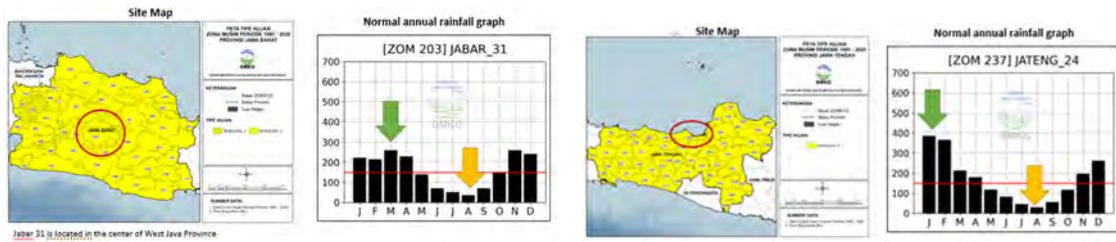


図 82 バンドン (左) とスマラン (右) の予報地域の降水量の季節変化



図 83 乾季/雨季におけるバンドンの総降雨量の年々変動

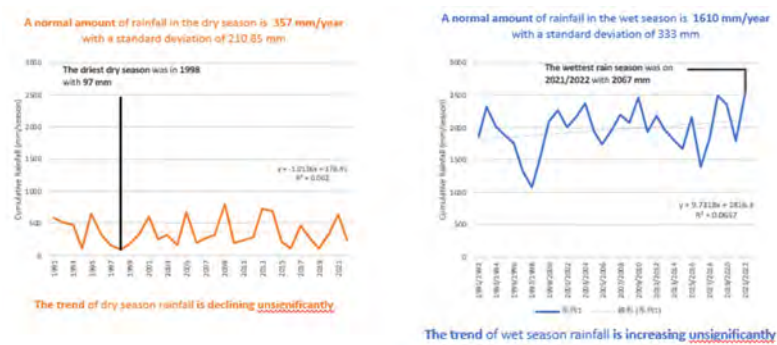


図 84 乾季 (左) /雨季 (右) におけるスマランの総降雨量の年々変動

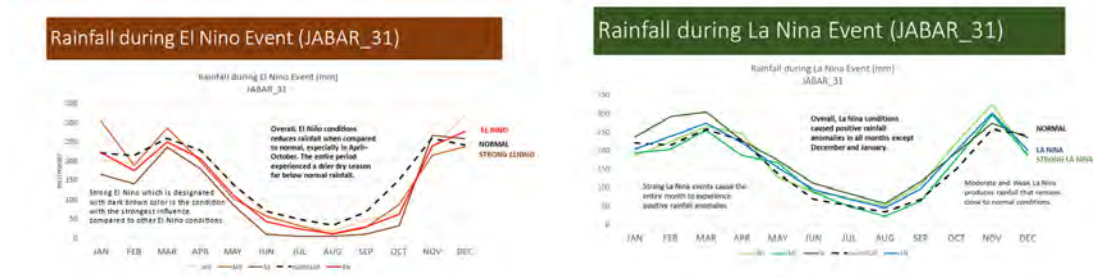


図 85 エルニーニョ時（左図）とラニーニャ時（右図）の降水量の季節変化（バンドン）

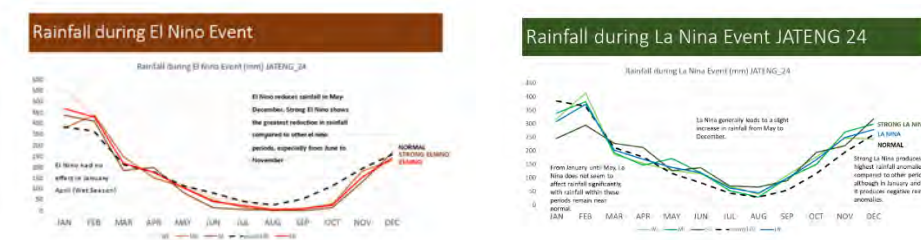


図 86 エルニーニョ時（左図）とラニーニャ時（右図）の降水量の季節変化（スマラン）

c) 課題 3 1 か月先までの大雨の予測可能性の調査

目的

ECMWF（欧州中期予報センター）の数値予報モデルの出力を用いて、乾季（5月から8月）の期間について、約1ヶ月先の大雨や干ばつなどの極端な現象の予測可能性を調査する。

結果

- 乾季の予測可能性調査は、20年（2002年から2021年）の検証データを使用して、4つの異なるリードタイムで行った（図87）。
- 7月是他の月と比較して予測可能性が高い（図88、図89）。
- 極端な大雨事例の調査を行ったところ（図90）、2022年8月の場合、少雨と多雨を4週間前から予測できるという高い予測可能性を示した。これにより極端な気象条件の事例に適用できることが示唆された。

達成状況

1か月程度先の降水量予測について、極端現象の発生の可能性を予測できる場合があることが示された。こうした情報を早期情報として提供するための正確な予測のためには引き続きモデル等の改善が不可欠である。

今後の取り組み

今後の調査では、インドネシアの地域に最も適した予測モデルを見つけるために、他の予測モデルを使用した調査を検討する。また、他の季節の事例調査も必要である。さらに、MJO や ENSO/IOD 等の出現時における事例調査も取り組みたい。

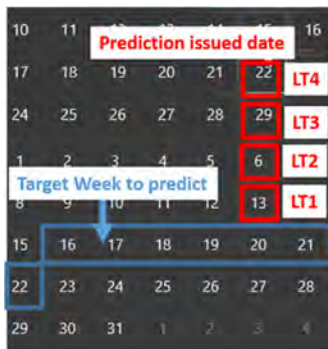


図 87 予報発表日と予報の目標となる週の説明

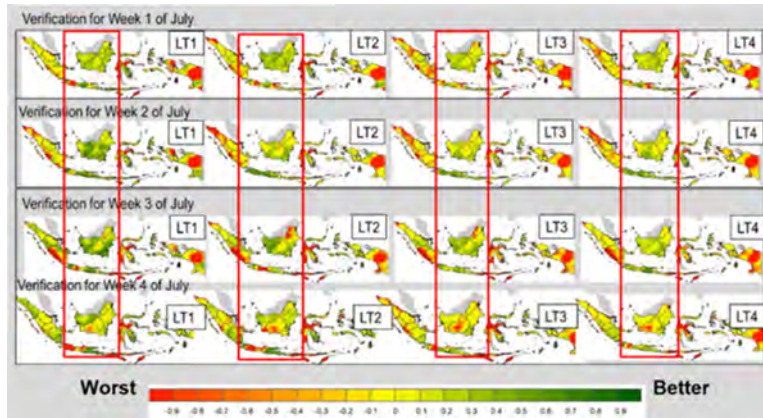


図 88 7月のMSSS解析(2002 - 2021)

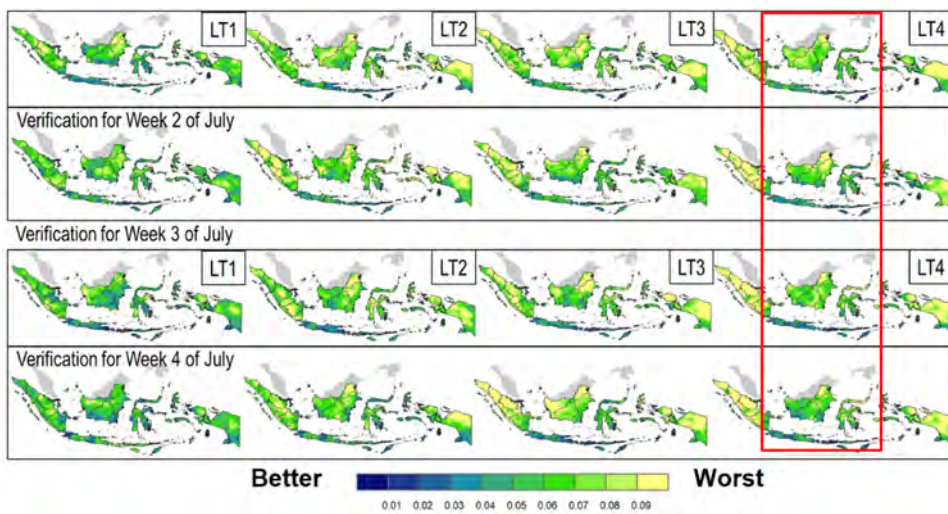


図 89 7月のBS(ブライアスコア)の空間分析(2002 - 2021)

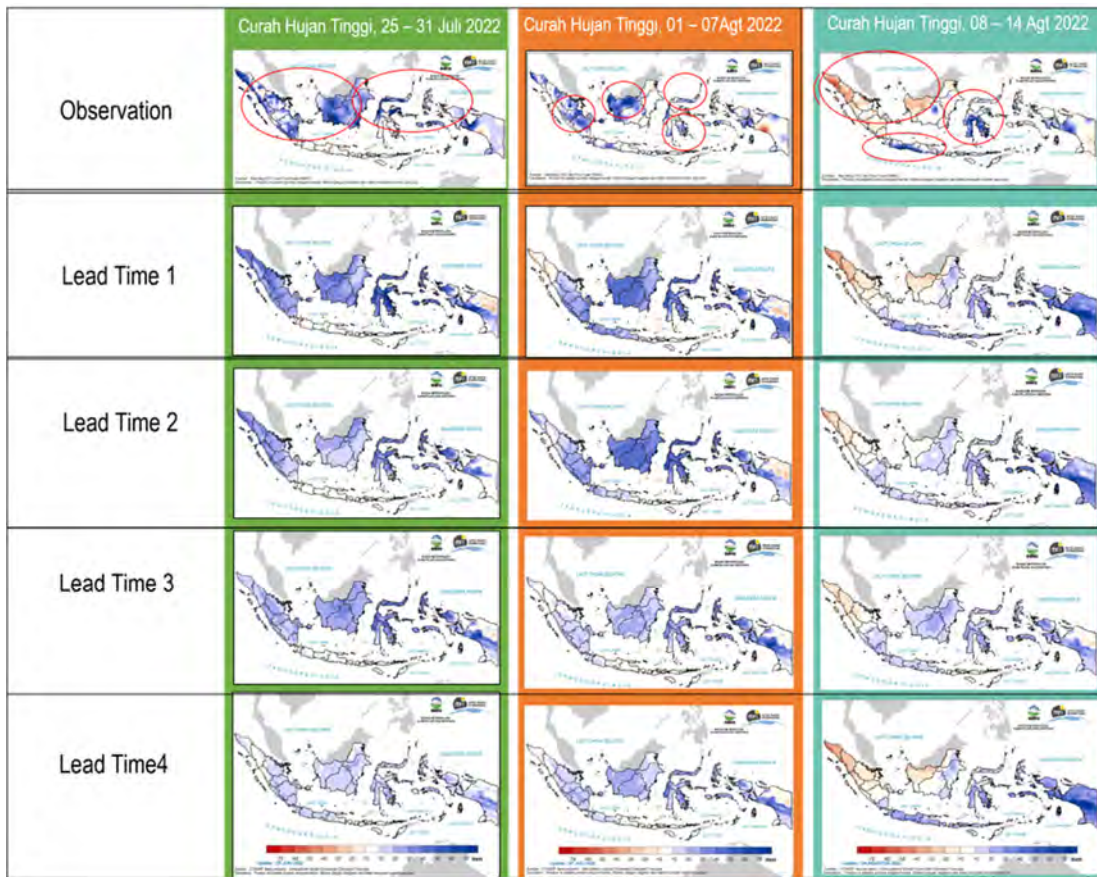


図 90 極端現象の影響に関する3つのケーススタディにおける
1カ月程度先までの予測可能性

d) 課題4 ENSO/IOD 影響調査

課題4.1 インドネシアの降雨変動に対する ENSO の影響

目的

BMKG は、1991 年から 2020 年までの新しい気候データセットを整備した。インドネシアの降雨量に対する ENSO の影響の調査は、これらの新データセットを用いて行った。統計解析手法の一つである ブートストラップ法を使用して ENSO の影響評価を行った。

結果

- エルニーニョ現象発生時の6月～8月期間には、インドネシア全土の大部分で3か月降水量は負偏差となったが、北東部の地域は平年降水量を上回った(図91左)。9月～11月期間の場合、ほとんどの地域で降水量が平年を大幅に下回った(図91右)。偏差が平年より60%を超える地域は、スマトラ、ジャワ、バリ、ヌサトゥンガラなどの南部の地域である。
- ラニーニャ現象発生時の6月～8月期間には、インドネシアの大部分で3か月降水量は正偏差となった(図92左)。80%を超える正偏差地域は、スマトラ島の南部、カリマンタンの南部から中央部、スラウェシ島の北部、マルクの南部まで拡大しました。9月～11月期間には、全国各地で平年を上回る雨量となる(図92右)。80%を超える正偏差の地域は、スマトラの南部、ジャワ、バリ、ヌサトゥンガラ、カリマンタンの東部、およびスラウェシの中央部である。

達成状況

インドネシアの降雨量に対する ENSO の影響について、新平年値や新しく整備した降水量資料を用いて、北半球の夏（6～8月）と秋（9～11月）の季節における ENSO の影響を特定した。エルニーニョ現象に伴う少雨傾向とラニーニャ現象に伴う多雨傾向は、8月から9月にかけて最も顕著であることがわった。エルニーニョ現象の発生中には、インドネシアの赤道南部の地域では、北半球の夏から秋にかけて、降雨量が 60%以上減少すると結論付けることができる。また、ラニーニャ現象の発生中には、一部地域では、8～9月頃を中心に降雨量が 80%以上増加することが分かった。

今後の取り組み

今後、他の季節について同様の調査を行う必要がある。さらに、これらの結果を用いて、早期警報システムに搭載するための調査と作業を実施する。

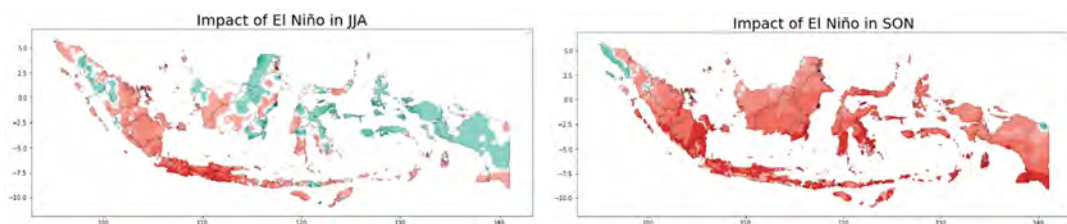


図 91 JJA 期間（左）と SON 期間（右）の降雨変動に及ぼすエルニーニョ現象の影響

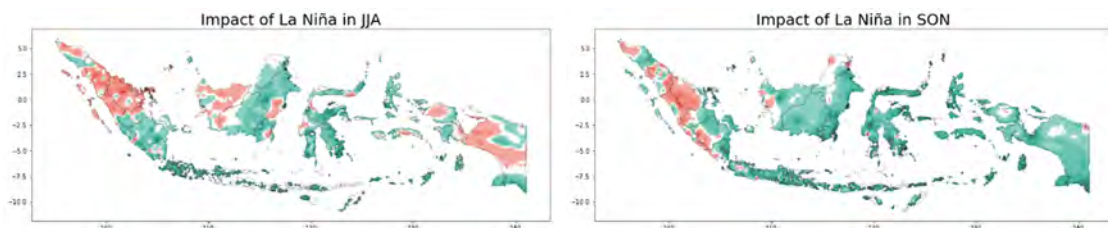


図 92 JJA 期間（左）と SON 期間（右）の降雨変動に及ぼすラニーニャ現象の影響

課題 4.2 インド洋ダイポールモード現象（IOD）の監視と予測の改善

目的

ENSO とインド洋ダイポールモードは、インドネシアの気候条件を考える上で最も重要な要因である。TCC（東京気候センター）/JMA などの世界の気候センターからの ENSO や IOD 予測情報は BMKG の監視・予測活動に使用されている。本邦気象庁の「ENSO 予報スキル調査」を農業保険プロジェクト（2020年10月）⁴で行った。同様の手法を用いて、気象庁のインド洋ダイポールモード指数の予報スキルを調査した。さらに、インドネシアの降水変動に対する IOD の影響についても調査した。

結果

a) 気象庁インド洋ダイポールモード指数予測の評価

- 気象庁のインド洋ダイポールモード指数の予測は、統計的手法(ピアソン相関と平均二

⁴ 「インドネシア農業保険実施能力向上プロジェクト」における気象観測データ評価能力評価 業務完了報告書（2020年10月、JICA）参照

乗スキルスコア (MSSS) を使用して評価した。

- 1〜3 か月先の予測では、予測と観測は高い相関があり、MSSS は正を示した (図 92)。
- 季節別では、1 月から 3 月の予報は他の季節よりも相関性が低い (図 93)。予測精度は季節に依存するようであり、これに寄与する要因はさらに調査する必要がある。



図 93 気象庁のインド洋ダイポールモード予測のスキル



図 94 気象庁の IOD 予報の相関法による評価

b) インド洋ダイポールモード現象 (IOD) がインドネシアの降雨量に与える影響

- インドネシアの降雨量に対する IOD の影響を分析するため統計解析手法のブートストラップ法を使用した。
- 一般に、正/負の IOD モードは、JJA (6 月〜8 月) 期間中のインドネシア、特にスマトラ、ジャワ、バリ地域などで降雨量に大きな影響を与える (図 94)。JJA 期間の正の IOD 時には、降水量はスマトラやジャワの一部で減少する傾向があり、カリマンタンやスラウェシ、パプアの一部の地域で増加する傾向がある。負の IOD モード時には、降水量スマトラ北部とパプアを除くインドネシアのほとんどの地域で増加する傾向がある。
- 正負の IOD モードは、SON (9 月〜11 月) 期間中のインドネシア、特にスマトラ南部、ジャワ、バリ、カリマンタン、スラウェシ、マルクなどの降水量に大きな影響を与える (図 95)。正の IOD 時には SON 期間の降水量は、インドネシアのほとんどの地域で減少する傾向があり、負の IOD 時には、インドネシアのほとんどの地域で増加する傾向がある。
- スマトラ島北部における IOD の影響は、インドネシアの他の地域とは少し異なることに留意したい。負の IOD 時には、JJA と SON 期間中、降水量は平年を下回る。
- 純粋な IOD (Pure IOD) モード、すなわち ENSO イベントを伴わない IOD 影響も調査した。結果は、上述した IOD の影響と概ね同様であった。
- パイロット地域の正/負の IOD 時の降水量時系列を図 96 (中部ジャワ地域) と図 97 (西ジ

ジャワ地域) に示す。インドネシアの乾季には IOD の影響が顕在化するため、正の IOD 時は (平年より少ない降水量のため) より乾燥して、負の IOD 時は (平年より多い降水量のため) より湿潤となることが明らかである。

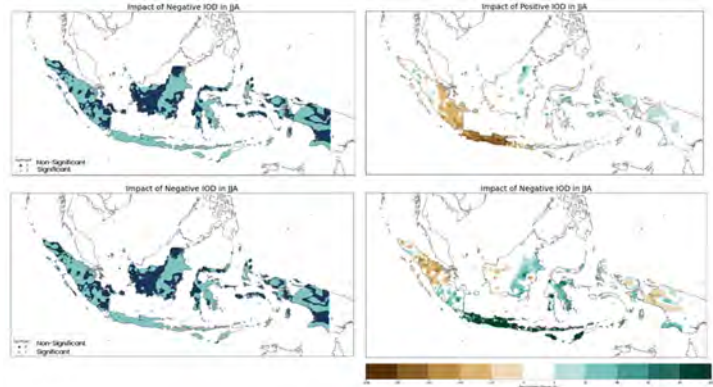


図 95 JJA (6 ~ 8 月) 期間中の IOD のインドネシア降水量への影響

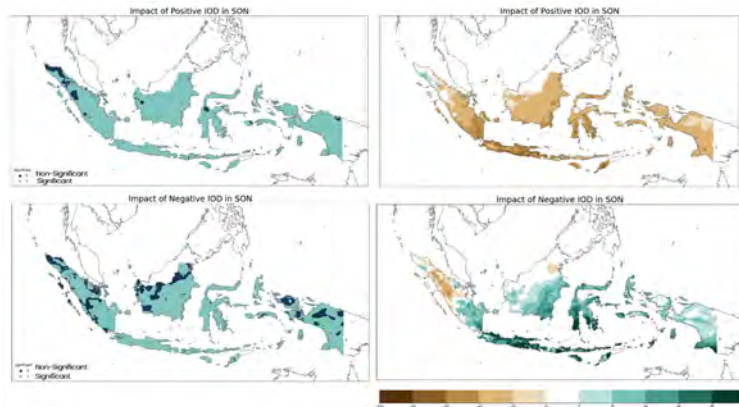


図 96 SON (9 月 ~ 11 月) 期間中の IOD のインドネシア降水量への影響

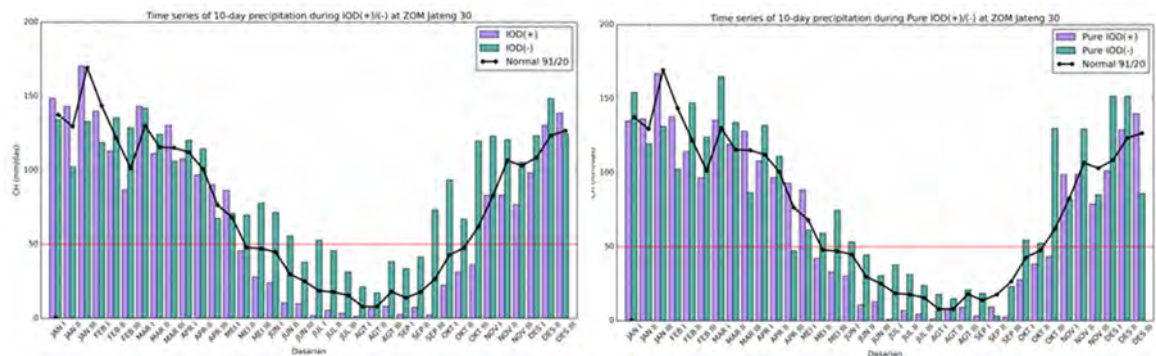


図 97 中部ジャワ地域 (Java_30) における正 / 負の IOD 時の 10 日間降水量の季節変化

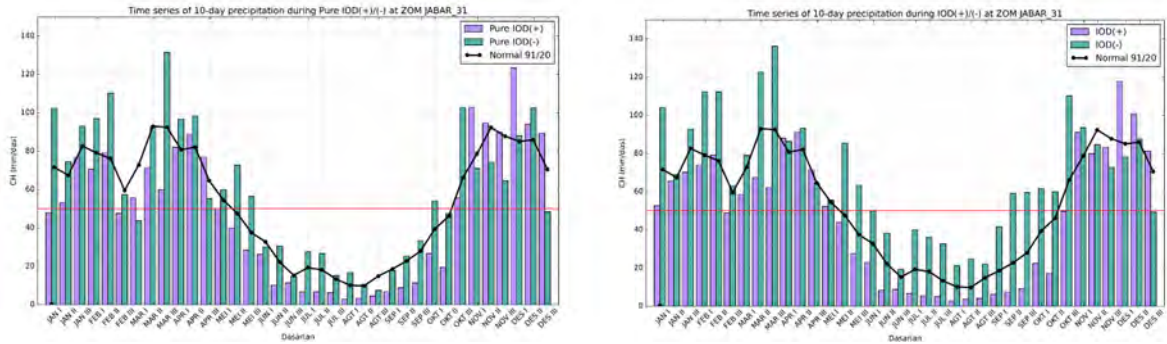


図 98 西ジャワ地域 (Java_31) における正/負の IOD 時の 10 日間降水量の季節変化

達成状況

- BMKG の季節予報に主要情報の一つとして利用されている本邦気象庁の IOD モード予報の評価を行った。1~3 か月先の予測についてよい成績であることが分かった。
- インドネシアの乾季における降水量変動への IOD モード現象の影響が明らかになった。一般的に、正の IOD 時のインドネシアの降水量は減少し、負の IOD 時は逆になる。ただし、一部の地域ではこれとは異なる結果であった。

今後の取り組み

- 次のプロジェクトでは、本邦気象庁が発表している 6 か月先までの IOD と ENSO の予報資料の評価を行いたい。これら情報は、BMKG 予報官が季節降雨量や乾季/雨季の始まりを予測するのに役立つと考える。

e) 課題 5 1 年先までの気候見通しの調査

目的

インドネシア政府機関から 1 年先までの気候見通しの強い要望があることから、1 年先までの気候予測の課題について検討を行った。

結果

BMKG は、2022 年の気候見通しと 2023 年の気候見通しを作成し、政府機関に提供した。BMKG は、既存の季節予測手法（力学的手法と統計的手法の組み合わせ）を使用して、1 年先までの気候予測を作成した（図 98）。1 年先までの見通しを組み立てる基盤情報として、1 年先の ENSO および IOD 予測に関する情報に注目した（図 99）。これら予測情報に基づき、インドネシアの年間降水量の見通し（図 100）や月ごとの降水量分布予報などが作成された。

Method

- Statistical Approach for ENSO and IOD**
 - Input** : Nino 3.4 and IOD Index Decade I January 1991 – III August 2022;
 - Method** : *Singular Spectrum Analysis (SSA)*
 - Output** : Nino 3.4, IOD Index and SSTA Prediction (up to 12 month lead time): *Seasonal (DJF 2023 – NDJ 2023) and Monthly value (Jan 2023 – Dec 2023)*
- Dynamical Rainfall Model Utilization**
 - Input** : ECMWF raw Output Model (Initial September III 2022) and **Bias Correction Factor** (based on 1991-2020 hindcast and **Blended Rainfall observation data**)
 - Method** : *Linier Scaling Bias Correction*
 - Output** : ECMWFcorr 21 decades lead time Rainfall Prediction for *January I 2023 – March III 2023*; September I 2022 – March III 2023 (used for statistical model input)
- Statistical Rainfall Model**
 - Input** : **Blended Rainfall observation data** from I January 1991 – III August 2022 + ECMWFcorr decadal prediction September I 2022 – March III 2023 (output from 2)
 - Method** : *ARIMA, Wavelet ARIMA, Wavelet ANFIS*
 - Output** : **Monthly Rainfall** Prediction (27 decades lead time), *April I 2023 – December III 2023*; and **Annual Rainfall for 2023**

図 99 1年間の気候見通し 2023 (BMKG) の作成方法

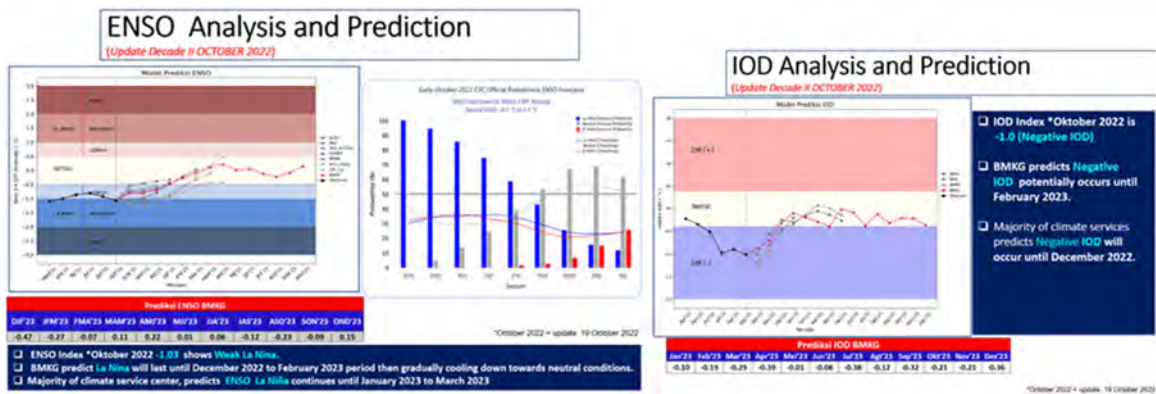
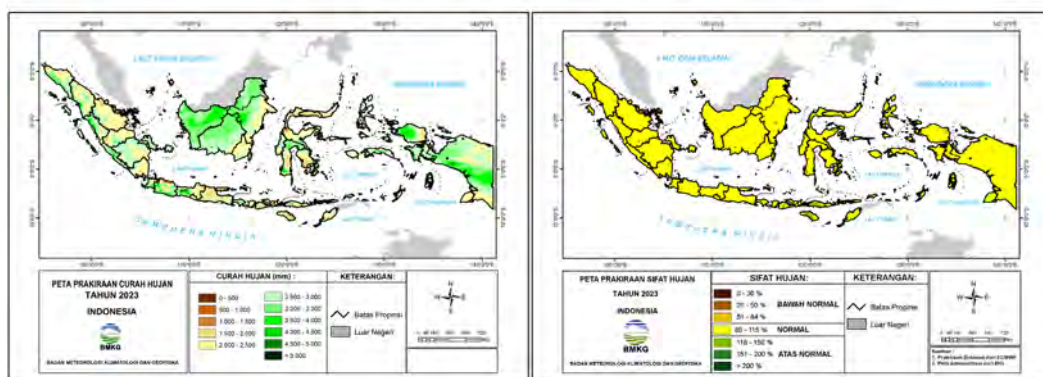


図 100 「2023 年気候見通し」作成に用いた ENSO 解析値と予測 (左図)、確率的 ENSO 予測 (中央図)、並びに 1 年間の IOD 解析値と予測 (右図)。

Annual Rainfall Prediction



2023 Annual Rainfall Prediction Map

2023 Annual Rainfall Anomaly Prediction Map

図 101 2023 年の 1 年間の気候見通し : 年降水量分布 (左図) と年降水量平年差 (右図)

達成状況

- 1年間の気候見通しは、インドネシア共和国国家開発計画省およびその他の部門省庁を通じて政府からの要請に応えるために作成された。
- 翌年の気候条件（より乾燥あるいは湿潤）を確認するために、力学的手法と統計的手法の組み合わせに基づいて予測を行った。
- この見通しは、政府機関の来年の計画設計の際、参照・検討資料として利用される。
- 長期的な予測の取り組みには、今後1年間を支配する気候変動要因（例えば、ENSO やIODの有無、それらの位相など）がどのようなものか検討することが重要であることが明らかになった。

今後の取り組み

今後のさらなる改善のために以下の事項について取り組む。

- これまで作成した1年見通しの評価・検証
- 海洋研究開発機構（JAMSTEC）やMRI（本邦気象庁気象研究所）など他機関との連携による複数年や10年規模変動の調査研究
- 複数年の気候見通しのための人工知能/機械学習アプローチ

f) 本業務の短期専門家による調査関連資料の提供

本業務の短期専門家からの調査に必要な資料や情報の提供、調査に関するアドバイスは以下の通り。

- 気象庁の最新6か月予報データの紹介
- 世界の気象機関による1年予報の紹介
- 気象庁におけるインド洋ダイポールモードのモニタリングと予報の紹介
- 過去3年間の気象庁 ENSO 予報（NINO3、NINO3.4、NINO4）との観測値の比較

g) ワークショップ/フォーラム/セミナーでの講演・情報提供

本業務の短期専門家は、季節予報検討に関連する BMKG 会議に出席し（表 3-4-2）、季節予報に関する技術移転を行った。

- 2021年3月、7月、8月、2022年2月、8月の乾季・雨季予報検討会議での情報提供
- BMKG 主催 Climate Field School（メダン、2022年8月）で季節予報について講演
- BMKG 主催ワークショップでの季節予報について講演（バンドン・スマラン、2022年11月）

h) 日本における長期予報研修（2022年12月）

BMKG の参加者6名が JAMSTEC と気象庁での研修に参加し、気候系診断・監視方法、季節予報、ENSO 予報に関する講義と実習を行った。研修会では WG4 の各メンバーが、それぞれの調査研究について報告し、JAMSTEC や気象庁の専門家から今後の調査の進め方についてアドバイスを受けた。

3.4.5 今後の活動計画

今後、インドネシア側の継続的な取り組みが期待されるねは以下の通り（個々の課題の取り組みについては3.4.4節を参照）。

インドネシア政府機関や産業界は、季節予測の精度を向上させ、予報期間を延長するよう要望している。BMKGは2021年に1年間の気候見通しの提供を開始したが、予報期間の延長（最大1~2年）の要望が引き続き出されている。また、今後の地球温暖化の進行により豪雨災害の増加が懸念されている。以上を踏まえて、今後の課題として以下の項目を挙げる。

- ・ 季節予報の精度を高め、様々なユーザーのニーズに合わせた予報を進めること約1ヶ月先の大雨の予測可能性に関するさらなる研究 BAPPENAS から強く要望されている1~2年先の気候予測に関する調査研究

これらの問題は非常に困難ではあるが、BMKGはインドネシアの政府機関、産業界、一般市民の強い要望と期待に応じて引き続き対処する必要がある。

3.5 本邦研修

3.5.1 コースの概要

(1) コースの名称

和文： 気候変動長期予測に係る能力強化

英文： TRAINING IN JAPAN FOR ENHANCING ABILITIES FOR METEOROLOGICAL/
CLIMATOLOGICAL DATA USAGE

研修番号：201500577J012

(2) 研修期間

2022年12月5日~2022年12月16日

(3) 研修員人数

6名（インドネシア気象気候地球物理庁（BMKG）職員）

3.5.2 研修内容

(1) 研修の目的と達成目標

本研修の目的は以下の通りである。

- ・ 力学的ダウンスケーリング、統計的ダウンスケーリング及び都市化の影響を加味したダウンスケーリングについて、データを活用する技術の習得
- ・ インドネシア国において気候変動予測結果を政策・施策の策定・実施に活用・反映するうえで必要な知見・ノウハウの取得
- ・ 気象庁が運用する iTacs の使用実習を通じた季節予報技術の向上

(2) 本研修に求める成果

a) 研修対象者及びその職務内容

本研修の対象者は、BMKGにおいて、地球温暖化予測プロダクトを用いて関係省庁が策定する

中期計画に資する予測情報の提供を担務する職員及び季節予報の作成・発表を担務する職員とする。

b) 対象者が職務を執行する上での課題および現在のレベル

研修生は日常業務において地球温暖化予測プロダクトの格子点情報を図化して関係機関に提供する業務を行っているが、どのようにしてそのようなプロダクトが作成されているのか、また提供した情報がどのように気候変動の緩和策に活用されるかといった知識は不足している。このため本研修において、気候モデルの基礎やわが国における地球温暖化予測情報の活用事例を学ぶ必要がある。また、高度な気候系解析ツールを用いての季節予報業務実施に必要な知識が不足しており、最新の知見と技術を学ぶ必要がある。

c) 到達目標（対象者に何ができるようになってほしいか）

本研修の到達目標は、研修生が、ダウンスケーリングした地球温暖化予測情報の提供に当たり、プロダクトの特徴や限界について、関係省庁のニーズを踏まえて適切な解説を行うことができる能力を身に着けることとする。また、高度な気候系解析ツールを用いての季節予報業務実施に必要な知見と技術を身に着ける。

3.5.3 研修日程表

表 14 本邦研修日程表

日付	時刻		研修内容	講師又は見学先担当者等	
				氏名(敬称略)	所属先及び職位
11/24(木)			(事前打合せ)		
12/4(日)			来日 (土曜の夜に出発～日曜朝に到着)		
12/5(月)	10:00	11:30	ブリーフィング (銀行カード・メディカル関連)	ブリーフィング 担当	JICA筑波
	14:00	16:00	気象庁の気候変動予測データについて インセプションレポート発表会 (2人ずつ発表)	村田昭彦	気象研究所応用気象研究部第一研究室長
12/6(火)	10:00	12:00	地球温暖化に伴う水資源の変化予測	仲江川和敏	気象研究所応用気象研究部第二研究室長
	14:00	16:00	地球温暖化に伴うモンスーンの変化予測	遠藤洋和	気象研究所気候・環境研究部第二研究室主任研究官
12/7(水)	10:00	12:00	統計的ダウンスケーリング	西森基樹	農業・食品産業技術総合研究機構
	13:30	16:30	統計的ダウンスケーリングの農業への応用	同上	農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 影響予測ユニット, ユニット長
12/8(木)	10:00	12:00	力学的ダウンスケーリング	日下博幸	筑波大学, 計算科学研究センター-気候変動地球環境研究部門, 教授
	13:30	16:30	力学的ダウンスケーリングの応用	同上	同上
12/9(金)	10:00	12:00	気候予測データの気候変動適応策への応用	田村誠	茨城大学, 地球・地域環境共創機構, 准教授
	13:30		資料整理		
12/10(土)			休日		
12/11(日)			休日		
12/12(月)	11:00	12:00	(JICA筑波→移動) ENSO、インド洋ダイポールモードのメカニズムとその予測について	土井威士	海洋研究開発機構 (JAMSTEC), アプリケーションラボ, 主任研究員
	13:30	15:00	インドネシアの④年予報について 海面水温長期予報、長期予報技術意見交換	同上	同上
	15:00	16:00	施設見学 (横浜研究所、地球シミュレータ)	同上	同上
12/13(火)	9:50	10:00	Wellcome address	竹川元章	気象庁大気海洋部気候情報課長 Head Tokyo Climate Centre (TCC)
	10:00	10:30	TCCの紹介	TAKAHASHI Kiyotoshi	気象庁大気海洋部気候情報課 (CPD) Scientific Officer, TCC, JMA
	10:30	11:15	予報モデルとTCCプロダクト	SAWADA Morihiro	同上 Scientific Officer, CPD, JMA
	11:15	12:00	季節予報	NATORI Hiroaki	同上 Forecaster, CPD, JMA
	13:00	14:00	ENSOとIOD	UMEDA Takafumi	同上 Head, Center for Information on Climate Extremes, CPD, JMA
	14:00	14:40	季節予報の利活用	TSUJI Kentaro	同上 Forecaster, CPD, JMA
	14:40	15:30	気候系の監視	SATO Hitoshi	同上 Forecaster, CPD, JMA
	15:30	16:30	気候変動と評価予測/IPCC第6次報告書	WAKAMATSU Shunya	同上 Scientific Officer, CPD, JMA
12/14(水)	10:00	12:00	ITACSを用いた長期予報資料作成 (基礎)	YAMAMOTO Kosuke	気象庁大気海洋部気候情報課 Scientific Officer, CPD, JMA
	13:00	15:30	ITACSを用いた長期予報資料作成 (応用)	TAKEMURA Kazuto	同上 Scientific Officer, CPD, JMA
	15:30	16:30	BMKGの長期予報についての報告会 (意見交換)	担当官	同上
	16:30	17:30	気象庁予報作業室 (紹介ビデオ25分+現場視察)	担当官	気象庁
	17:30	17:35	Wrapup and Closing	竹川元章	気象庁大気海洋部気候情報課長 Head Tokyo Climate Centre (TCC)
12/15(木)	10:00	12:00	ワークプラン発表準備	里田、栗原	(一財) 気象業務支援センター
	13:30		ワークプラン発表会	里田、栗原	(一財) 気象業務支援センター、JICA
12/16(金)	10:00	12:00	帰国後のフォローアップMTG 閉講式	担当者	(一財) 気象業務支援センター
	13:30		帰国準備		
12/17(土)			帰国		

3.5.4 シラバス

研修科目	気象庁の気候変動予測データについて	
Title	Dynamical Downscaling of Climate Change in Southeast Asia: Fundamentals and Applications	
研修日	12月5日(月) 14:00 – 16:00	(2時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	村田昭彦(気象研究所応用気象研究部第一研究室長)	
Lecturer	Dr. MURATA Akihiko (MRI)	
研修内容	<p>地域気候モデルを用いた東南アジアの気候変動の力学的ダウンスケーリングについて紹介した。まず、地域気候モデルや実験デザインなど、力学的ダウンスケーリングに関する基本的な事項を説明した。次に、東南アジアの地域気候変動予測に関連する研究例を紹介し、ダウンスケーリングデータを用いた解析方法について説明した。研修生からは、解析に使用するバイアス補正の方法について質問があり、講師が回答した。</p>	
Content	<p>Dynamical downscaling of climate change in Southeast Asia using a regional climate model is introduced. First, fundamental items on dynamical downscaling, such as regional climate models, experimental designs, are explained. Next, examples of studies related to regional climate change projections over Southeast Asia are introduced. Finally, methods of analyses using downscaled data are described.</p> <p>Trainees asked questions the method of bias correction used in the analysis and the trainer explained about the methods.</p>	
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングの基礎と解析方法を理解する。	

研修科目	地球温暖化に伴う水資源の変化予測	
Title	Future changes in water under a changing climate	
研修日	12月6日(火) 10:00 – 12:00	(2時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	仲江川敏之(気象研究所応用気象研究部第二研究室長)	
Lecturer	Dr. NAKAEGAWA Toshiyuki (MRI)	
研修内容	<p>最初のトピックは、気候変動下での水資源、干ばつ、洪水などの水の将来予測についてである。</p> <p>私たちの研究プログラムの基本的なアプローチを、数値地球気候モデルや排出シナリオなどの実験セットアップを用いて説明する。</p> <p>水に関連する予測の鍵となる気候モデルにおける地表面モデルを紹介するとともに、地球規模およびインドネシアにおける水の将来変</p>	

	<p>化を示す。</p> <p>2 つ目のトピックは、最新の IPCC AR6 WGI である。インドネシアに関する記述を中心に、IPCC AR6 WGI の報告書全文を読み解く。IPCC AR6 WGI のフルレポートは 2409 ページあり、この内容を読むことは困難であるため、32 ページの SPM (Summary for Policymakers) を読むことになる。しかし SPM は全世界から地域スケールの内容に限定されているため、国内の政策立案者にとって十分な情報を提供できない。そこで、IPCC AR6 WGI のフルレポートにおけるインドネシアに関する記述を提供し、多面的に議論する。</p>
Content	<p>The first topic is about future projections of water, including water resources, drought, and flood under a changing climate:</p> <p>The fundamental approach in our research program is explained with numerical global climate models and experiment setups such as emission scenarios.</p> <p>Land surface models in climate models are introduced since they are key to the projections relevant to water.</p> <p>The future changes in water, both global and in Indonesia, are shown.</p> <p>The second topic is the latest IPCC AR6 WGI. We will scan the full report of IPCC AR6 WGI by focusing on the descriptions of Indonesia. The full report of the IPCC AR6 WGI comprises 2409 pages, and most people have difficulty reading these contents. Therefore, most people read Summary for Policymakers or SPM composed of 32 pages. However, SPM does not provide sufficient information for domestic policymakers due to the limited information about global-to-regional scale contents. The descriptions of Indonesia in the full report of the IPCC AR6 WGI are provided, and we will discuss them from multiple viewpoints.</p>
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	<p>気候変動に伴う水資源の変化予測を学ぶとともに、IPCCAR6 に記載される、インドネシアについての予測結果を知る。</p>

研修科目	地球温暖化に伴うモンスーンの変化予測	
Title	Future projection of monsoon changes under global warming	
研修日	12 月 6 日 (火) 14:00 – 16:00	(2 時間)
形式 (講義/実習)	講義	
講師	遠藤洋和 (気象研究所気候・環境研究部第二研究室主任研究官)	
Lecturer	Dr. ENDO Hirokazu (MRI)	
研修内容	<p>講演者は二つのトピックについて話をする。</p> <p>最初のテーマは「気候モデルによる地球温暖化予測」である。気候モデルが予測する 21 世紀の気候変動、特に降水量の変化について、</p>	

	<p>基本的な知識を提供する。</p> <p>第二のテーマは、「気候モデルによるモンスーンの将来変化」である。モンスーン現象の基礎知識、全球および地域モンスーンの将来変化の予測、モンスーン降水量の将来変化のメカニズムなどの話題を取り上げる。</p> <p>発表資料は、2021年に発表された IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第6次評価報告書と最近の研究論文を中心に構成する。</p>
Content	<p>The lecturer will talk about two topics.</p> <p>The first topic is “global warming projections by climate models”. It will provide basic knowledges of future climate changes projected by climate models during the twenty-first century, especially focusing on precipitation changes.</p> <p>The second topic is “future changes in monsoon projected by climate models”. It will include the topics of basics of monsoon phenomena, projected future changes of global and regional monsoons, and mechanism of the future changes of monsoon precipitation.</p> <p>The presentation materials are mainly based on the 6th Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assessment report published in 2021 and recent research papers.</p>
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	<p>気候モデルを用いた地球温暖化予測の概要と、予測されたモンスーンの変化予測の概要を学ぶ。</p>

研修科目	統計的ダウンスケーリング
Title	Statistical downscaling
研修日	12月7日(水) 10:00-12:00, 13:30-16:30 (5時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	西森基貴(農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域 影響予測ユニット, ユニット長)
Lecturer	Dr. NISHIMORI Motoki (NARO)
研修内容	<p>本研修のテーマは、インドネシア地域の将来の降水量変化に対する気候モデル出力のバイアス補正と統計的ダウンスケーリング(BCSD)である。</p> <p>研修生は、CMIP5に登録されたGCMを用いた結果を発表するとともに、新たにCMIP6-GCMの結果も発表する。さらに、気候の影響と適応に関する農研機構の研究の概要と、インドネシアの農業生産における大気海洋相互作用システムとの関連性についても説明する。</p> <p>この研修を通じて、アジア太平洋地域の気候・大気海洋相互作用シ</p>

	システムの変化とその農業への影響に関する相互理解が深まることが期待される。
Content	<p>The subject of this training is bias correction and statistical downscaling (BCSD) of climate model output for future precipitation changes over the Indonesian region.</p> <p>The trainees will also present the results using CMIP5-catalogued GCMs, and the new CMIP6-GCM results will be presented here. In addition, an overview of our NIAES/NARO research for climate impacts and adaptations and its relevance to the atmospheric-ocean interaction system in agricultural production in Indonesia.</p> <p>Through this training, it is expected that mutual understanding of climate and air-sea interaction system changes in the Asia-Pacific region and their agricultural impacts will be enhanced.</p>
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	統計的ダウンスケーリング技術の概要とバイアス補正手法について学ぶとともに、その農業分野への活用について理解を深める。

研修科目	都市化と気候変動がジャカルタの豪雨に与える影響
Title	Effects of urbanization and climate change on heavy rainfall in Jakarta
研修日	12月8日(木) 10:00 – 12:00 (2時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	浅野裕樹(筑波大学, 計算科学研究センター気候変動地球環境研究部門)
Lecturer	Mr. ASANO Yuki (University of Tsukuba)
研修内容	都市化により、北風が弱まり収束域が減少し、降水量が増加する。地球温暖化により、ジャカルタの降水域は北に移動している。都市化の影響の大きさは、現状と将来予測でほぼ同じである。
Content	<p>Urbanization enhances the rainfall with lower convergence zone due to lower northerly wind.</p> <p>Due to global warming, the precipitation area in Jakarta has shifted northward.</p> <p>The magnitude of urbanization effects is almost the same between present conditions and future projections.</p>
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	ジャカルタ周辺の地域を取り上げ、温暖化時に都市化の影響が局地循環及び短時間強雨に及ぼす影響について理解する。

研修科目	力学的ダウンスケーリング
------	--------------

Title	Dynamical downscaling	
研修日	12月8日(木) 14:00 – 15:00	(1.0時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	日下博幸(筑波大学, 計算科学研究センター気候変動地球環境研究部門, 教授)	
Lecturer	Prof. KUSAKA Hiroyuki (University of Tsukuba)	
研修内容	擬似地球温暖化法を含む力学的ダウンスケーリング手法を紹介し、物理スキームが降雨シミュレーションに与える影響について、いくつかの例を挙げながら説明する。 また、力学的ダウンスケーリング手法でシミュレーションしたインドネシアの降雨の日内変動も紹介する。	
Content	Dynamical downscaling methods, including the one that used the pseudo-global warming method are introduced, and some examples of the impact of physical schemes on rainfall simulation are shown. In addition, a diurnal variation of rainfall in Indonesia simulated with the dynamical downscaling techniques is introduced.	
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	擬似地球温暖化法を用いた力学的ダウンスケーリング手法について学ぶとともに、その結果のインドネシアにおける降水量の日内変動についての知見を得る。	

研修科目	力学的ダウンスケーリングによる地球温暖化下での地域気候の新常態	
Title	Identifying a new normal in regional climate under global warming with dynamical downscaling	
研修日	12月8日(木) 15:00 – 16:30	(1.5時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	Ass. Prof. DOAN Quang Van(筑波大学, 計算科学研究センター気候変動地球環境研究部門, 助教)	
Lecturer	Ass. Prof. DOAN Quang Van (University of Tsukuba)	
研修内容	擬似地球温暖化アプローチによる将来の降水量予測、特に都市部での降水量予測について発表される。 温暖化時には弱い対流が抑制され、強い対流が発達する。 気温の日較差は温暖化によって減少するが、これは雲量の増加によって最高気温が過小評価されるためと思われる。	
Content	Future precipitation projection, especially in cities with pseudo global warming approach is discussed. Weak convections will be suppressed for stronger convections to grow. The diurnal temperature range will decrease with global warming, possibly because the increase in cloud amount causes under-warming of Tmax.	

研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	地球温暖化時における対流の発達状況や気温変化の傾向に現れる変化について理解を深める。
--------------------------	--

研修科目	気候予測データの気候変動適応策への応用
Title	Climate change adaptation process in various sector
研修日	12月9日(木) 10:00-12:00 (2時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	田村誠(茨城大学, 地球・地域環境共創機構, 准教授)
Lecturer	Ass. Prof. TAMURA Makoto (Ibaraki University)
研修内容	<p>④) 茨城県地域気候変動適応センター(iLCCAC)の課題</p> <p>茨城県地域気候変動適応センター(iLCCAC)は、2018年に気候変動適応法が制定された後、気候変動の影響に対応するため、2019年4月1日に茨城大学に設立された。本講演では、iLCCACのいくつかの課題を紹介し、地域適応策の推進方法について議論する。</p> <p>2) 沿岸部の適応策 ベトナムと世界における気候変動に対するグレーとグリーンインフラの混在</p> <p>気候変動による海面上昇(SLR)は、沿岸域に住む人間を脅かす可能性がある。気候変動に適応するためには、沿岸域の経済的な被害や保護にかかるコストを検証することが重要である。熱帯・亜熱帯の海岸線にマングローブ林の植林と堤防の建設を組み合わせると適応すれば、より効率的かつ経済的に沿岸域を保護することが可能となる。本研究は、それらを検討し、望ましい適応策を提案しようとするものである。</p>
Content	<p>④) Challenges of Ibaraki Local Climate Change Adaptation Center (iLCCAC)</p> <p>Ibaraki Local Climate Change Adaptation Center (iLCCAC) was established at Ibaraki University on April 1, 2019, after the climate change adaptation act was enacted in 2018, in order to address the impacts of climate change. The speech presents several challenges of iLCCAC and discusses how to promote local adaptations.</p> <p>④) Coastal Adaptation Mixing Gray and Green Infrastructures to Climate Change in Vietnam and the world</p> <p>Sea level rise (SLR) due to climate change may threaten humans who live near the coastal areas. To adapt to climate change, it is important to examine the economic damage and cost of coastal protection. Coastal areas can be protected more efficiently and economically if adaptation combines planting mangrove forests and constructing dikes along the tropical and subtropical coastline. This study tries to examine them and propose desirable</p>

	adaptations.
研修のねらい (講師が期待する研修到達度)	インデックス型農業保険の概要について学習し、農業保険の概要・実情を使い、また、インデックス型農業実例について講義を頂き、保険の設計、必要となるデータ、それらの効果について理解する。

研修科目	JAMSTEC 予測モデルに基づく ENSO 等の長期予測について	
Title	ENSO/IOD prediction study based on JAMSTEC Prediction system	
研修日	12月12日(月) 午前11時～午後1時30分 (昼食休憩: 12時～13時30分)	(1.5時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	土井威志 (JAMSTEC, アプリケーションラボ, 主任研究員)	
Lecturer	Dr. DOI Takeshi (JAMSTEC Senior Researcher)	
研修内容	JAMSTEC では地球シミュレーター (ES) を用いて、ENSO 等の2年予報を実施している。ENSO や IOD 等の予報の仕組みや予報の実例・課題について講義する。	
Content	JAMTEC has been providing ENSO 2year forecast every month. Forecast system of ENSO/IOD as well as some forecast results are lectured.	
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	ENSO 予報の仕組みや、IOD 予報は ENSO に比べ容易でないことなどについて理解する。また、ENSO 予報等には改善の余地があることを理解する。	

研修科目	BMKG1 年見通しについて	
Title	Discussion on BMKG 1-year Outlook	
研修日	12月12日(月) 午後01時～1時30分	(1.5時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	土井威志 (JAMSTEC 主任研究員)	
Lecturer	Dr. DOI Takeshi (JAMSTEC Senior Researcher)	
研修内容	BMKG が開始した1年先までの気候見通しについて、研修生がその手法を紹介する。続いて、予報の改善に向けた課題について、講師と研修生が意見交換する。	
Content	1 year climate outlook by BMKG is reported by one of the participants and followed by exchange of opinions/questions among the lecturer and participants for improving it.	

研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	BMKG の 1 年季節見通しについて、今後の改善に必要となる課題と取り組み方について理解する。
----------------------	--

研修科目	地球シミュレーター見学	
Title	Visiting Earth Simulator	
研修日	12 月 12 日 (月) 午後 03 時～04 時	(1.05 時間)
形式 (講義/実習)	講義 (見学)	
講師	土井威志 (JAMSTEC 主任研究員)	
Lecturer	Dr. DOI Takeshi (JAMSTEC Senior Researcher)	
研修内容	JICA プロジェクトの温暖化予測情報のシミュレーションを行った地球シミュレーターを見学する。	
Content	Participants visit JAMSTEC Earth Simulator, which were used for global warming simulation at the present JICA project.	
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	現 JICA プロジェクトの温暖化予測情報の作成に利用されたスーパーコンピュータの性能について学ぶ。	

研修科目	気象庁研修の概要と東京気候センター (TCC) の紹介	
Title	Introduction: Outline and scope of the Training Seminar, and Introduction of the Tokyo Climate Center (TCC)	
研修日	12 月 13 日 (火) 午前 10 時～10 時 30 分	(1.5 時間)
形式 (講義/実習)	講義	
講師	高橋清利 (気象庁気候情報課 技術専門官)	
Lecturer	Mr. TAKAHASHI Kiyotoshi (Scientific officer, Climate Prediction Division (CPD) /JMA)	
研修内容	気象庁研修の概要と TCC (東京気候センター: WMO 第 2 地域の地域気候センター) の機能と活動について簡単に紹介する。	
Content	The outline of this seminar and various functions of TCC as RCC are introduced briefly.	
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	研修概要の理解と TCC の活動について学ぶ。	

研修科目	TCC の Web (ホームページ) と提供するツールの紹介	
Title	Lecture: TCC web content and tools	
研修日	12 月 13 日 (火) 午前 10 時 30 分～1 時 15 分	(0.75 時間)
形式 (講義/実習)	講義	
講師	澤田壮弘 (気候情報課 技官)	
Lecturer	Mr. SAWADA Morihiko, Forecaster, CPD, JMA	

研修内容	TCC ウェブサイトで利用できる気候情報や作成資料、解析ツールについて説明する。
Content	Climate information, products, and tools on the TCC website are introduced.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	TCC ウェブサイトから取得可能な資料・情報と利用できる解析ツールについて理解する。

研修科目	気象庁の季節予報業務の紹介
Title	Lecture: Introduction to Seasonal Forecasts
研修日	12月13日(火) 午前11時15分～12時 (0.75時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	名取洋晃(気候情報課 予報官)
Lecturer	Mr. NATORI Hiroaki, Forecaster, CPD, JMA
研修内容	気象庁における季節予報業務の概要を紹介する。
Content	Brief introduction on the practices and the climate dynamics for seasonal forecast by JMA.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	気象庁における季節予報業務の内容を理解する。

研修科目	ENSO 及び IOD の仕組みと予報について
Title	Lecture: ENSO and IOD
研修日	12月13日(火) 午後1時～2時 (1時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	榎田貴郁(気候情報課 異常気象情報センター所長)
Lecturer	Mr. UMEDA Takafumi, Head, Center for Information on Climate Extremes, CPD, JMA
研修内容	ENSO と IOD の発生機構と予測可能性について講義する。
Content	Occurrence mechanism and predictability of each of ENSO and IOD are explained.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	ENSO と IOD の発生の仕組みとその予測可能性について理解する。

研修科目	長期予報の利活用について
Title	Lecture: Effective use of Long-Range Forecast
研修日	12月13日(火) 午後2時～2時40分 (0.66時間)
形式(講義/実習)	講義
講師	及川義教(気候情報課 予報班長)
Lecturer	Mr. OIKAWA Yoshinori, Manager for mid- to long term forecast, CPD, JMA

研修内容	長期予測の見込みユーザーには、農業、商業、アパレルなどの業界がある。季節予測がこれらの産業の利益にどのように役立つか講義する。
Content	Among prospective users of long-range forecasts are industries including but not limited to agriculture, commerce and apparel. The topic discussed in this lecture is how seasonal forecasts can serve for the benefit of these industries.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	季節予報が社会経済活動にどのように利用されているか理解する。

研修科目	気候系の監視について	
Title	Lecture: Monitoring of Climate and Climate System	
研修日	12月13日(火)午後2時40分～3時30分	(0.83時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	佐藤均(気候情報課 予報官)	
Lecturer	Mr. SATO Hitoshi, Forecaster, CPD, JMA	
研修内容	TCC ウェブサイトの資料等並びに TCC の気候系監視活動について紹介する。	
Content	Products on the TCC website and activities at JMA for monitoring of climate and climate system are introduced briefly.	
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	気候系監視活動の意義と TCC ウェブで提供されるプロダクトについて理解する。	

研修科目	気候変化と将来予測、IPCC 第6次評価報告書 (AR6) について	
Title	Lecture: Climate Change Monitoring, Future Projections and Introduction to IPCC AR6	
研修日	12月13日(火)午後3時30分～4時30分	(1時間)
形式(講義/実習)	講義	
講師	若松俊哉(気候情報課 技官)	
Lecturer	Mr. WAKAMATSU Shunya, Scientific Officer, CPD, JMA	
研修内容	気候変化を監視すること及び気候の将来予測の重要性について解説するとともに、IPCC 第6次評価報告書 (AR6) について簡単に紹介する。	
Content	This Lecture explains the importance of climate change monitoring and future projection and also includes a brief introduction to IPCC AR6 reports.	

研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	気候変化と予測の重要性について理解するとともに、AR6 の概要について学ぶ。
----------------------	--

研修科目	iTacs (気候解析ツール) の紹介と実習 (基礎編)
Title	Exercise: Introduction and operation of iTacs (Basic)
研修日	12月14日(水) 午前10時~12時 (2時間)
形式(講義/実習)	実習
講師	山本孝佑(気候情報課 技官)
Lecturer	Mr. YAMAMOTO Kosuke, Scientific Officer, CPD, JMA
研修内容	iTacs を用いた気候解析の実習を通して、解析ツールの利用法を身に着けるとともに、気候系の仕組みの理解を深める。
Content	Purpose of this lecture is to deepen understanding of the climate system through learning the iTacs operation, which is a web application developed by TCC/JMA.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	iTacs の基礎的な利用方法を習得する。

研修科目	iTacs (気候解析ツール) の紹介と実習 (上級編)
Title	Exercise: Introduction and operation of iTacs (Advanced)
研修日	12月14日(水) 午後1時~3時30分 (2.5時間)
形式(講義/実習)	実習
講師	竹村和人(気候情報課 技術専門官)
Lecturer	Mr. TAKEMURA Kazuto, Scientific Officer, CPD, JMA
研修内容	iTacs のより高度な解析手法を、実例の解析を通して習得する。
Content	Purpose of this lecture is to deepen understanding of the climate system through learning the iTacs operation, which is a web application developed by TCC/JMA.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	iTacs のより高度の解析手法をみにつける。

研修科目	BMKG 研修員の調査活動の紹介と意見交換
Title	Presentation: Latest status on BMKG climate services (an open session to JMA staff members)
研修日	12月14日(水) 午後3時30分~4時30分 (1時間)
形式(講義/実習)	講義(報告と意見交換)

講師	気候情報課 季節/ENSO 予報や気候系監視専門官
Lecturer	Experts for seasonal forecast/ENSO forecast from CPD/JMA
研修内容	3名の研修員が JICA/BMKG プロジェクトで現在取り組んでいる調査活動について紹介する。続いて、気候情報課の職員(季節/ENSO 予報や気候系監視の専門家)からアドバイスを受ける。
Content	Brief introduction of the present study activity by the BMKG participants. That is followed by discussion and advice by JMA experts.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	JICA/BMKG 研修員の今後の調査活動に参考となる意見やアドバイスを取得する。

研修科目	気象庁の観測・予報現業室の見学
Title	Visiting Forecast Operation Room
研修日	12月14日(水)午後3時30分~4時30分 (1時間)
形式(講義/実習)	見学
講師	高橋清利(気象庁気候情報課 技術専門官)
Lecturer	Mr. TAKAHASHI Kiyotoshi, Scientific officer, CPD,JMA
研修内容	気象庁の観測・予報現業室を訪問して、業務実施の様子を見学する(見学に先立ち、気象庁の現業業務を紹介するビデオを鑑賞)。
Content	Visiting JMA operation room (Observation and forecasts) to learn daily operations of JMA after watching a video movie explaining JMA daily activities.
研修のねらい(講師が期待する研修到達度)	気象庁の観測・予報現業を訪問して、現業作業について学ぶ。

3.5.5 研修コースに対する所見

(1) 講義

今回の研修では、技術移転項目の①力学的ダウンスケーリング、②統計的ダウンスケーリング、③ジャカルタ周辺を対象とした都市化の影響を加味した温暖化予測、④インドネシア域における長期予報の改善、の4項目につき講義を行った。

このうち①については、気象研究所において、BMKGでの取り組み状況を発表するとともに、気候モデルによる地球温暖化予測の基礎、IPCC 第六次評価報告書の主要な結論、地球温暖化に伴うモンスーン及び水循環の変化についての講義が行われた。また講義の後には活発な質疑応答が行われた。

②については、農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センターにおいて、統計的ダウンスケーリング手法と気候モデル出力のバイアス補正についての講義を通じて、インドネシア地域の将来の降水量変化の評価手法を学んだ。講義では CMIP5 に登録された GCM を用いた結果に加え、新たに CMIP6-GCM の結果や、インドネシアの農業生産と大気海洋相互作用システムとの関連性について議論が行われた。

③については、筑波大学計算科学研究センター気候変動地球環境研究部門において、疑似温暖化手法を取り入れた力学的ダウンスケーリングについて講義が行われ、その一環として降水の日内変動についての評価結果が示された。

また、これらの予測結果を農業分野等での適応策立案に資するための国内政策の枠組みや予測情報の活用事例についての講義が行われた。

④については、長期予報には欠かせない大気海洋相互作用でありインドネシアの天候の変動に大きく ENSO と IOD について、JAMSTEC と JMA で解析・予報についての講義を受けた。JAMSTEC では ENSO 等の予測手法や 2 年先までの長期予報の実例について学び、加えて、BMKG が開始した 1 年予報（見通し）について、今後の改善に向けた討論を行い、研修生は貴重な知見とアドバイスを受けることができた。一方、気象庁の研修では、季節予報には欠かせない気候系の監視・解析技術・季節予報のオペレーションについて、講義を受けた。さらに、研修員は本プロジェクトで季節予報向上に向けた調査活動に取り組んできており、その成果をオープンセミナーの形で気候情報課職員に報告し、今後の調査進展に向けて様々なアドバイスを受けることができた。

(2) 実習・討論・発表

今回の研修においては、力学的ダウンスケーリング及び統計的ダウンスケーリングについて、BMKG における取り組みを講師に対してプレゼンテーションし、講師から適宜コメントを頂いた。また、それぞれの講義において研修生、講師双方から活発な質問が出されるなど闊達な議論が行われた。

季節予報の作業で欠くことのできない実況監視・解析作業について、気象庁の iTacs（気候系解析ツール）を用いた実習（基礎編と上級編）を丸 1 日かけて行い、解析・監視技術を習得した。実習に当たり、気候情報課の複数の職員がマンツーマンで指導に当たり、研修員全員が技術を習得できるように配慮した。

本研修で得られた成果については、各研修生が今後のアクティビティプランとしてとりまとめ、最終評価会において発表された。帰国後の BMKG 報告会においても共有されることとなっている。

(3) 見学

JAMSTEC では本プロジェクトの温暖化予測情報の計算に利用した地球シミュレーターの見学を行った。将来の詳細な気候変動予測には、このようなスーパーコンピュータの活用が不可欠であることを改めて理解した。また気象庁では、観測・予報の現業室を訪問して、実際の予報作業の様子を見学した。

(4) 研修期間・配列・内容

研修期間としては気候変動予測に 5 日間、季節予報に 3 日間を割り当て、アクションプランの

作成等も含めて二週間の研修とした。また研修生が各テーマに集中的に取り組むことができるよう、前半に気候変動の、後半に季節予報の講義を割り当てることとした。

(5) テキスト・機材・施設

研修資料については、可能な場合は事前に提供頂き、研修員に印刷物を配布した。これにより研修員は講義の内容についてその概要を事前に把握し研修に臨むことができた。また、講師のプレゼンテーション資料についてもファイルを提供頂き、事後に受講生に配布した。

(6) 到達目標における達成度

本研修の達成目標に対する達成度は以下のとおり。

【力学的ダウンスケーリング】

気象研究所において以下の目標を達成した。

- 気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングの基礎と解析方法を理解した。
- 気候変動に伴う水資源の変化予測及びモンスーンの変化予測並びに、IPCCAR6 に記載される、インドネシアについての予測結果を理解した。

【統計的ダウンスケーリング】

農業・食品産業技術総合研究機構において、統計的ダウンスケーリング技術の概要とバイアス補正手法について学ぶとともに、その農業分野への活用について理解した。

【都市化の影響を加味した地球温暖化予測】

筑波大学、計算科学研究センターにおいて、以下の目標を達成した。

- ジャカルタ周辺における、温暖化時に都市化の影響が局地循環及び短時間強雨に及ぼす影響について理解した。
- 擬似地球温暖化法を用いた力学的ダウンスケーリング手法について学ぶとともに、その結果のインドネシアにおける降水量の日内変動についての知見を得た。
- 地球温暖化時における対流の発達状況や気温変化の傾向に現れる変化について理解した。

【季節予報】

- JAMSTEC では、ENSO や IOD 等の予報可能性について理解した。また、BMKG 取り組んでいる 1 年予報の今後の向上に向けた課題を明確にすることができた。
- 気象庁の研修では気候系の監視・診断・予測に必要な情報を利用できることに加え、TCC が提供する解析ツール (iTacs) を用いて、自らが必要な情報・資料を解析する技術を習得することができた。
- 気象庁ではさらに、本プロジェクトで研修員が取り組んでいる調査課題のさらなる進展に向けてアドバイスを受けることができた。

3.5.6 研修員

(1) 資格要件

研修員は、地球温暖化予測情報をインドネシアの中期計画策定への提供及び季節予報業務を担務する実務担当者で、研修内容を帰国後業務に活用できる者六名とした。研修生名簿を添付資料 B として添付する。

(2) 研修参加への意欲

研修員はいずれも実務に当たっており、研修機関のデータを日常的に利用していること、英語によるコミュニケーション能力が十分であったことから、積極的に研修に参加できた。また、各研修員は各自の業務でのデータの評価についての発表も予め用意してきたことから、予測結果の具体的な利用について研修を行うことが出来た。

3.5.7 研修成果の活用

(1) 研修で得られた成果について

研修で得られた成果については、研修資料とともに研修員が BMKG に持ち帰り、帰国報告会を通じて BMKG 内で共有、活用する。また、各研究機関と人的なネットワークを構築できたことから、必要となるデータは引き続きメールなどを通じて情報交換を行いながら共有することとした。

(2) 成果の活用方法について

研修で得られた成果は、アクションプランとして各研修生が最終評価会で発表を行った。アクションプランでは、これまで実施してきた活動、今次研修で学んだこと、研修成果を短期的に業務にどう活用するか、また長期的に BMKG の業務にどう使われるべきかとの観点からまとめた。同じ内容で帰国後の報告会（予定）でも発表される予定である。

3.5.8 その他特記事項

研修員が気象庁の大気防災監視部を表敬訪問して、懇談する機会をいただいた。研修員から気象庁での研修について謝意が述べられた。気象防災監視部からは、今後も協力して気象サービスの拡充に取り組むことや今後の研修員の活躍に期待する旨、激励があった。研修員にとって、短時間であるが、大いに元気づけられる出会いとなった。

4. 上位目標達成のための提言

「気候変動対策能力強化プロジェクトフェーズ2」の【上位目標】は、「低炭素型開発およびグリーン経済開発を支援するため、インドネシア国の国家開発計画において気候変動が適切に促進・主流化される。」であり、【プロジェクト目標】は、「気候変動対策のサイクル（政策評価、枠組構築、プロセス・手段の策定、計画、実施、モニタリング、評価）のための主要省庁および地方政府の能力が強化される。」である。

本プロジェクトでは、気候変動対策のインプットにあたる、気候変動および長期予報を担当する BMKG の能力強化が目標となっている。

C/P である BMKG は、インドネシアの気象・地象・海象に係る観測・予報・警報を提供する責任官庁であり、気候変動部は、中長期予報（おおむね 1 週間先の予報から季節予報）・気候変動に関する情報提供を統括する部署で、気候変動対策のインプットにあたる、気候変動および長期予報情報提供の重要なプロバイダーとなっている。

直接の C/P 部署となる BMKG 気候センターは、Climate Projection と Climate variability の 2 つのセクションに分かれ、前者は数年～数十年の気候変動を、後者は 10 日～2 年の長期予測を担当している。上位目標「国家計画における気候変動の主流化」を達成するため、「気候変動」「長期予報」に係る以下を提言する。

「気候変動」については、力学的ダウンスケーリング（Downscaling : DS）について活動をとおして知見の共有と、ソフトウェア（NHRCM,WRF）の共有がなされ、特定領域（例えばジャワ島西部）であれば一定期間（数年）の力学的 DS を行うことができる HPC も、本プロジェクトをとおして導入された。また、統計的 DS については、月単位であれば、ある程度の精度を持って DS を行える統計的 DS ツールが共有され、活動をとおして、複数の GCM データを統計的に DS することができるようになった。気候変動モデルはおよそ 5 年の間隔でモデル計算値が更新され、現時点の最新版は CMIP6 となる。

BMKG では、今後、CMIP6 データを用いた DS を行い、これらを提供していくことを求められる。今回のプロジェクトにより移転された技術と BMKG の持つコンピューター能力から、効果的な取り組み方法は、以下となる。

- NASA の web サイトなどで公開されている CMIP6 モデルデータを統計 DS を行い、其々の要素についてエリア・季節の気候変動特性を把握する。
- インドネシアの関係省庁および地方自治体と気候変動データの提供・利用に関するニーズ調査を行う中で、気候変動が与えるインパクトを把握する
- 将来大きく変動する気候要素、インパクトの大きな要素に対し、特定のエリア、期間に絞った力学的 DS を実施する。

本プロジェクトで実施したようなインドネシア全域にわたる高解像度の力学的 DS は、日本などの大型計算機資源の利用や CORDEX などの国際的な取り組みが必要であり、これらの取り組みを効果的にするためにも、上述のアプローチで、本プロジェクトの資産をベースに、気候変動に関する取り組みを、継続していくことが望まれる。

なお、成果 1c では筑波大学と連携して共同研究を行ったが、今後、本邦の研究機関と連携して活動を行っていくことは、BMKG にとって有効な技術習得の場になると考えられる。インドネ

シアではカリマンタンへの首都移転計画もあり、気候変動と人為的な地形改変による影響評価は、BMKG にとっても重要な課題である。そのため、SATREPS などの取り組みをとおして、共同で観測・分析・研究を行う方向は、本邦の研究者にとっても、良質の研究テーマである。今回の人的交流の資産を生かして、先端研究者のアドバイスを受けながら取り組みを進めることも重要である。

「長期予報」については、BMKG が抱える課題に対し複数の取り組みがなされ、本邦気象庁の「i-Tacs」を用いた現況把握、S2S 予報、ENSO 予報を利用した 1 年予報など、長期予報へ対応するための試験的な取り組みを行うことができた。BMKG は JMA とも継続的に連携をとっており、本プロジェクトでさらに強化されたこの枠組みを利用して取り組みを継続することが必要である。MJO が卓越しある程度予報精度が期待できる S2S 予報に関しては、同分野をリードしている研究機関と連携し取り組むことで、成果が上がることを期待される。いずれの視点でも、常に海外の研究者・研究機関と情報交換を行い協力しながら情報の改善に取り組むことが重要である。

上述の内容をとりまとめた概略図を図 102 に示した。

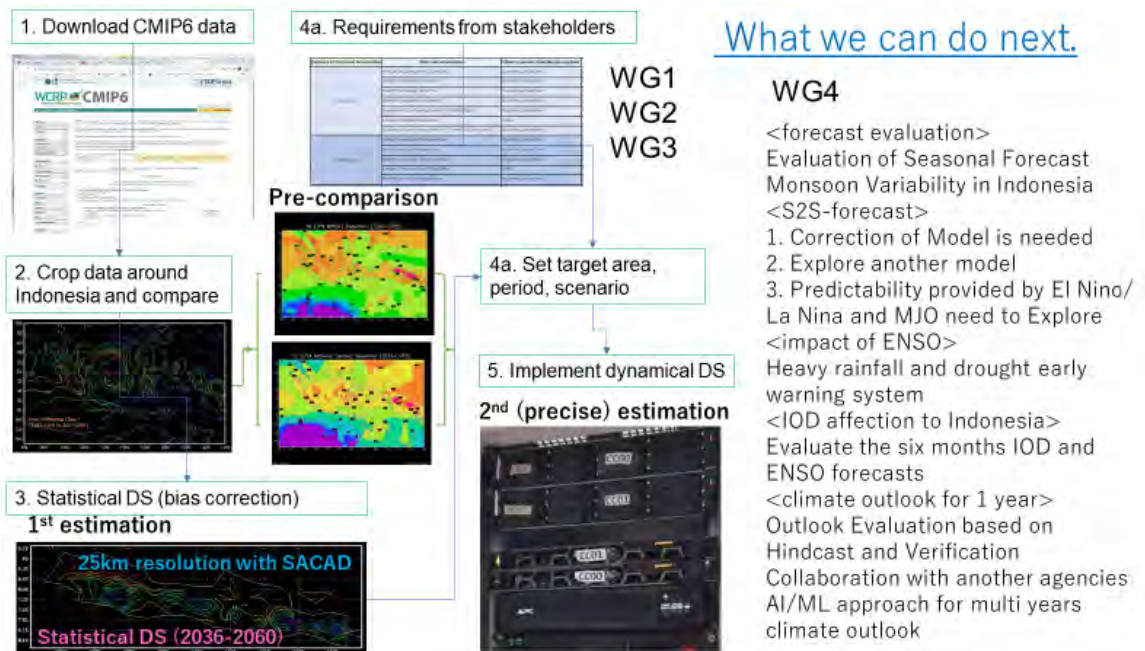


図 102 気候変動データ DS の方向性（上位目標の達成のために）

5. 業務実施運営上の課題・工夫・教訓

BMKG は気候変動データ分析に係る技術力を有し、フェーズ 1 およびフェーズ 2 を通じて実施した気候モデルダウンスケーリングに係る分析・改善能力強化等を通じて、地道なデータ収集・評価、リスクデータとしての長期予報の精度評価及び高解像度の気候変動データの改善について、チームとして着実に取り組み、一定の成果を上げてきた。一方で、BMKG の能力向上に伴い、BAPPENAS や地方政府等の関係機関から要請されるデータの解像度、種類（気温の平均値や降水量値などでなく大雨の頻度などのインデックス型データ）、複数のシナリオ、複数の全球気候モデルなど、関係政府機関の各種計画・施策の策定等に活用するためのデータの要望が多様化しており、これに対応するには、BMKG のさらなる能力強化が必要となる。この能力強化には、① 高度な技術課題に対応可能な専門性を有する BMKG 職員を育成すること、② 計算機資源の共有、③ インドネシア国内外の最先端の研究者との連携などが、必要となってくる。

本業務では、これらの課題に対応し、本業務終了後も BMKG が自律的に対応していけるよう工夫を行った。①について、課題ごとに WG を設定し、各 WG のコアメンバーに対して技術移転を行い、このコアメンバーが WG 全体に情報・知見をシェアし、WG として課題に取り組むこととした。この WG を通じた活動により、成果 1b の統計的ダウンスケーリングに係る技術移転、WG メンバーによる統計的ダウンスケーリングの取り組みが、比較的スムーズに実施できた。一方、成果 1a の力学的ダウンスケーリングおよび 1c の局所的ダウンスケーリングは、新型コロナウイルス感染拡大の影響による渡航制限で本邦研修が本業務の最終年度まで実施できず、また、これらの課題に対応するために必要となる技術レベルがかなり高度であったためオンライン会議システム等を通じたリモート活動主体では実施が非常に難しく、高度な技術的対応はほぼ日本側が実施することとなった。成果 2 の長期予報については、本邦気象庁のシステムやデータを有効に使うことで、データ準備などになるべく時間をかけずに、各課題そのものに早い段階から取り組むことで、一定の成果を上げることができた。

②について、成果 1a の力学的ダウンスケーリングでは JAMSTEC の地球シミュレーター、成果 1c では筑波大学の高性能コンピューターを利用することで対応した。③については、成果 1a では気象庁気象研究所、成果 1b では NARO、成果 1c では筑波大学、成果 2 では本邦気象庁の研究者と連携することで対応した。これらの日本側研究者・機関とのネットワークは、フェーズ 2 終了後も持続し、BMKG の気候変動データの改善等の取り組みの実施促進に寄与すると考える。

BMKG はチームとして課題に取り組むことに慣れており、必要となるデータ、手順などを明確にし、課題をチームで実施できるレベルにブレイクダウンすると、良い成果を上げることができる。一方、今後、BAPPENAS 等の関係機関からの要請がますます多様化・高度化する場合に、それに対応する高度な技術を有する人材を育成していくことが不可欠である。このことから、前章で記載したように、本邦の大学などの研究機関、あるいは、気象庁とより連携を強化し、可能であれば、留学・共同研究などで高度な能力を有する人材育成を強化し、その高度な能力を有する人材が BMKG が対処する課題を紐解き BMKG が課題ごとにグループで取り組んでいくことで乗り越えていくという対応が今後さらに必要と考える。

フェーズ 1 およびフェーズ 2 をとおして構築された BMKG と本邦専門家・研究者との人的ネ

ネットワークは強固で、オンライン会議システム等を通じたりリモートでの活動でも一定の成果を上げられるレベルに達している。BMKG が関係機関から要請される気候変動データを用意することは、これらのネットワークを利用することで対応可能であり、インドネシア国内外の研究機関への派遣等の人的交流チャンネルを維持することでこれらの研究機関からの継続的なサポートを維持していく必要がある。

上位目標達成のため「気候変動データ利用者のニーズを把握し、アセスメントなど支援する取り組み」は、新型コロナウイルス感染拡大の影響で本業務の現地活動が実質最後の1年しか実施できなかったことから、パイロットエリアでの活動は実施できたが、広く BMKG の地方職員を取り込んで展開するところまでは至らなかった。

気候変動データを利用し気候変動適応策の検討・策定・実施に貢献していくためには、BMKG の情報発信、外部利用者が必要とする形式への気候情報・データの加工能力を高める必要がある。さらに、BMKG が持っているこれらの情報を公開する方向から、利用者のニーズをまず把握し、それに合わせた情報・データを作成するというプロセスの転換が必要となる。

BMKG では、Field-climate-school の取り組みで州・県等の地方政府との共同事業を実施しているベースがあり、国レベルだけではなく、地方レベルのニーズを把握し、地方における適応策等の取り組みの検討・策定に貢献するためのデータの利活用を進めるうえで、これまでの地方政府との共同事業の取り組み経験は有効である。また、本業務で作成した気候情報・データ公開のために再構築した CCIS サーバーなどのツールの活用は、国地方レベルでの気候情報・データ利用を円滑に進めるうえで有効である。国・地方レベルからの多様かつ高度な気候情報・データ提供の要請への対応は、インドネシアにおける気候変動の取り組みを進めるうえで根幹となることから、データの円滑な提供・利活用の促進は今後一層重要となる。

付属資料

- A) 専門家投入計画、実績
- B) NHRCM 利用許諾書
- C) CCIS 再委託契約書、報告書
- D) MRI 研究報告資料 (成果 1a)
- E) 西森博士学会発表資料 (成果 1b)
- F) オープンセミナー資料 (成果 1c)
- G) 長期予報分野別報告 (成果 2)

共有データ一覧

[力学的ダウンスケーリングデータ]

現在 : 1981-2000 年

近未来 : 2034-2058 年

将来 : 2079-2098 年

GCM : RCP: 8.5 (CMIP5)

Original model: MRI-AGCM3

DS model: NHRCM

「日データ」

領域 : (-12.26,93.75)-(7.22,144.15)

グリッド数 : X=1081, Y=421

解像度 : x=0.0464deg, y=0.0467deg.

要素 : 地表面、Tmean, Precipitation, average U and V of wind (TRUV file), Tmax, Tmin (Tmax_min file), Relative humidity (Humid file)

「月データ」

領域 : (-12.26,93.75)-(7.22,144.15)

グリッド数 : X=1081, Y=421

解像度 : x=0.0464deg, y=0.0467deg.

要素 : 地表面、Tmean, Precipitation, average U and V of wind (TRUV file), Tmax, Tmin (Tmax_min file), Relative humidity (Humid file)

「1 時間値」

領域 : (-12.26,93.75)-(7.22,144.15)

グリッド数 : X=1081, Y=421

解像度 : x=0.0464deg, y=0.0467deg.

要素 : 地表面、Precipitation, U and V of wind, temperature, T-Td, solar radiation, radiation upward and downward

「オリジナルデータ」

全層データ、1時間ごと

要素：sunshine duration, pressure, mixing ratio, updraft, downdraft, cloud ration, shortwave radiation, longwave radiation, etc

[統計的ダウンスケーリングデータ]

「MRI-CGCM」

Hindcast：1961-2005年

Projection：2006-2100年

RCP scenario：2.6, 4.5, 6.0, 8.5年

領域：(-15.14,90.0)-(10.65,150.75)

メッシュ数：X=55, Y=24

解像度：x,y=1.125deg

間隔：1 month, 1day

要素：地表面、Tmax, Tmin, Precipitation, average wind speed, humidity

「d4PDF」

Hindcast：1991-2010年

2K-projection：2031-2060年

4K-projection：2071-2100年

GCM：CC, GF, HA, MI, MP, MR

Member：9(2K), 15(4K) for each GCM

100 (hindcast)

領域：(-15.44,90.0)-(10.95,150.75)

メッシュ数：X=109, Y=48

解像度：x,y=0.5625deg

間隔：1 month

要素：地表面、Tmean, precipitation, average wind speed, humidity

「SYNOP」

間隔：1 day

要素：Tmax, Tmin, precipitation

期間：1981-2020

「SACAD」

間隔：1 month

解像度：25km

要素：Tmax, Tmin, precipitation

期間：1981-2010

Assignment Plan/ Assignment Record (Original)

Project title: 'The Project of Capacity Development for the Implementation of Climate Change Strategies Phase 2 - Capacity Building on Long-Term Climate Change Projections' (Activity on site)

Name	expertise	term	travel	Contract period												days of assign	M/M									
				2020						2021								2022								
1	statistical downscaling	Plan Record	10 2	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	79	2.63
2	Climate projection	Plan Record	11 3																						143	4.77
3	dynamical downscaling	Plan Record	11 3																						119	3.97
				ramadan(4/13-5/122)												341	11.37									

[Activity in Japan]

Name	expertise	term	travel	Contract period												days of assign	M/M									
				2020						2021								2022								
1	statistical downscaling	Plan Record	10 2	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	36	1.80
2	Climate projection	Plan Record	11 3																						9	0.45
3	dynamical downscaling	Plan Record	11 3																						44	2.20
				Training in Japan (Tsukuba Univ.)												89	4.45									
				Training in Japan (Adaptation)																						

Remarks: Assignment Plan (Gray)
Assignment Record (black)
Company's burden (diagonal line)

430	15.62
-----	-------

Assignment Plan/ Assignment Record (Achievement)

Project title: 'The Project of Capacity Development for the Implementation of Climate Change Strategies Phase 2 - Capacity Building on Long-Term Climate Change Projections'

Supervising staff

End of current contract

Name	expertise	item	2020				2021				2022				2023				Planned days total	Contract extension			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
Tonouchi Michihiko	Chief of Operations / Statistical Downscaling	plan	0	1	1	2	12	16	18	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	41.0	1.37
		record	0	1	1	2																	39.0
Kouchi Kurihara	Climate change prediction/long-term forecast	plan	0	1	2	3	28	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	91.0	3.00
		record	0	1	1	2																	56.0
Masaru Chiba	dynamical downscaling	plan	0	0	1	1					28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	56.0	1.87
		record	0	0	2	2																	56.0
Hiroshi Satoda	dynamical downscaling 2	plan	0	0	1	1					28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	32.0	1.07
		record	0	0	1	1																13.0	0.43
	Travel plan		0	2	4	7																220.0	7.34
	dynamical downscaling		0	2	5	7																198.0	6.60

Remaining: 4/25/17/17

Assignment Record (Achievement)

Name	expertise	item	2020				2021				2022				2023				Planned days total	Contract extension			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
Tonouchi Michihiko	Chief of Operations / Statistical Downscaling	plan	0	1	1	2	12	16	18	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	71.0	3.55
		record	0	1	1	2																	71.0
Kouchi Kurihara	Climate projection	plan	0	1	2	3	28	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	84.0	4.20
		record	0	1	1	2																	83.5
Masaru Chiba	dynamical downscaling	plan	0	0	1	1					28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	96.0	4.80
		record	0	0	2	2																	96.0
Hiroshi Satoda	dynamical downscaling 2	plan	0	0	1	1					28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	78.0	3.90
		record	0	0	1	1																	87.5
	Travel plan		0	2	4	7																329.0	16.45
	dynamical downscaling		0	2	5	7																338.0	16.91

Remarks: Assignment Plan (Gray)
 Assignment Record (black)
 Company's burden (diagonal)



Meteorological Research Institute
1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052, Japan
Phone +81-29-853-8716
Fax +81-29-853-8545

2 September 2022

Dr. Dodo Gunawan
Director, Center for Climate Change Information
Agency for Meteorology Climatology and Geophysics
(BMKG)
The Republic of Indonesia

Dear Dr. Gunawan,

I refer to your letter dated 1 August 2022 seeking permission to use the Non-Hydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) developed by the Meteorological Research Institute (MRI) of the Japan Meteorological Agency (JMA). I am pleased to inform you of approval for the group users mentioned in the letter to use the NHRCM for the purposes and under the terms and conditions described in the letter. The contact person at the MRI for this matter is as follows:

Dr. Akihiko Murata
Department of Applied Meteorology Research
Phone: +81 29 853 8732
E-mail: amurata@mri-jma.go.jp

I sincerely hope that the NHRCM will contribute to the success of the research project on regional climate downscaling in Indonesia.

Yours sincerely,

Mr. Takayuki Matsumura

Director-General
Meteorological Research Institute
Japan Meteorological Agency

Contract Agreement
between
Japan Meteorological Business Support Center (JMBSC)
and
PT MANDIRI CReASINDO
on
Development of Climate Change Information System (CCIS)
for
Project of Capacity Development for Implementation of
Climate Change Strategies in Indonesia Phase 2 –
Capacity Development for Climate Change Projection

22nd January 2023

CONTRACT AGREEMENT

This CONTRACT AGREEMENT (hereinafter referred to as "Agreement") is entered into on the date signed by and between:

Japan Meteorological Business Support Center, a corporation organized and existing under the laws of the Japan having its registered office at 3-17 Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054 Japan (hereinafter referred to as "JMBSC")

and

PT MANDIRI CReASINDO, a company organized and existing under the laws of Republic of Indonesia having its registered office at Jl. Kalasan No.1, Menteng Jakarta Pusat 10320 DKI Jakarta Indonesia (hereinafter referred to as "Subcontractor")

RECITALS

WHEREAS, JMBSC has entered into this Agreement on the "Development of Climate Change Information System for the Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies in Indonesia Phase 2 – Capacity Development for Climate Change Projection"

and

WHEREAS, the Subcontractor has agreed to perform its obligations as specified in this Agreement.

NOW, THEREFORE, in consideration of the mutual representations, warranties, promises, covenants, and agreements set forth herein, the receipt and sufficiency of which is hereby acknowledged, each of JMBSC and the Subcontractor agrees as follows:

SECTION 1 INCLUSIONS

1.1 "Agreement" means this Agreement together with the Appendices; all of which constitute and shall be read and construed as, the entire agreement with respect to the subject matter contained herein. The Appendices shall be as follows:

SECTION 2 SCOPE OF WORKS

2.1 The Subcontractor shall fulfill the development items as follows:

2.1.1 The development items include "Design", "Prototyping", "Initial development" and "Installation" for stable and functional software of the Climate Change Information System (hereinafter referred to as "CCIS") running on the components operationally.

2.2 The Subcontractor shall submit documents related to the CCIS and lectures necessary for its operation and maintenance.



2.3 All development works shall be performed in compliance with the specification shown in Appendix 1 of this Agreement.

2.4 All development works, submission of documents, and lectures for operation and maintenance shall be completed by 31st March 2023.

SECTION 3 QUOTATION AND PAYMENT CONDITION

3.1 JMBSC shall pay a down payment and a completion payment based on the Quotation shown in Appendix 2 of this Agreement to the Subcontractor.

3.2 The down payment and the completion payment are 50% of the total costs in the Quotation shown in Appendix 2, respectively. The down payment procedure shall be done based on the invoice based on the agreement of this contract, and the completion of payment shall be done based on the invoice with inspection reports authorized by JMBSC on the acceptance test for the CCIS development.

3.3 All expenses, taxes, delivery, and workers' accommodation fees shall be contained in the Quotation and shall not be separately charged to JMBSC.

3.4 All payments by JMBSC shall be payable upon issuance of Invoice from the Subcontractor.

3.5 The Subcontractor shall issue a receipt addressed to JMBSC on the reception of the payment.

SECTION 4 DISPUTE RESOLUTION

4.1 Any modification of this Agreement shall be subject to the written consent of both JMBSC and the Subcontractor.

4.2 JMBSC and the Subcontractor agree to make the best effort to solve amicably any dispute, controversy, or difference arising out of, in connection with, or resulting from this Agreement.




IN WITNESS WHEREOF, JMBSC and the Subcontractor have caused this Agreement to be signed and delivered by their respective duly authorized representatives as of the date first above written.

Japan Meteorological Business Support Center (JMBSC)


By : 
Name : Michihiko Tonouchi
Title : Project Manager
Email : tono@jmbsec.or.jp
Date : 22/Jan./2023

PT MANDIRI CReASINDO

By : 
Name : Irman Irawan, S.Si
Title : Director
Email : irman@mcreasindo.com, irmanirawan@gmail.com
Date : 22 - January- 2023

[Witness]

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)

By : 
Name : Kadarsah
Title : Coordinator for Climate Change Analysis
Email : kadarsah@bmgk.go.id, kadarsah@gmail.com
Date : 22 January 2023



Specification of

Development of Climate Change Information System for the Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies in Indonesia Phase 2 – Capacity Development for Climate Change Projection”

In accordance with the Terms of Reference that we observe that:

Basic Data Used

The Meteorology, Climatology and Geophysics Agency has the following duties: to carry out government duties in the fields of Meteorology, Climatology, Air Quality and Geophysics in accordance with the provisions of the applicable laws and regulations. In order to provide information on climate change that can be used by experts to analyze climate change comprehensively.

Technical Standards

The technical standards for the climate change system information system are following:

- a. Application models : *Web-based*
- b. Programming language:
 - Front-end : codeigniter
 - Back-end : codeigniter
- c. Database : Mysql
- d. Access rights: - Administrator, - Users
- e. User: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

Scope of work

Scope of work Development of climate change system information system, namely:

1. Collecting Data
Is a stage in collecting climatological data needed to make normal data for Indonesia
2. Quality Control
Is the stage in carrying out quality control of the data that will be used to create normal Indonesian data so that the data to be generated is valid
3. Normal Data Creation
This is the stage for making normal data for Indonesia



Japan Meteorological Business Support Center (JMBSC)
3-17 Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054 Japan

4. Ingesting Data
Is the stage of entering normal data into the RDMS system
5. Development of a Front End climate change system information system
6. Development of Back End climate change system information system
7. Climate Projection Data Sharing Module (Downscaled data from JICA-BMKG project)
8. The system will be created on the Dev Server
9. Migration from Dev Server to Live server

Modules

Making the modules as follows:

Backend

- A. Backend User Registration Module
- B. Backend User Login Module
- C. Dashboard Module
 - ✓ Provides a summary feature of the number of annual users in the last 5 years
 - ✓ Provides a summary feature of the number of monthly users in the current year
 - ✓ Provides a summary feature of the number of users by category
 - ✓ Provides display in graphical / tabular form
 - ✓ Provides export facility to png
- D. Backend user data input module

Frontend

- E. Frontend climatology data visualization module
- F. Frontend User Registration Module
- G. Climate Projection Data Sharing to registered users
- H. Frontend User Login Module
 - ✓ Provide login for user

Training

- Provide front-end operational training with a minimum of 10 participants for 2 days
- Back-end training with a minimum of 10 participants for 2 days
- Training is held offline at the BMKG Office or at a place provided by the BMKG



Japan Meteorological Business Support Center (JMBSC)
3-17 Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054 Japan

Appendix 2

Quotation

No	Work item	Cost (Rp)
1	OS on New Server Installation	1.000.000
2	Webserver Installation	1.000.000
3	Configuration Webserver	1.000.000
4	MySQL DB Installation	1.000.000
5	Configuration of MySQL DB	1.000.000
6	Installation of MAP For Web Server	1.000.000
7	Configuration of MAP For Web Server	1.000.000
8	Installation of FTP server	1.000.000
9	Installation of Remote Application	1.000.000
10	Collecting Data to Create Normal Data	1.000.000
11	Create Normal Data	10.000.000
12	QC Normal Data	10.000.000
13	Ingesting Normal Data into DB On Live Server	10.000.000
14	Developing Website on Dev server	70.000.000
15	Migration To Operational Server	20.000.000
16	Testing and Debugging New Web on Operational Server	14.000.000
17	Sharing Knowledge	6.000.000
18	Operational Laptops to support the CCIS Server - 2 units ASUS RoG flow Z13	50.000.000
	Total	200.000.000

FINAL REPORT

Development of Climate Change Information System (CCIS) for

Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies in Indonesia Phase 2 – Capacity Development for Climate Change Projection



31st March 2023



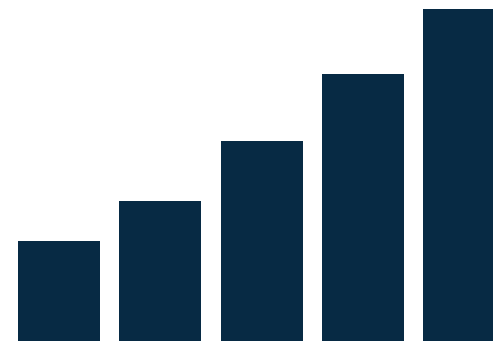
Table Of Content

Introduction

CCIS Web

Training

Work Schedule



INTRODUCTION

The Meteorology, Climatology and Geophysics Agency has the following duties: to carry out government duties in the fields of Meteorology, Climatology, Air Quality and Geophysics in accordance with the provisions of the applicable laws and regulations. In order to provide information on climate change that can be used by experts to analyze climate change comprehensively.

The Climate Change Information System or Climate Change Information Services (CCIS) is a central gateway to climate change information developed by BMKG Climate Change Information Center. These services support coping policies and adaptation of various sectors affected by Climate Change. The development of CCIS is the results from JICA and BMKG cooperation within Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies in Indonesia Phase 2 – Capacity Development for Climate Change Projection.

CCIS system that has been developed is using web-based form to disseminate information related to Climate Change particularly information regarding extreme values, whether present condition, near future projection, and future projection.



CCIS Web

1. MODULES BACKEND

A. Backend User Registration Module

This module function is to add new user, because the system restricted only registered user can view and download the data.

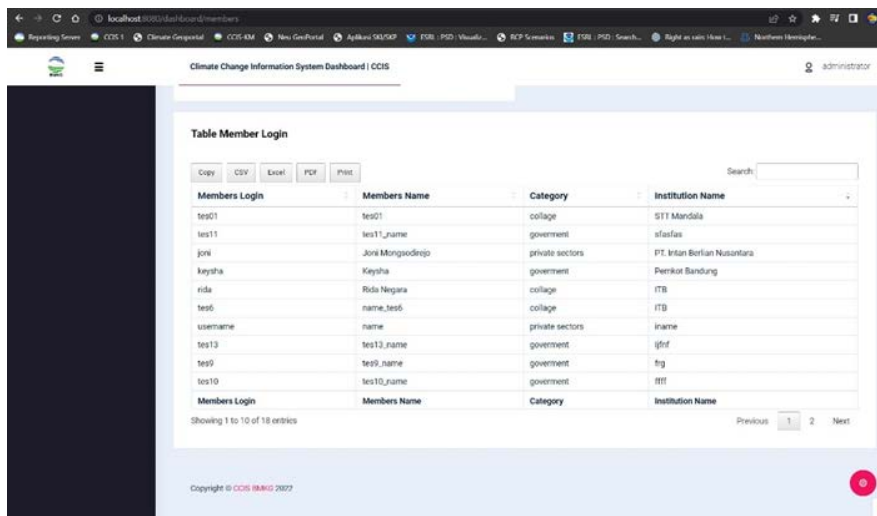


Figure 1. Backend User Registration form

B. Backend User Login Module

This module has function to login in the CCIS web and use all the function within the web.

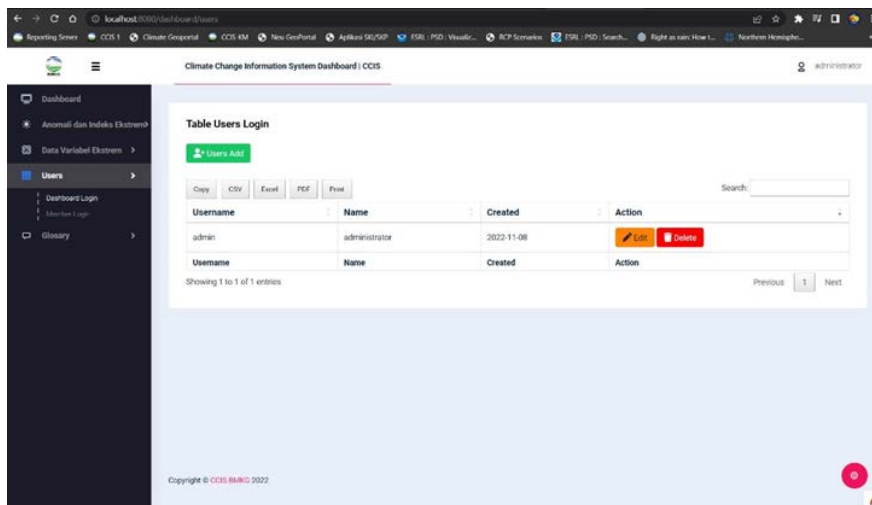


Figure 2. Backend user login module

CCIS Web

1. MODULES BACKEND

C. Dashboard Module

a. Provides a summary feature of the number of annual users in the last 5 years

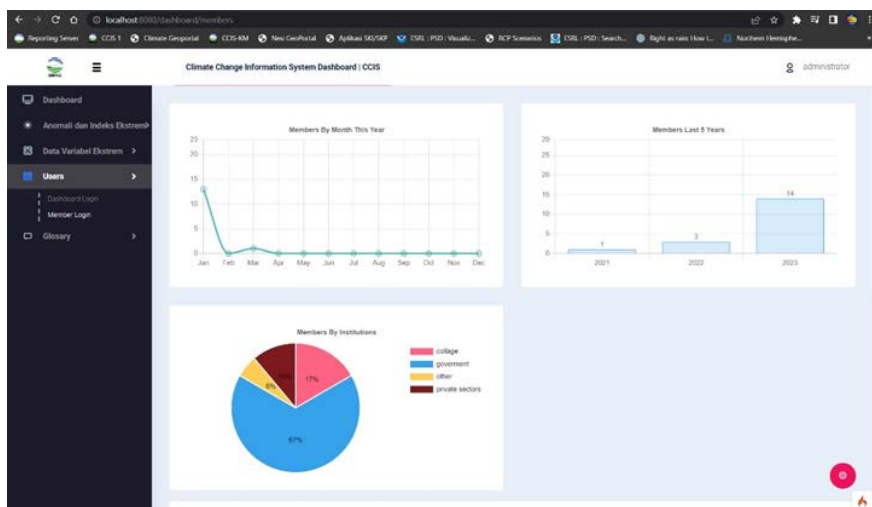


Figure 3. Summary in yellow box

b. Provides a summary feature of the number of monthly users in the current year

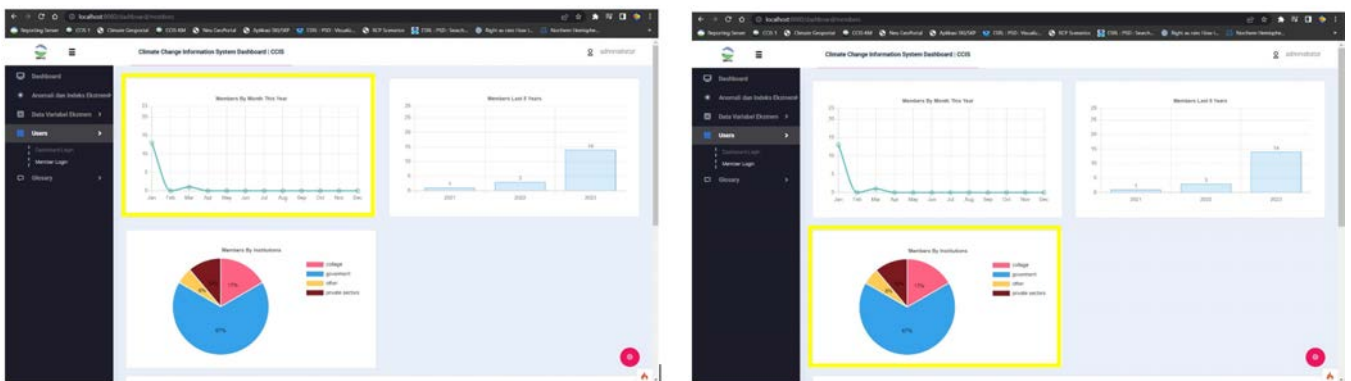


Figure 4. Summary in yellow box

CCIS Web

1. MODULES BACKEND

C. Dashboard Module

c. Provides display in graphical / tabular form

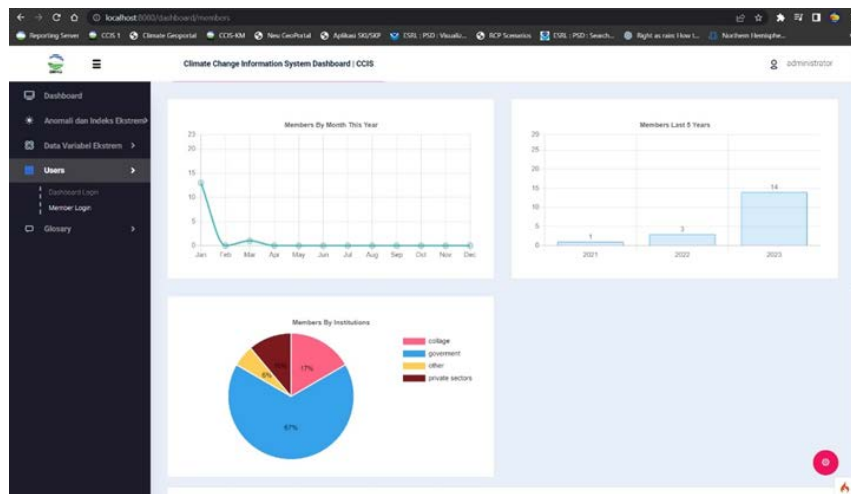


Figure 5. Display in graphical and tabular

d. Provides export facility to png

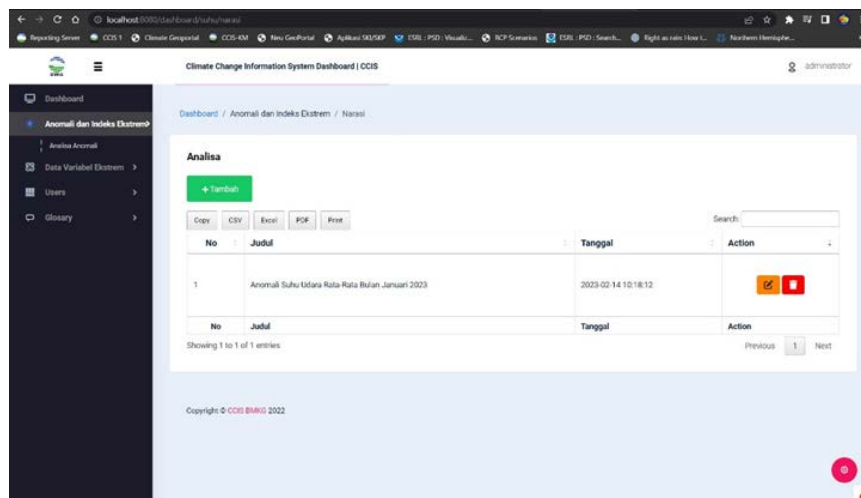


Figure 6. Export Facility

CCIS Web

1. MODULES BACKEND

D. Backend User Data Input Module

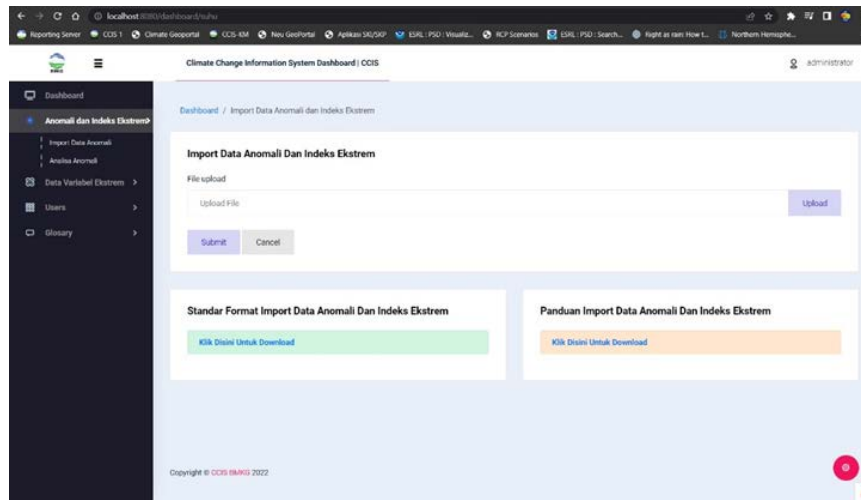
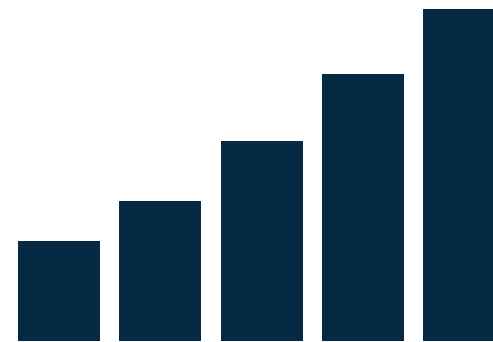


Figure 7. User Data Input



CCIS Web

2. MODULES FRONTEND

A. Frontend Climatology Data Visualization Module

There are four (4) main module in the CCIS web, which are: Anomali dan Indeks Ekstrim, Variabel Ekstrim, Data Proyeksi Iklim, and Glossary

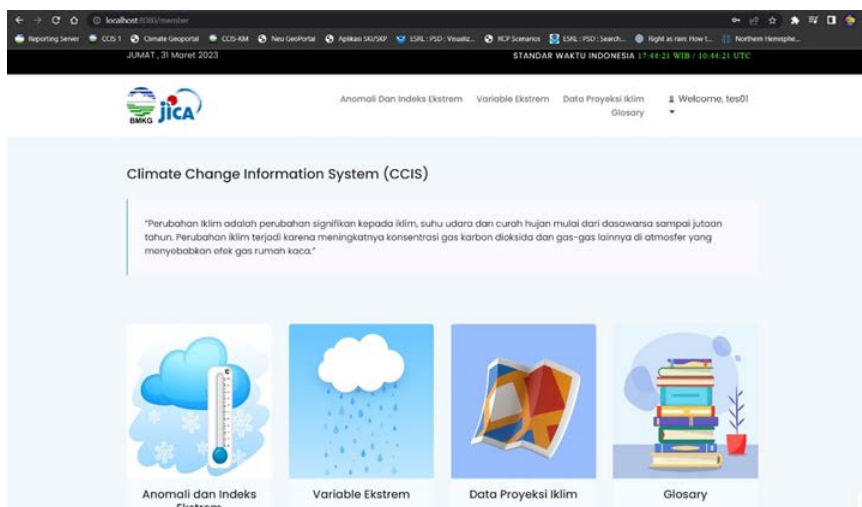


Figure 8. CCIS main page and its modules

B. Frontend User Registration Module

A screenshot of the 'Register New Member' form. The form is titled 'Register New Member' and contains the following fields: 'Username', 'Password', 'Name', 'Government' (a dropdown menu), and 'Institutions Name'. Below the fields is a blue 'Register' button. At the bottom of the form, there is a link that says 'Already a member? Login'.

Figure 9. User registration form

CCIS Web

2. MODULES FRONTEND

C. Climate Projection Data Sharing to Registered Users

This module is consist of projection data, user can create a map based on extreme variables projection and save the map into image.

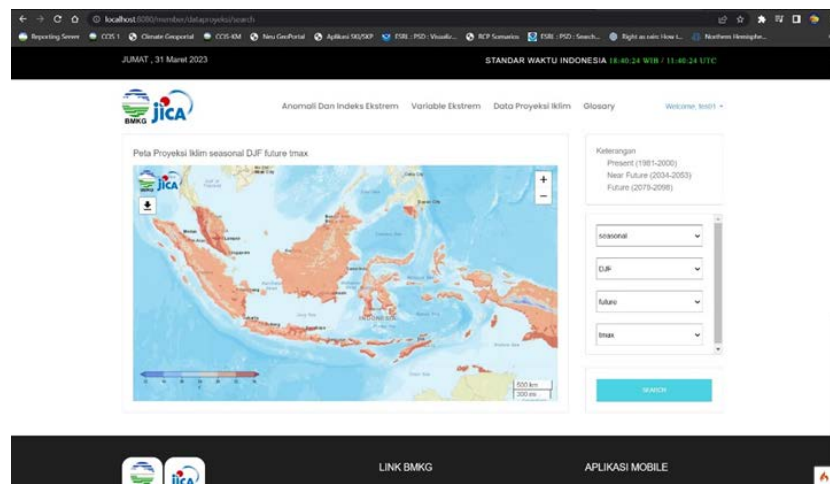


Figure 10. Projectin data sharing module

D. Frontend User Login Module

The screenshot shows a clean, minimalist login form. At the top center is a "Sign In" header with a user icon. Below it are two input fields: "Username" and "Password". A prominent blue "Login" button is positioned below the password field. At the bottom of the form, there is a link that says "Not a member? Create an account".

Figure 11. Login Form for registered user



Training

- Provide front-end operational training with a minimum of 10 participants for 2 days
- Back-end training with a minimum of 10 participants for 2 days
- Training is held offline at the BMKG HQ Office in Jakarta.



Laptop Used For Developing

To develop the CCIS web, highperformance PC or laptops are needed. In this case, the development of CCIS web is using high performance laptop.



Figure 12. Laptop used to developed CCIS



Work Schedule

This project is completed in accordance with the time line of work schedule.

No	Activity	month		
		1	2	3
1	Website/Portal implementation (coding).	■	■	
2	Website/Portal Installation	■	■	
3	Test Website/Portal			■
4	Training			■

Table 1. Project time line

e. 令和2年度研究成果

1. Non-Hydrostatic Regional Climate Model (MRI-NHRCM) Simulation of Near and Far Future Precipitation and Temperature over Indonesia

Ganesha Chandrasa
BMKG, Indonesia

1.1. Introduction

Indonesia, located in the tropical maritime continent, is one of the most vulnerable countries to climate-related disasters. There is also a potential for high economic loss from climate risk in the future, concerning the impact of global climate change. Low to middle-class economy is especially exposed to the danger, specifically those who live in areas with hazards of drought, flood, landslide, and coastal inundation. Such events will bring a negative impact on economic growth by disturbing climate-sensitive sectors such as agriculture and fisheries as well as increasing the risk of disaster for other prone sectors. In this case, rainfall, in particular, is a parameter that interacts with many living sectors of the population and much of the effort on weather and climate prediction and analysis in Indonesia is focused on precipitation and its related information.

The maritime continent area is a region comprised of a densely populated chain of islands of various sizes. Among its unique features is the large influence exerted by islands on local atmospheric dynamics. The sea surrounding the islands plays an important role in the regional ocean-atmosphere interaction, so that short to long-term atmosphere and climate conditions are highly dependent on the state of the sea. The spatial variability of rainfall in the Indonesian islands is highly heterogeneous, mainly due to the diurnal cycle of convection which occurs between the inland mountain and flat coastal areas, that is caused by different properties of heat reserve between land and sea.

To address these issues, this study has conducted an analysis on the climate at the past state and multiple future periods over Indonesia based on the modeling process using the Non-Hydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) developed by the scientists at Japan's Meteorological Research Institute (MRI). This high-resolution regional climate modeling effort is expected to resolve local scale phenomena as well as the impact of variation in topography towards the state of the atmosphere, and particularly, the variability in rainfall.

1.2. Methodology

Simulations were done by using NHRCM (Saito et al., 2006; Sasaki et al., 2008) at approximately 5x5 km resolution. The total grid size (the dimension) of the simulation output is 1081 x 421 grid points. These simulations are forced using the MRI-AGCM boundary condition with a coarser resolution (20x20 km).

The domain of this simulation is set to cover the whole of Indonesia and its surrounding maritime continent area. The simulation domain stretch from 93.76 to 144.15 decimal degrees East (of longitude) and -12.26 decimal degrees in the South to 7.23 decimal degrees in the North (of latitude).

The whole experiment is designed to separate different normal period into different time-slice. The past period simulation covers the time from August 1981 to September 2001. The near-future period simulation covers the time from August 2034 to September 2055. The far-future period simulation covers the time from August 2079 to September 2099. The first month of each simulation was ignored and considered as the model spin-up time (Zhong et al., 2007).

Both future simulations utilize the climate change RCP8.5 scenario (Riahi et al., 2007) based on the change in the greenhouse gasses concentration (Meinshausen et al., 2011). The result of the past simulations was compared to the CHIRPSv2.0 gridded dataset (representing rainfall observation reference) with the 0.05-degree resolution (Funk et al., 2015) for the purpose of rainfall comparison and ERA5 reanalysis dataset (representing temperature observation reference) with 0.3-degree

resolution (Hersbach et al., 2020) for the purpose of temperature comparison.

1.3. Results and Discussion

1.3.1. Precipitation

Precipitation simulation during the past period (1981–2000) for the December-January-February (DJF) as well as the CHIRPS observation data and their differences for the respective time period is shown in Fig. 1. In general, NHRCM shows almost uniform underestimation towards the observational reference. Besides, the spatial pattern of the NHRCM simulation result proves to be more heterogeneous, in terms of representing the topography in Indonesia. The mountain range over Sumatra, Borneo, Java, Celebes, and New Guinea are represented analogously with the spatial rainfall pattern. NHRCM simulation also tends to overestimate precipitation over these mentioned mountainous regions while underestimating rainfall over lower altitudes and flatlands. NHRCM simulation has a strong sense in presenting the rain shadow effect which leads to higher precipitation in front of a mountain but dryer in the backside of the mountain, as in DJF, the wind dominantly came from the northern hemisphere.

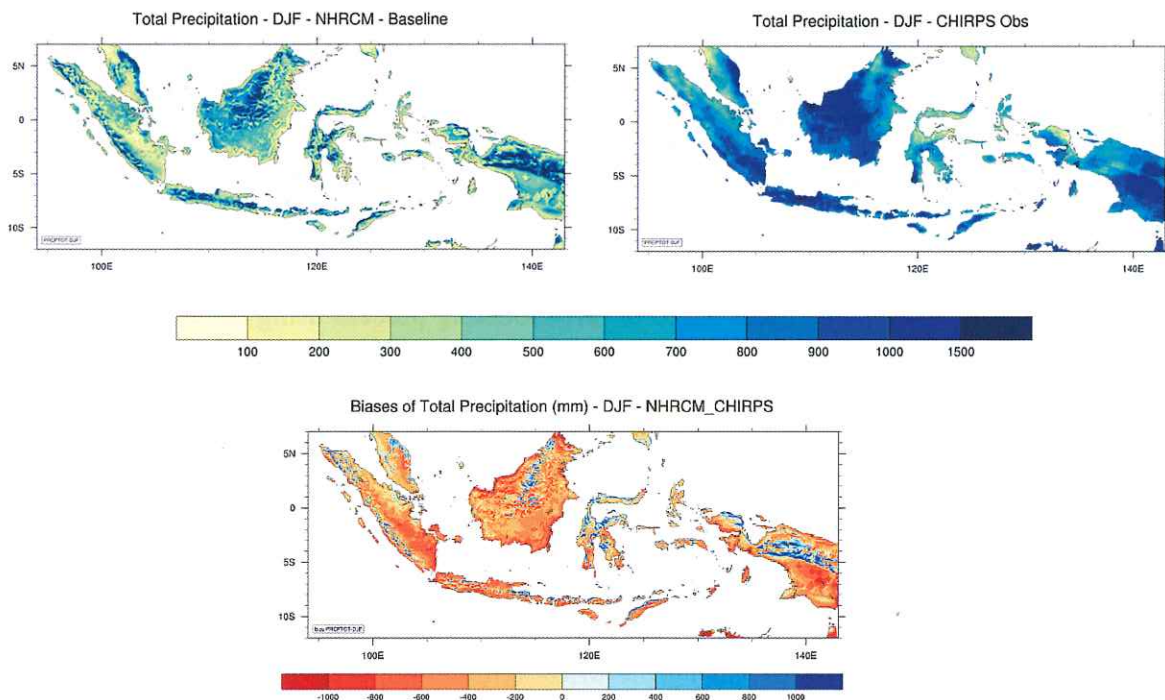


Figure 1. Normal average (1981–2000) of total DJF precipitation of NHRCM's baseline simulation (top left) and CHIRPS (top right). The difference of both data is shown as bias values in millimeters (bottom).

Precipitation simulation during the past period (1981–2000) for the June-July-August (JJA) as well as the CHIRPS observation data and their differences for the respective time period is shown in Fig. 2. It is still shown that NHRCM simulation can still capture the spatial pattern of precipitation compared to the CHIRPS observation while representing a better pattern with respect to topography. In general, NHRCM produce underestimate precipitation over the whole region of Indonesia. Meanwhile, it still produces overestimate rainfall over mountainous regions as mentioned in the DJF part. As mentioned, NHRCM has a strong sense in presenting rain shadow effect which leads to higher precipitation in front of mountain but dryer in the backside of the mountain, as in JJA, the wind dominantly came from the southern hemisphere.

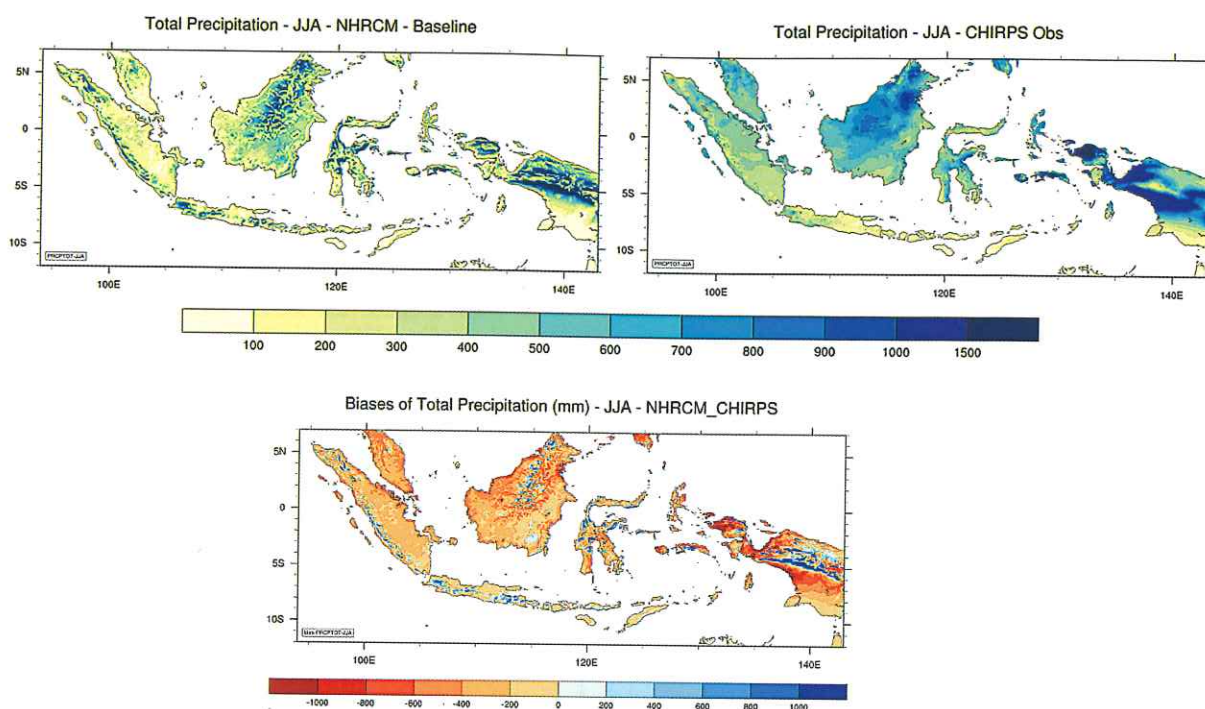


Figure 2. Normal average (1981–2000) of total JJA precipitation of NHRCM's baseline simulation (top left) and CHIRPS (top right). The difference of both data is shown as a bias value in millimeters (bottom).

Future climate projections (2035–2054 and 2079–2098) from NHRCM simulations suggest a distinct trend between different seasons over Indonesia. Fig. 3 shows the supposed normal condition as well as the difference in precipitation between the future and past periods in spatial distribution. The difference is calculated by subtracting the precipitation from both future periods with past precipitation for DJF and JJA seasons.

During DJF season, simulation results display a dominant green color for most of the Indonesian area, indicating an increase in total precipitation amount in the future. Some regions are experiencing a decrease such as the central part of Sumatra, Borneo, and New Guinea. The brownish color indicates that the precipitation will be reduced in the future, as explained in the legend. Meanwhile, the whole Java and Celebes are dominated by a trend of increase. This pattern suggests a wet-get-wetter tendency for the area heavily influenced by the Indo-Australian monsoon. On the other hand, during the JJA season, there seems to be a distinct difference between the northern and southern parts of the domain. Java, which is located in the southern hemisphere will experience a decrease. The northern part of Sumatra, Borneo, Celebes, and New Guinea are consistently having an increase in precipitation. This pattern suggests a dry-get-drier tendency for the area heavily influenced by the Indo-Australian monsoon. The prominent difference between the two future periods is in the intensity of the changes. The far-future period exhibits a much more significant increase (or decrease), implying a higher risk from the change in the climate parameter.

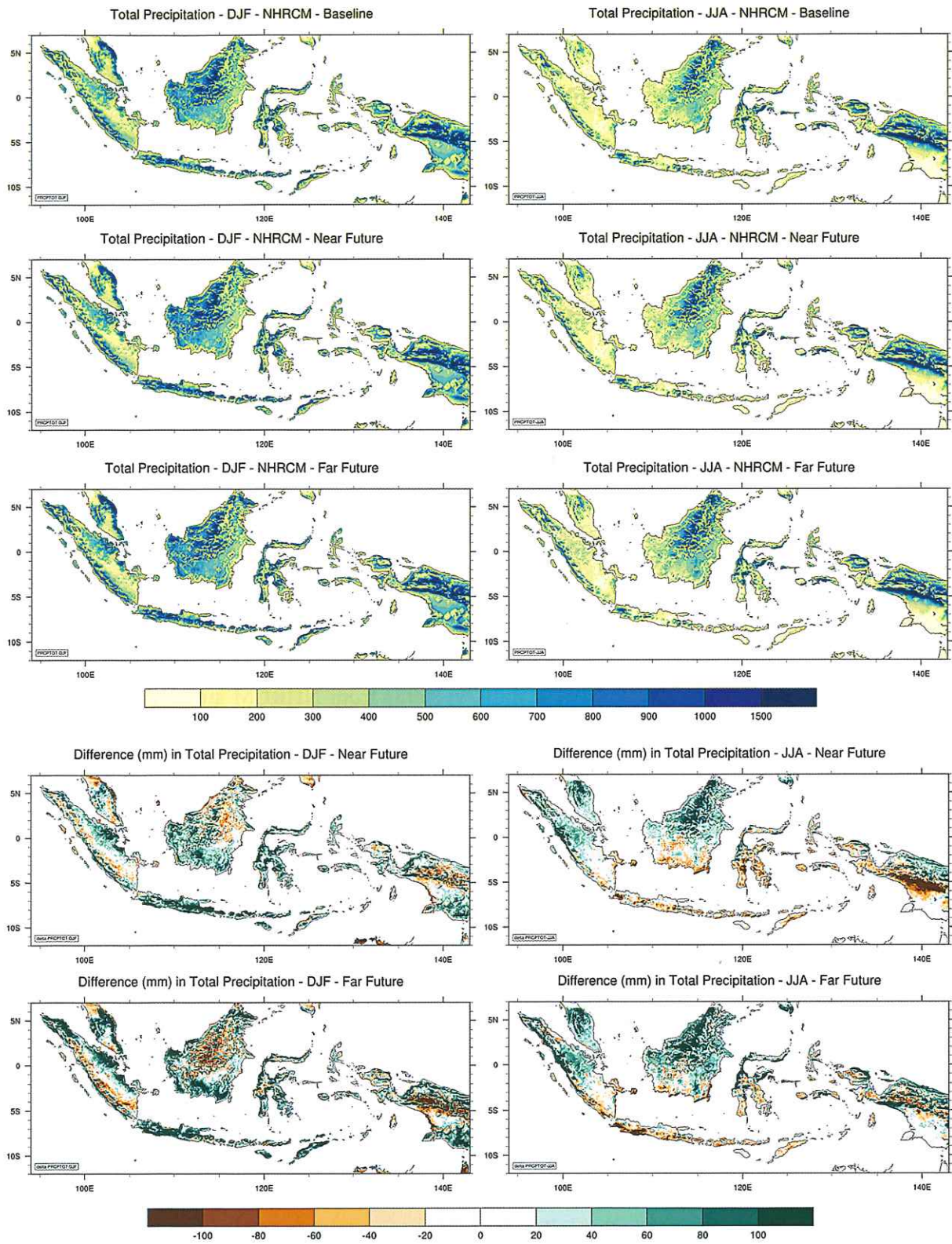


Figure 3. Seasonal cumulative rainfall of the NHRCM simulations. The baseline period is displayed at the top row. The second row shows the near-future period. The third row shows the far-future period. The two rows at the bottom are the difference between the future periods (near-future at the fourth row and far-future at the bottom row) and the baseline period. Left and right columns present the seasons of DJF and JJA respectively.

Next analysis was done by calculating the probability distribution function of the whole Indonesian area (as shown in Fig. 4) by averaging the domain area used in NHRCM (1081 x 421 grid points) for the whole 20 years of past simulation (black line) and future simulations (gold and dark red). Both seasons, DJF and JJA, are projected to have higher precipitation in the mean value, with the increase of the mean value in DJF is higher.

In the near-future period, the mean precipitation is projected to increase from around 480 mm to 510 mm during DJF, which is around a 30 mm rise, and for JJA, the increase in the mean is not very significant. As for the far-future period, the mean precipitation is projected to increase from around 480 mm to 540 mm during DJF, which is around a 60 mm rise. The far-future mean precipitation is projected to increase from around 290 mm to 320 mm during the JJA season, which is around a 30 mm rise, in contrast to the less significant expected mean change during the near-future period.

The spread of the curve is also another thing to be noted. Both curves of the future period precipitation (gold and dark red) in DJF appears to be lower and wider in comparison to the past period (black), with the far-future period having a more significant shift toward the extremes. This means that in the future, the state of the DJF precipitation will have a higher chance of extreme events related to higher cumulative precipitation, as shown by the reach of the curve to the right side.

In JJA, however, the curve becomes slightly narrower albeit not very significant in the near-future period. On the other hand, for the far-future period, there is a tendency for an increase in mean value and the reach of the curve. This type of change can provide a different impact which depends on the condition during the JJA season of a specific area. An area with a wet JJA season could experience a wetter anomaly, while another area with a dry JJA season could benefit from the additional supply of water.

The shift of the mean rainfall and the movement of the curve towards extremes are something to be alerted of for stakeholders and policymakers of various sectors. It should be noted that this is an average for the whole Indonesia region, which has various types of rainfall patterns. A more specific analysis of probability distribution over a localized region would give more insight into local adaptation strategy.

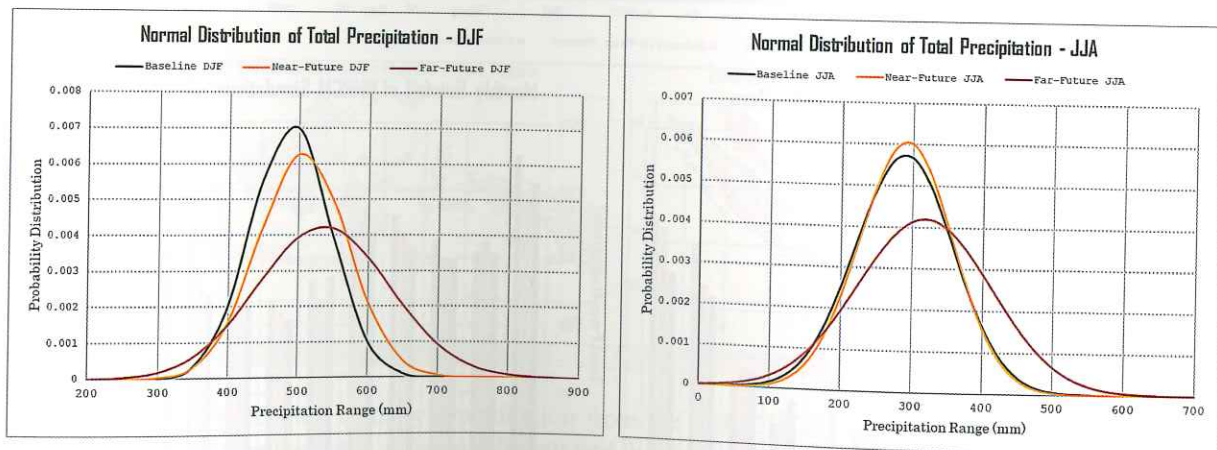


Figure 4. The seasonal probability distribution function of NHRCM simulations for DJF (left) and JJA (right).

The precipitation annual pattern based on the monthly cumulative rainfall from three different areas is examined and is shown in Fig. 5. The first is the whole domain of NHRCM while others are the island of Java and Borneo. Java is the center of population activity in Indonesia, in which the capital city Jakarta is located, while also serve as the primary region of economic and agriculture sectors. Borneo is expected to be a developing region, where the future capital city is located and the designated area of a so-called national "food estate" project. The rainfall pattern over Java is highly affected by the Indo-Australian monsoon (dry season in midyear and wet season at the beginning/end

of the year), while Borneo has a more heterogeneous climate (Aldrian and Susanto, 2003).

There are no significant changes in rainfall patterns for the whole region of Indonesia, as the peak of rainfall is still expected to be still in January. It is projected that there would be a slight increase almost over all months in the future. This is especially prevalent for the far-future period in which the area experiences an increase, with the month of April and December having the most significant increase.

In Java, it is clear that the tendency of wet-get-wetter and dry-get-drier as an impact of climate change is present. For the near-future period, the monsoonal wet season (around DJF) will experience an increase in rainfall and vice versa (decrease during JJA), and the onset of the rainy season is still expected to be around November and peaking in January. Meanwhile, for the far-future period, there seems to be a shift in the peak of the rainy season from January-February to the months of March-April. The wet-get-wetter and dry-get-drier tendency are also prominent particularly during the JJA period of the dry season. One can expect a much more severe dry condition during the dry season in the far-future period.

Borneo, on the other hand, has a tendency of increasing rainfall throughout the year, as also seen in the pattern of the whole Indonesia domain. A two-peak of monthly rainfall is still relevant in the near-future period. In the far-future period, there is a significant increase in total monthly precipitation during December and January, which can be expected as the peak of the rainy season.

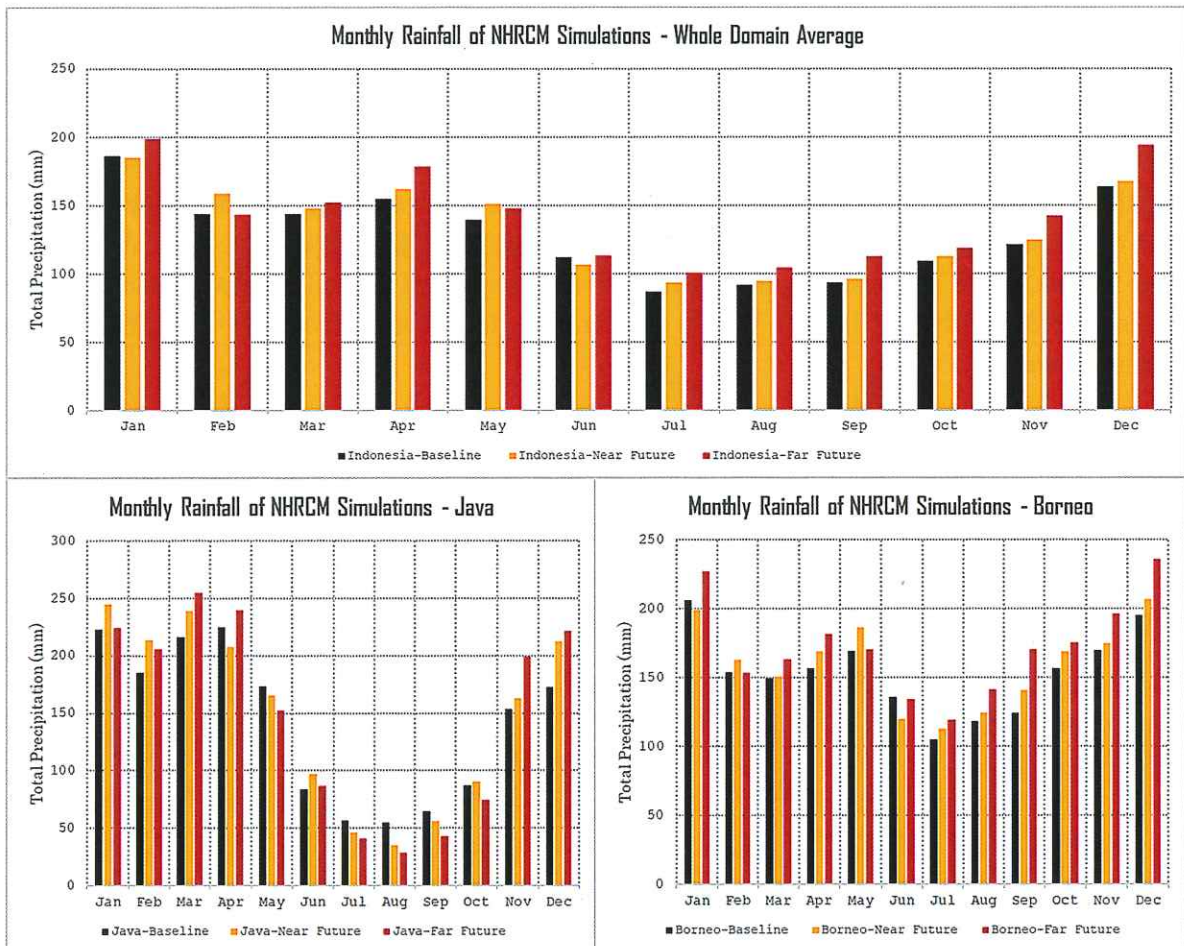


Figure 5. Monthly total precipitation over three different area-averaged regions, whole NHRCM simulation domain (top), Java (bottom left), and Borneo (bottom right).

One of the many indicators of climate extremes is the maximum daily rainfall. Here, the maximum annual daily rainfall for both the past and future simulations are presented. Fig. 6 displays the normal average of annual maximum daily rainfall, and the predominant red color shows that the increase in the amount of rainfall in the future could pose a threat to the rising intensity of heavy rainfall.

It is apparent that, in both future periods, there is a higher risk of extremes related to the intensity of daily rainfall, with the far-future period simulation results displays a higher threat, considering the projected significant increase compared to the near-future period. Such conditions could lead to a flash flood event which would heavily impact the society and economy.

The locations in which a higher risk is expected are almost similar in both the near-future and far-future period, given a considerable difference in the intensity of the changes. Areas that are supposed to have a higher risk from the increase in the daily maximum rainfall consist of the west and east coast of Sumatra, the whole of Java Island particularly the inland part, the Lesser Sunda Islands, almost all of Celebes, the southern part of the Moluccas, coastlines of Borneo, and the inland mountainous part of New Guinea. Again, the pattern over Java Island is to be highly anticipated as it is the center of national economic activity as well as where the population is focused.

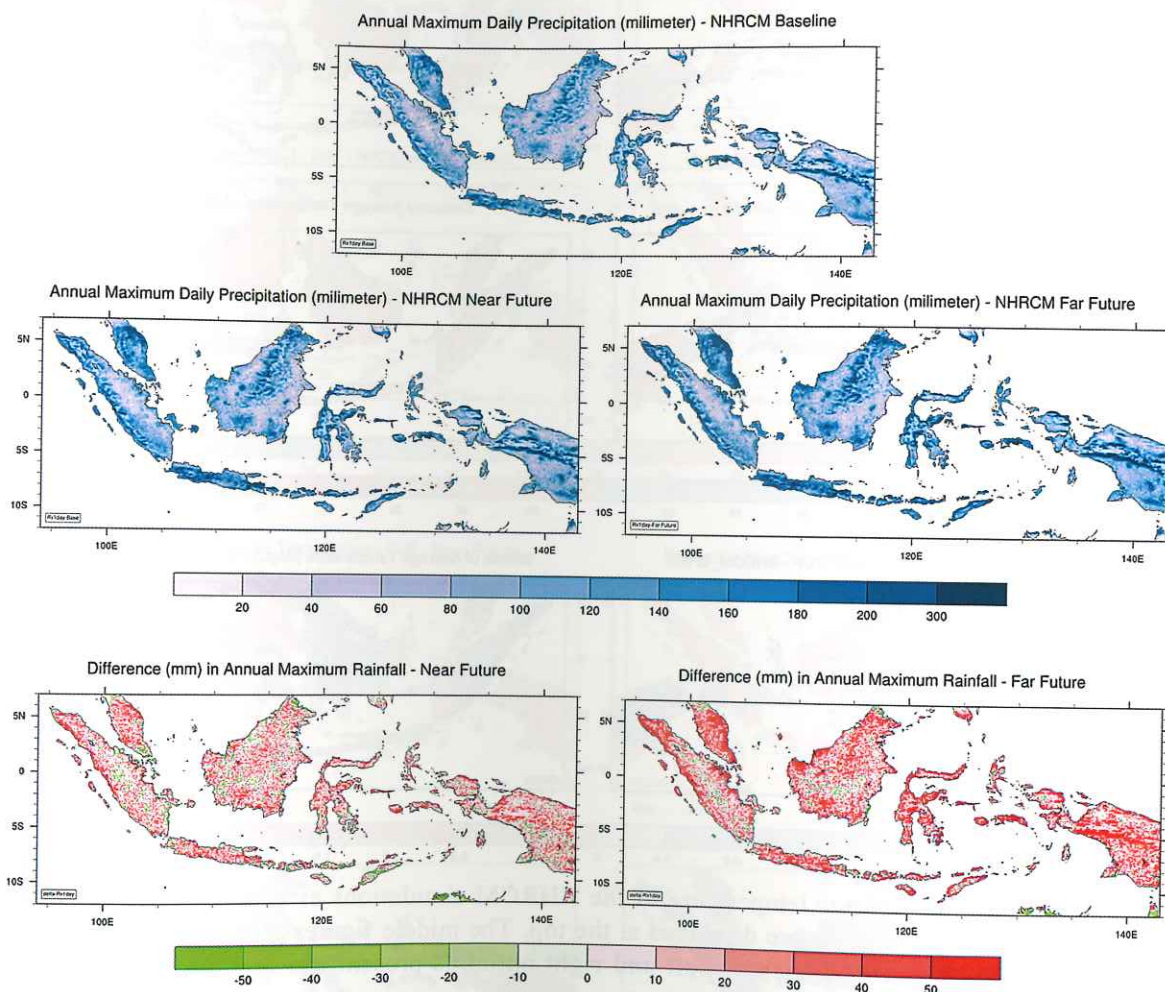


Figure 6. Yearly maximum of daily precipitation from the NHRCM simulations. The baseline period is at the top. The near-future period is at the middle left and the far-future period is at the middle right. The bottom figures are the difference between the future periods (near-future at the left and far-future at the right) and the baseline period.

1.3.2. Temperature

The next feature to be examined from the model simulation is the near-surface temperature. Figure 7 shows the comparison of temperature in two seasons compared to the reanalysis data of ERA5. The NHRCM simulation during the past period can clearly reproduce the spatial pattern of the ERA5 observational reference. The difference between NHRCM and ERA5 is apparent in terms of the spatial

resolution, as NHRCM simulation has a higher resolution of 5x5 km. The figures show that NHRCM simulation produces a better spatial representation with respect to topographical distribution. Such a feature prevails in both DJF and JJA seasons.

However, over the mountainous regions, NHRCM simulation tends to produce a significant cold bias (up to 2 degree Celsius differences). It can be inferred that the model is less skillful over the area, or, that the reanalysis data simply does not represent the temperature over the mountain area correctly, due to its limitation. This is something that should be confirmed with several samples of in-situ observation. A warm bias is also detected in the JJA season over lower lands in Java, ranging from 0.8 to 1.6 degrees. Such biases should be considered in performing future analysis.

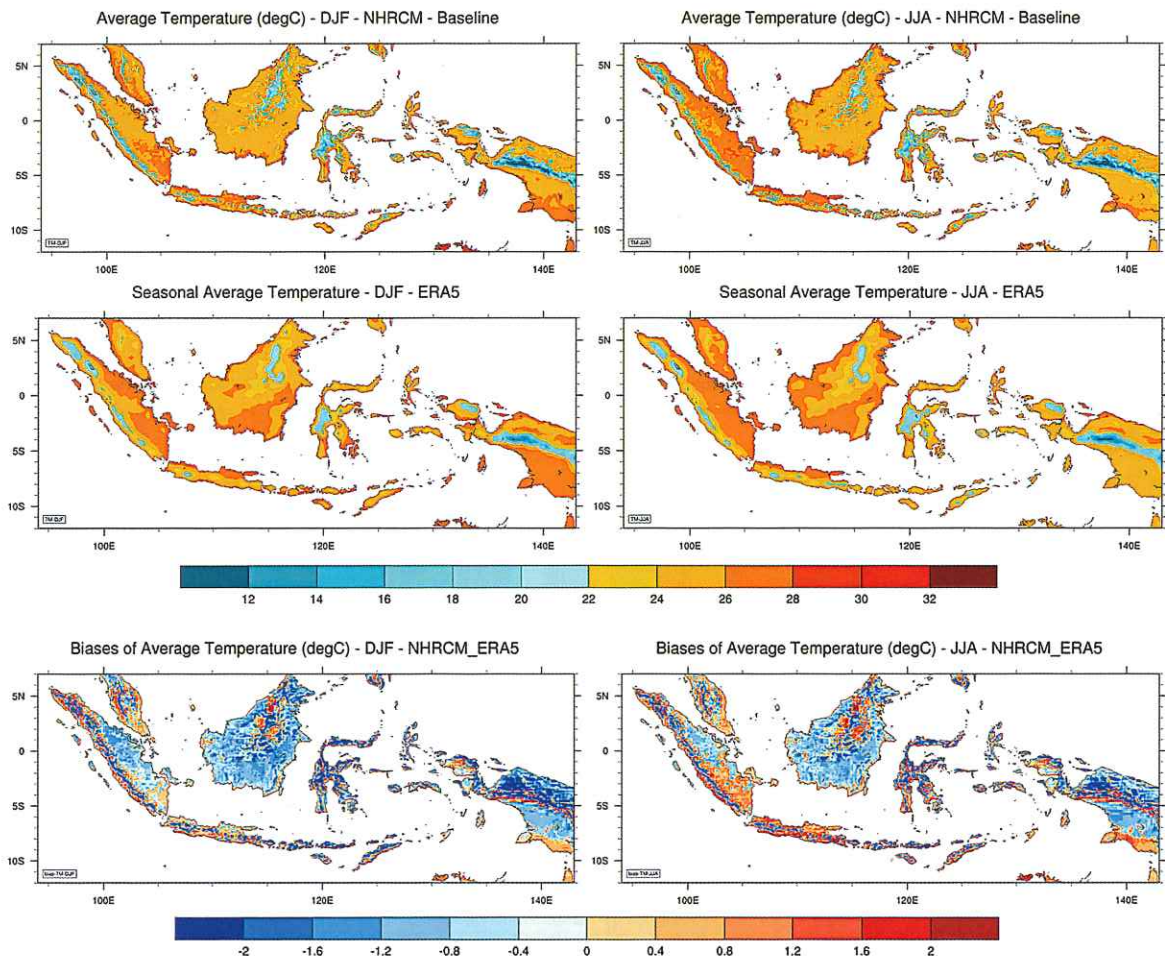


Figure 7. The seasonal average temperature of the NHRCM simulations as compared with the ERA5 reanalysis. The model simulations are displayed at the top. The middle figures show the reference ERA5 dataset. The bottom figures are biases. Left and right columns present the seasons of DJF and JJA respectively.

The near-future temperature over Indonesia during both DJF and JJA seasons is projected to increase uniformly over the whole Indonesia region (Fig. 8). The amount of increase is around 1°C to 2°C, with the JJA season (monsoonal dry season), tends to have a higher increase particularly over the southern part of the domain. A significant increase is also shown over the mountain range of New Guinea, giving a further impact on the tropical ice sheet.

Similarly, the same tendency is also shown in the far-future simulation results, in which the seasonality and spatial distribution is nearly identical to the near-future results. The difference is in the range in the amount of increase, which is around 3°C to 4°C, with the highest increase is, again, projected to be over the inland mountain range in New Guinea.

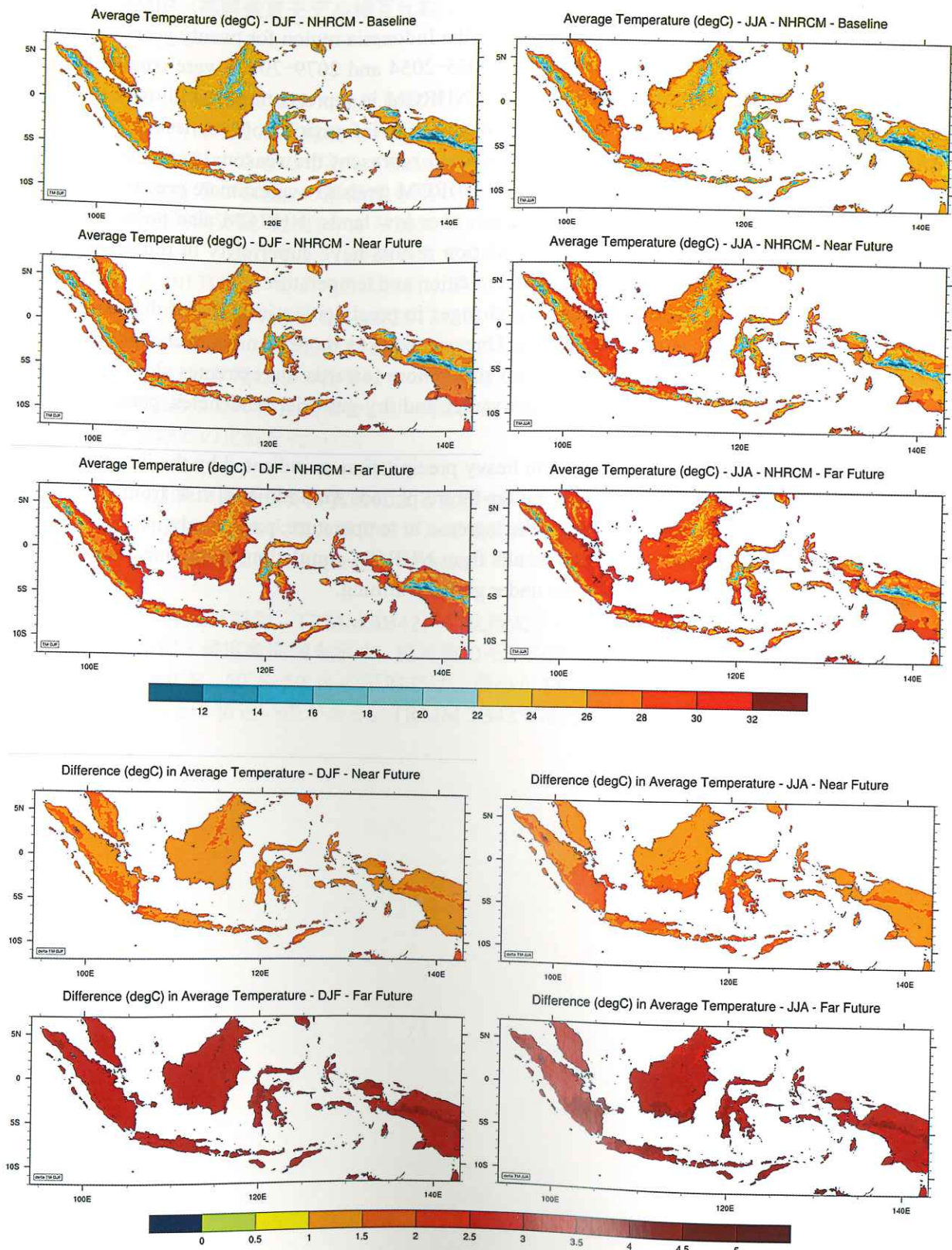


Figure 8. The seasonal average temperature of the NHRCM simulations. The baseline period is displayed at the top row. The second row shows the near-future period. The third row shows the far-future period. The two rows at the bottom are the difference between the future periods (near-future at the fourth row and far-future at the fifth row) and the baseline period. Left and right columns present the seasons of DJF and JJA respectively.

1.4. Concluding Remarks

In this analysis, 5x5 km NHRCM simulations over the Indonesia region for twenty years in the past (1981–2000) and forty years (total) in the future (2035–2054 and 2079–2098) were conducted. The experiment was done in order to justify the skill of NHRCM in representing past climate in higher spatial resolution as well as providing future climate projection information of Indonesia.

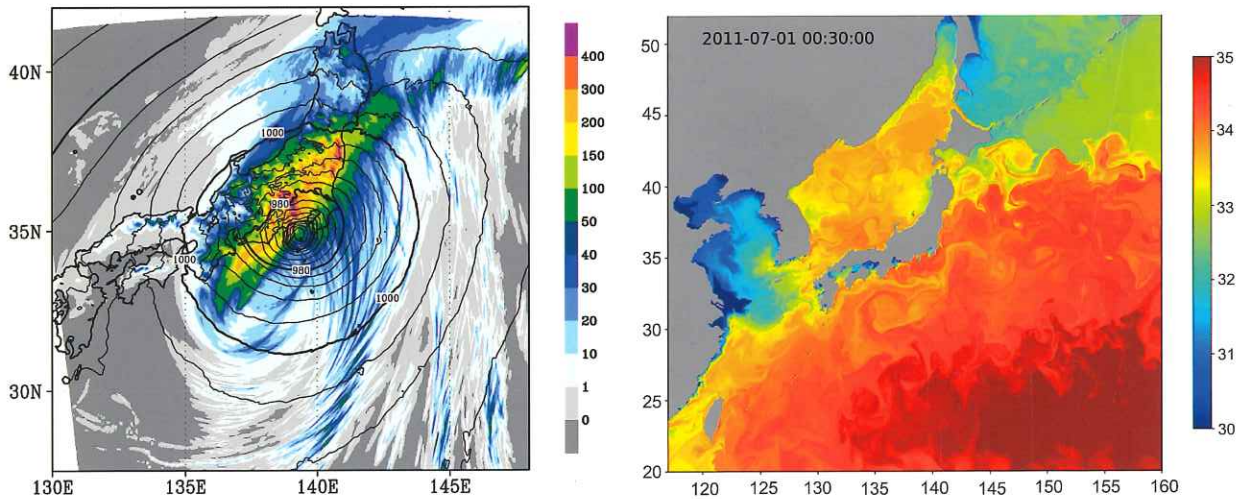
The results indicate that NHRCM simulations could represent the seasonal precipitation over Indonesia quite well, albeit with some deficiencies. NHRCM tends to overestimate precipitation over mountain range while underestimating precipitation over low lands. NHRCM also possesses some cold biases in several areas. The NHRCM simulation results have superiority in reproducing the spatial features of topography pattern for both precipitation and temperature.

Future projections by NHRCM show varying changes in precipitation in terms of the seasonality, spatial distribution, intensity, and annual pattern. One can expect a more significant change in the far-future period, in which precipitation distribution shifts more towards the extremes sides. On a side note, changes in rainfall conform to the wet-get-wetter and dry-get-drier tendencies, particularly for areas with distinct wet and dry seasons.

There is also an increased risk of short-term heavy precipitation as indicated by the increase in the daily rainfall, with higher intensity during the far-future period. An additional risk from heatwaves should also be anticipated as an impact from the increase in temperature, particularly in the far future time range. All in all, the future simulation results from NHRCM simulations imply incoming threats and opportunities from the changing climate under global warming.



統合的気候モデル高度化研究プログラム
領域テーマ C 統合的気候変動予測
令和 2 年度研究成果報告書



日本域の高解像度大気モデル (左) と高解像度海洋モデル (右) による地球温暖化研究の展開

左：領域気候モデル (NHRCM, 2km 水平解像度) 2019 年台風第 19 号 (ハギビス) のシミュレーション。等値線と陰影は、それぞれ、気圧 (hPa) と降水 (mm/日)。

右：水平解像度 2 km の領域海洋モデル (JPN) による過去再現実験結果。表示は塩分 (psu)。

令和 3 年 4 月
文部科学省研究開発局

一般財団法人 気象業務支援センター
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学
国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人北海道大学
国立大学法人東北大学

Future changes in monsoon climate in Java, Indonesia, by using bias correction and statistical downscaling methods

*Motoki NISHIMORI (NARO), Michihiko Tonouchi, Hiroshi Satoda (JMBSC)
and Dodo Gunawan (BMKG)

1. Introduction

The climate of Indonesia located under the equator is predominated by the monsoon of both northern and southern hemispheres. Climate changes in Indonesia would affect not only agricultural production but also the whole economy. The future climate changes were projected by GCM simulation, but the geographical features of Indonesia are very complicated. Therefore, various types of downscaling methods involving RCM simulations are necessary to find detailed changes in the monsoon climate over Indonesia. In this study, we aim to clarify the future climate change of Java Island. Various types of bias correction (BC) methods combined with the statistical downscaling/spatial disaggregation (SD) method are applied.

2. Data and methods

We mainly used the historical data set for 20 years (1991-2010) data at 12 SYNOP stations over the central and western Java Island provided by BMKG. Temperature (daily mean (TG), daily maximum, daily minimum), daily precipitation (RR), and sunshine duration are stored. Monthly maximum temperature, minimum temperature, mean temperature, precipitation data from 1981 to 2010 to interpolate the BC station dataset to a gridded one. We use two BC methods for CMIP-5 GCM output, the gaussian-type scaling method (GSA)[1] and the cumulative distribution function-based downscaling method (CDFDM)[2]. In this analysis, only the BC and SD results of historical and RCP8.5 runs of the MRI-CGCM3 were shown.

3. Results and discussions

Figure 1 shows the seasonal change of monthly rainfall amount over the reference period (1991-2010). Though the seasonal change and amount of rainfall derived from MRI-CGCM3 were different from the observed one, both GSA and CDFDM were well captured the seasonal characteristics of the observed climate. The geographical distribution of near future (2041-2060) changes were different in each BC method. The result of GSA was quite like the GCM original output (upper panel of Fig.2) in that, the rate of TG increase was almost 1.45°C, and the RR slightly decreased over the northern side of Java. But those for CDFDM were different for TG and RR, which show

relatively higher TG (+1.7°C) and quite over-estimated (over 110%) for RR. Two reasons for these different results are presumed; the total number of SYNOP stations applied to CDFDM is too small, and another is the GSA method applied only to monthly data.

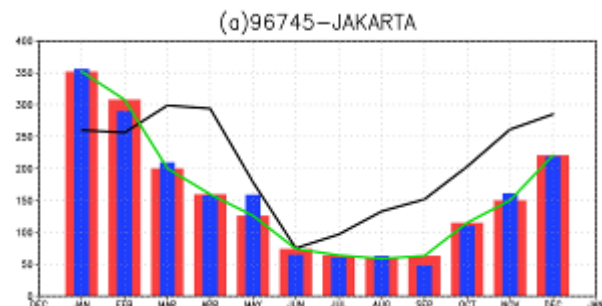


Fig.1 Seasonal change of the amount of monthly rainfall at Jakarta over the reference period (1991-2010). The red (black) line shows the data from observation (GCM: MRI-CGCM3), and the red (blue) bar shows after bias correction by CDFDM (GSA).

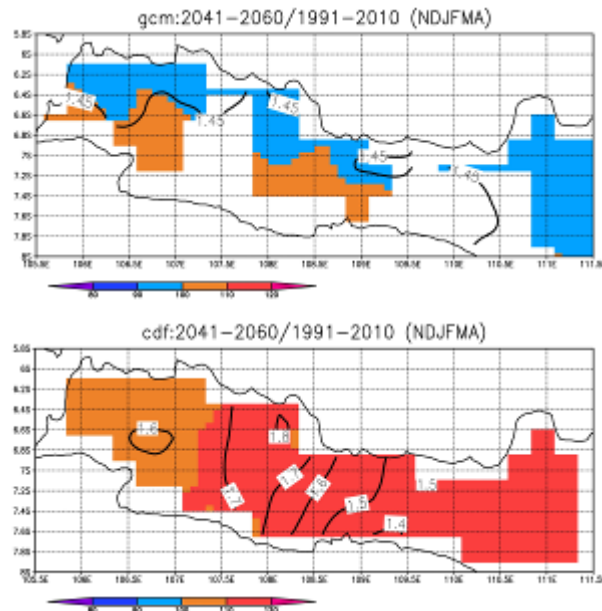


Fig. 2 Future (2041-2060 average) changes of averaged TG (contour line) and RR in the monsoon rainy season (Nov.-Apr.) referred to the reference period.

Acknowledgement:

This research was performed by The Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies of JICA via JMBSC.

References:

Future changes in monsoon climate in Indonesia by using bias correction and downscaling methods

Motoki Nishimori (NIAES/NARO)

Michihiko Tonouchi, Hiroshi Satoda (JMBSC),

Kadarsah, Agus Sabana and Dodo Gunawan (BMKG)

National Agriculture and Food Research Organization

MSJ2021Autumn
08/DEC/2021

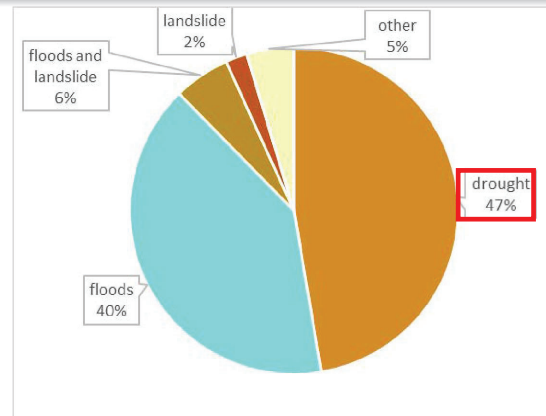
Introduction-1

- The climate of Indonesia which is located under the equator is predominated by the monsoon of both northern and southern hemispheres.
- The future climate changes were projected by GCM simulation, but the geographical features of Indonesia are very complicated.

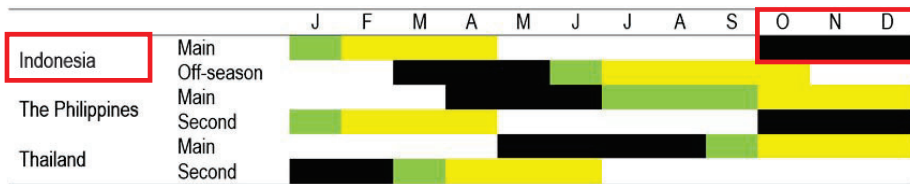


Introduction-2

- Climate changes in Indonesia would affect not only agricultural production but also the whole economy.
- Drought is the natural factor that most affects agriculture in Indonesia. →
- The amount of precipitation, especially during the onset of the monsoon, is of vital importance for rice cultivation in Indonesia. ↓

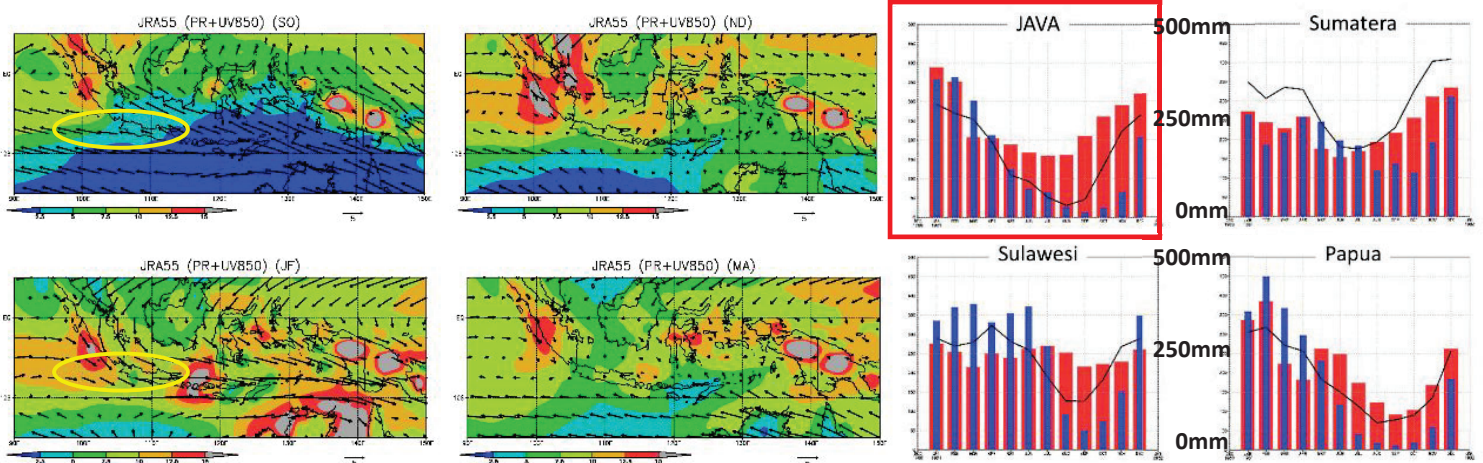


Percentage of affected farmland area by factor * Prepared by SOMPO Risk Management based on data from BNPB, National Disaster Management Agency of IDN.



Crop calendar of rice in Indonesia, the Philippines, and Thailand. The colors black, green, and yellow indicate sowing, growing, and harvesting seasons respectively (Cortes and Otadoy, 2020, Source: FAO).

Climate over Indonesia (1986-2005observed: JRA55)



Change to (Nov.-Dec.) and intensification (Jan.-Feb.) of westerly winds are the keys to the onset and persistence of monsoon precipitation over Java Island.

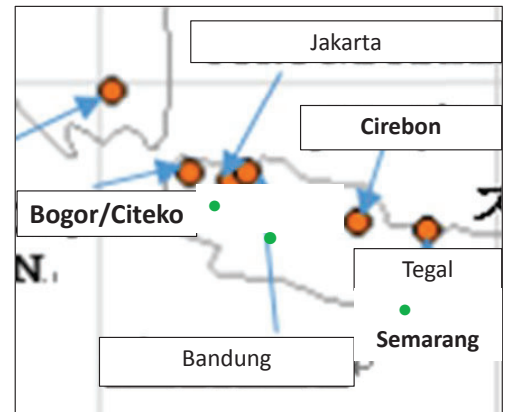
- : OBS (JRA55), ■MRI-CGCM3, ■MIROC5
 Seasonal Changes of Rainfall over major Indonesian regions. Most of Indonesia has a distinct wet and dry season.
MRI-CGCM3 (MIROC-5) tends to under (over)-estimate precipitation, respectively.

Aim and Scope of this Research

- In this study, we aim to clarify the future climate change of Java Island, Indonesia.
 - Various types of bias correction (BC) methods combined with the statistical downscaling/spatial disaggregation (SD) method are applied.
- * In this presentation we will first review the seasonal changes in monsoon precipitation throughout the year and then focus on the onset period.

Data Setting

1. 12 station Daily data (1991-2010) over west-mid Java Island area
2. GPV of GCM's output (RCP8.5 of MRI-CGCM3 & MIROC-5) of climate values were interpolated into the 12 stations.
3. Both GSA (Gaussian-type Scaling Analysis: Nishimori et al, 2019) and CDF (Cumulative Distribution Function) downscaling method: Iizumi et al. 2012) are applied **daily-scale** surface air temperatures and precipitation.



4

Statistical Downscaling

* The basic concept of our Statistical Downscaling method is a combination of Bias-Correction and Spatial Disaggregation

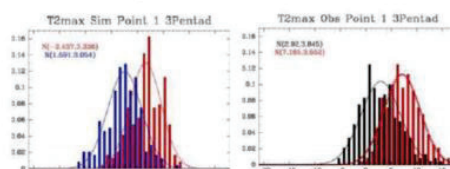
Our strategy of Statistical Downscaling of GCM-derived Climate Projection data over Indonesian (Java) region

0. Delta method (BC by using only long-term average)
1. Gaussian-type scaling approach (GSA)
2. CDF method

"Unintelligent Downscaling" (Wilby et al. 2004)

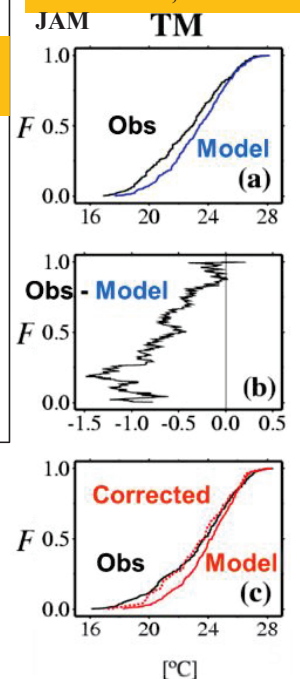
1. Gaussian-type scaling (Haerter et al., 2011) using long-term Averages & interannual Variables

$$T = \frac{\sigma(T_o)}{\sigma(T_s)} (T_s - \langle T_s \rangle) + \langle T_o \rangle$$

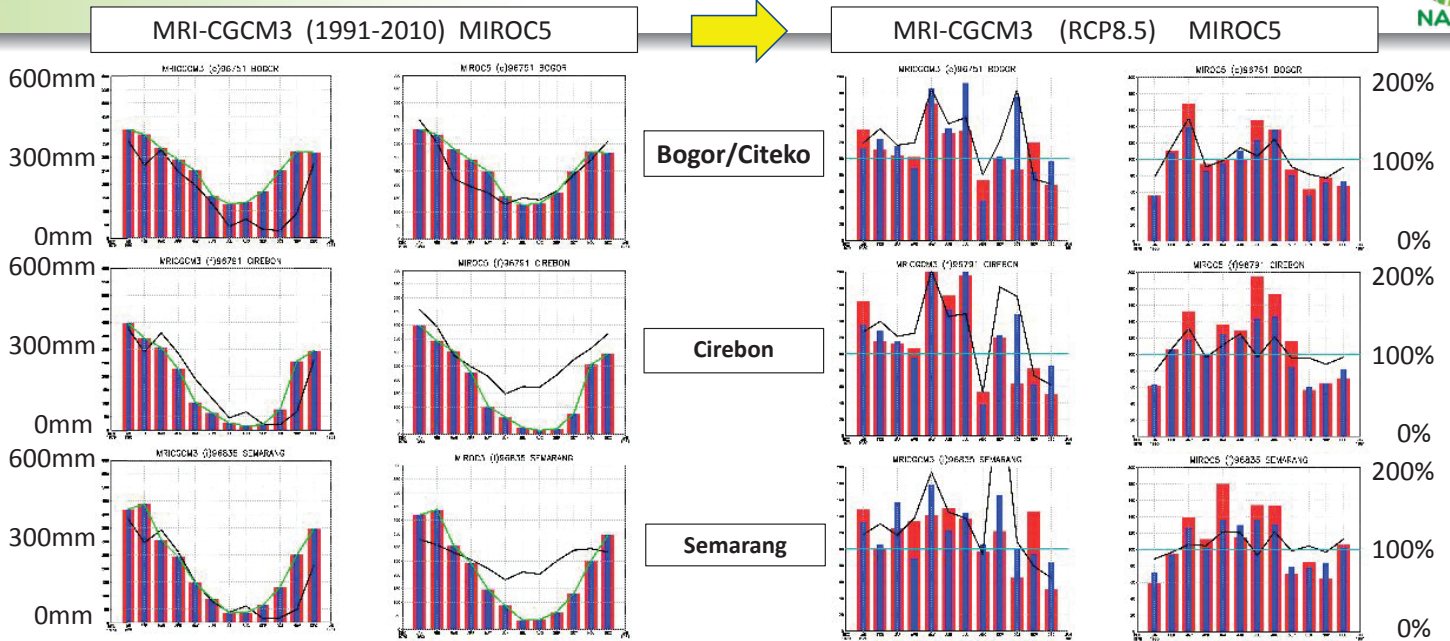


Ref. by Prof. Inatsu (Univ. Hokkaido) Yang et al. (2009)

2. CDF (cumulative distribution function) -Iizumi et al., 2012:



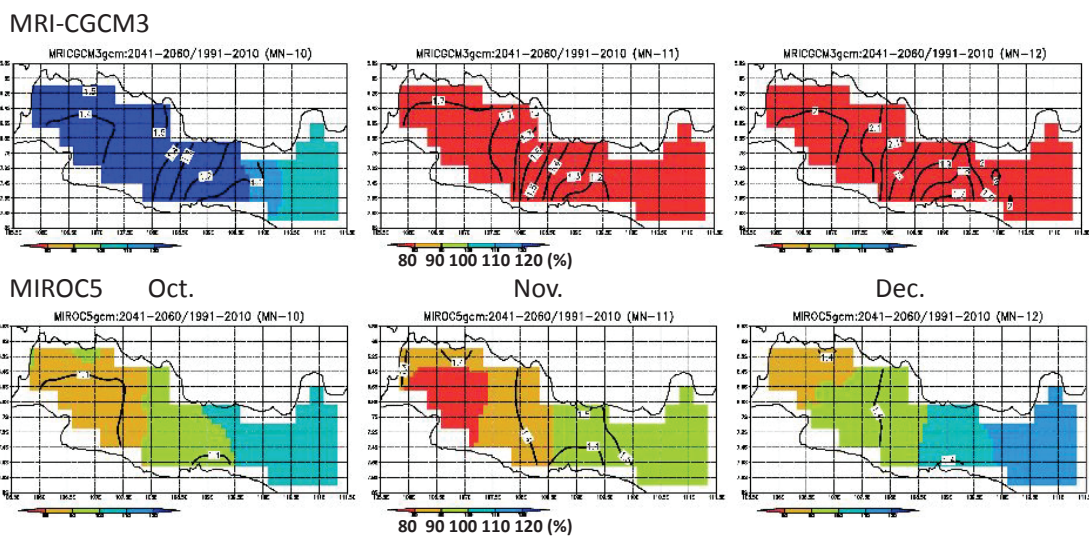
Bias Correction for PR (historical-RCP8.5/2041-60: CMIP5-GCMs)



- : OBS (BMKG station), - : GCM-original output, ■ GSA, ■ CDFDM
 Seasonal change of the amount of monthly rainfall at Jakarta over the reference period (1991-2010). Both BC methods are well modified monthly PR values corresponding with observed one.

Though the future tendencies of precipitation changes are different in each month, generally decreasing the onset season and increasing in the dry season.

Climate Change over Indonesia (RCP8.5/2041-60: CMIP5-GCMs)



Future (2041-2060) changes of averaged TG (°C: contour line) and RR (%: shaded) in three months referred to the reference period (1991-2010).

There is general agreement that precipitation at the onset of the monsoon is likely to decrease in the future

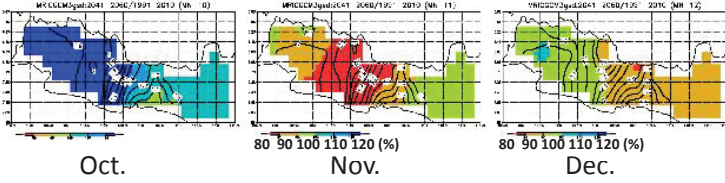
Climate Change over Indonesia (BC-applied: CMIP5-GCMs)



Future (2041-2060) changes of averaged TG (°C: contour line) and RR (%: shaded) in three months referred to the reference period.

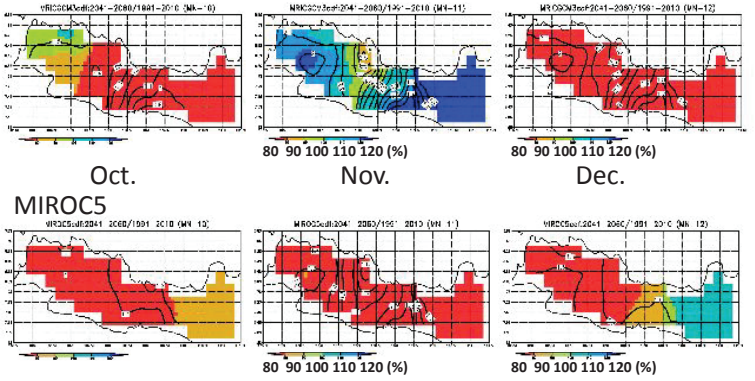
GSA

MRI-CGCM3

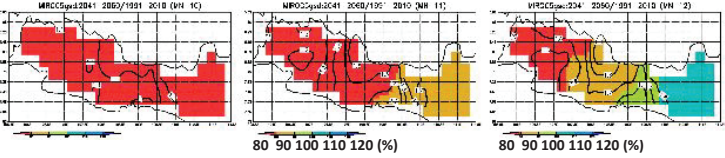


CDFDM

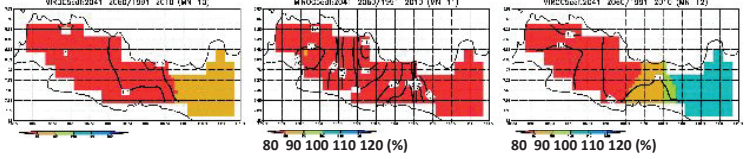
MRI-CGCM3



MIROC5



MIROC5

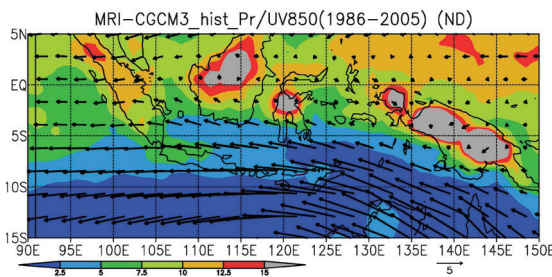


While there is general agreement that precipitation at the onset of the monsoon is likely to decrease in the future, depending on the BC method, the trend of precipitation change may differ from that of the GCM itself.

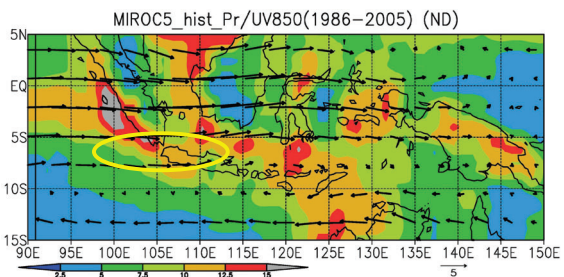
Climate over Indonesia (1986-2005 simulated: CMIP5-GCMs)



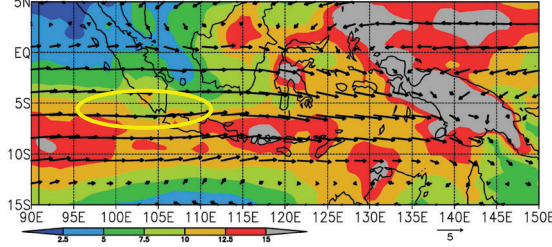
MRI-CGCM3



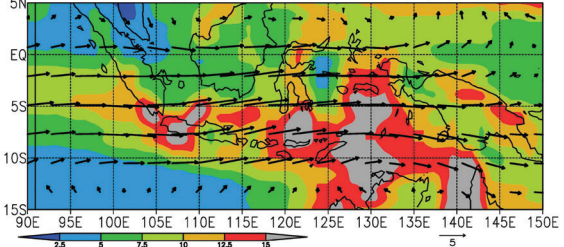
MIROC5



MRI-CGCM3_hist_Pr/UV850(1986-2005) (JF)



MIROC5_hist_Pr/UV850(1986-2005) (JF)



In the first place, the seasonal progression of the monsoon is different between the two climate models !!



Summary, Discussion and Future Tasks



BMKG

- Though the seasonal change and amount of rainfall derived from CMIP5-GCMs were different from the observed one, both GSA and CDFDM were well captured the seasonal characteristics of the observed climate.
- Though the future tendencies of precipitation changes (RCP8.5; 2041-2060) are different in each month, generally decreasing in the onset season and increasing in the dry season.
- While there is generally coincidence that precipitation at the onset of the monsoon is likely to decrease in the future, depending on the BC method, the trend of precipitation change may differ from that of the GCM itself.

(Q) In the first place, does it make sense to correct only the precipitation values in two climate models with different seasonal atmospheric circulation related with monsoon?

(A) Necessity of applying empirical methods that can account for variations in the circulation field

(Q) Isn't it problematic to apply a Gaussian standard deviation to daily precipitation?

(A) Does it seem like that a 10-day average would be manageable?

□ In this case, we only looked at the results of daily data aggregated into monthly data, but according to BMKG's definition of the monsoon onset, we need to look at 10-days of data.

- **The definition of the monsoon onset of BMKG is when 10-days precipitation > 50 mm continues for three times in a row.**

Climate Projection Data Downscaling and its Utilization

Climate projection considering urbanization for
2045 Jakarta

Yuki Asano (Univ. of Tsukuba)

Heavy rain in Future Jakarta

Jakarta has heavy rain events under present climate



Indonesiaexpat (<https://indonesiaexpat.id/news/jakarta-floods-return-to-claim-lives/>)

Future heavy rain is enhanced by
urban development and/or climate change?

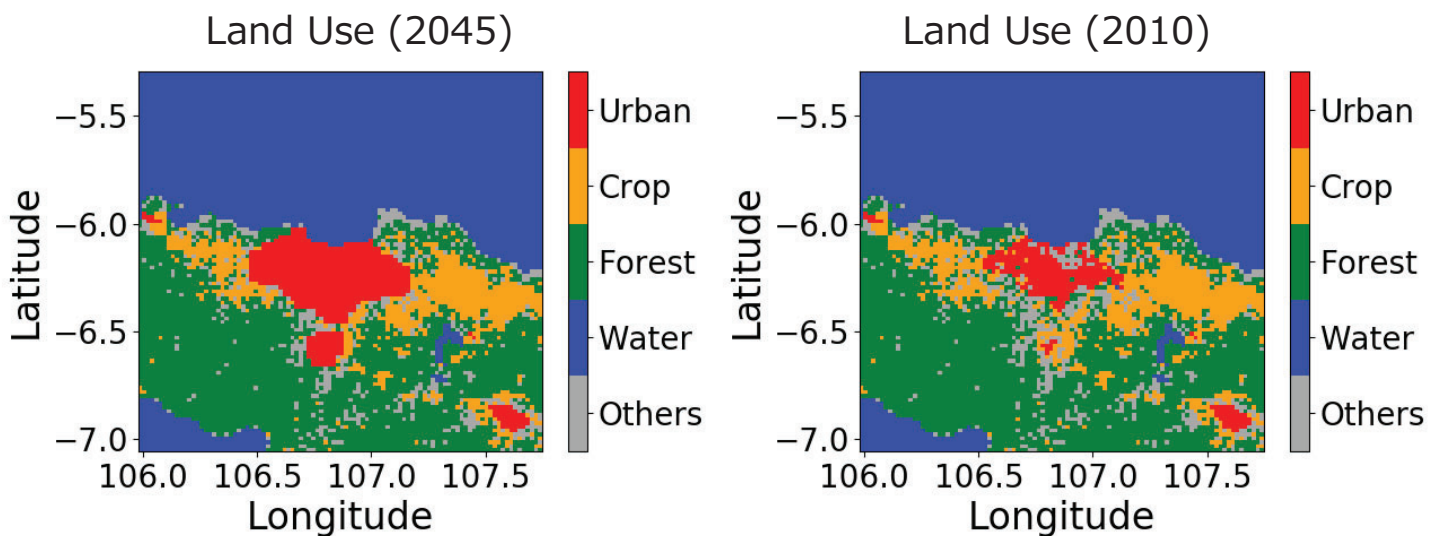
Pseudo Global Warming (PGW) Experiment

$$var_{event,FC} = var_{event,PC} + \Delta var$$

$$\Delta var = var_{twenty\text{-}year\text{ monthly mean},FC} - var_{twenty\text{-}year\text{ monthly mean},PC}$$

Variables	ts, ta, hum, u, v, gph
Scenario	RCP8.5
Future Climate	2036-2055
Present Climate	2000-2019
GCM	CNRM-CM5
	CSIRO-Mk3-6-0
	GFDL-ESM2M
	MPI-ESM-MR

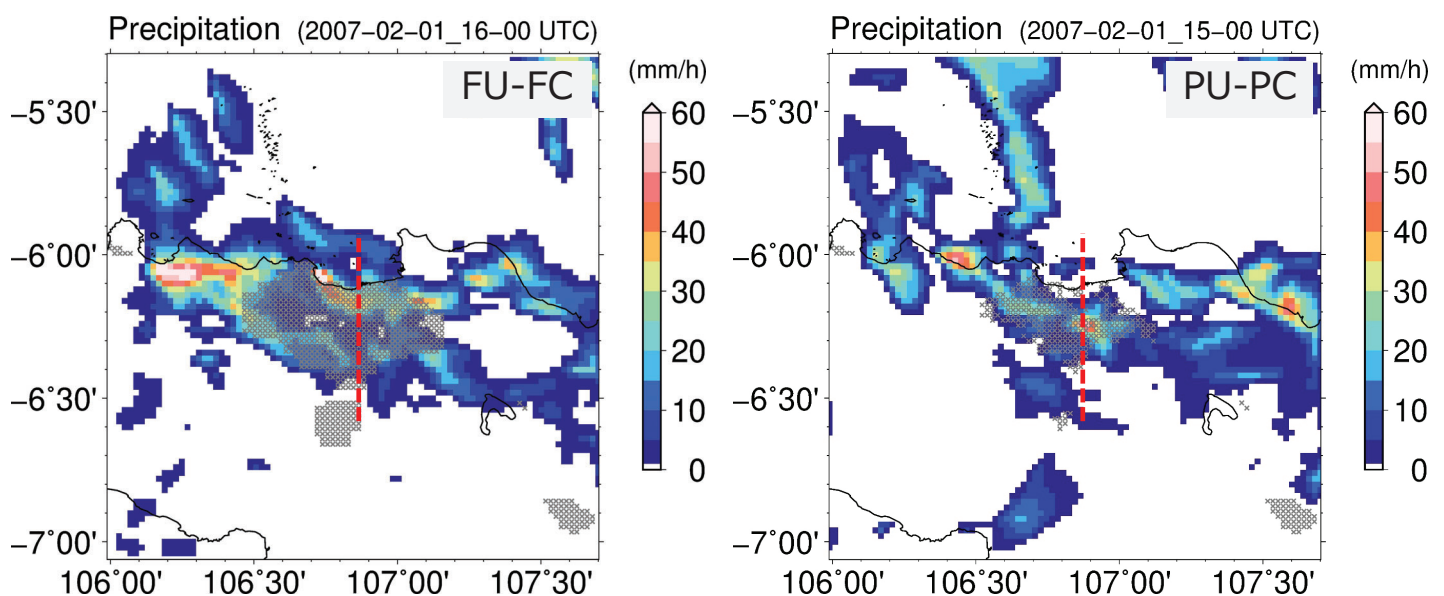
Assumption of Urban Area Expansion (UE)



Model Configuration

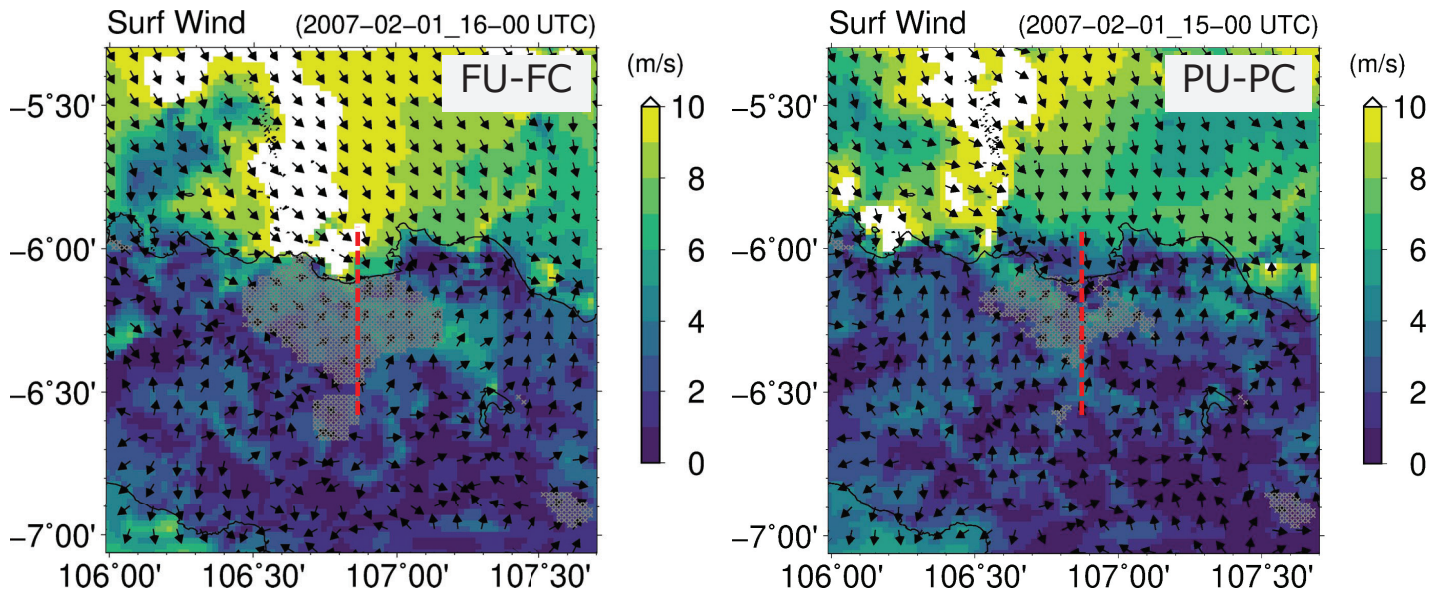
Model	WRF v4.2.2
case	2007-Feb-01, 2007
Δx (d01, 02, 03)	18, 6, 2 km
initial time	2007-Feb-01 00 UTC
IC • BC	FNL
cu physics	New Tiedtke
mp physics	WDM6
pbl physics	YSU

PGW+UE Effect: Hourly Prec (@2007-Feb-01 15UTC)



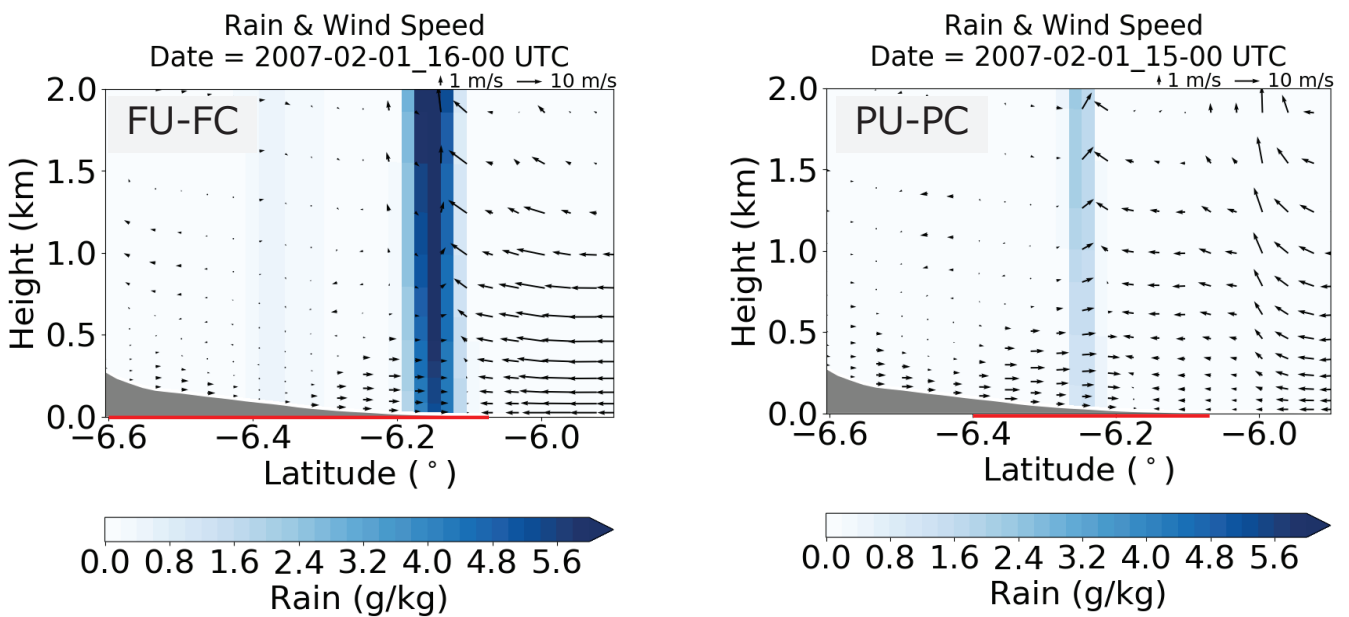
Precipitation were enhanced over urban area

PGW+UE Effect: Surf Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



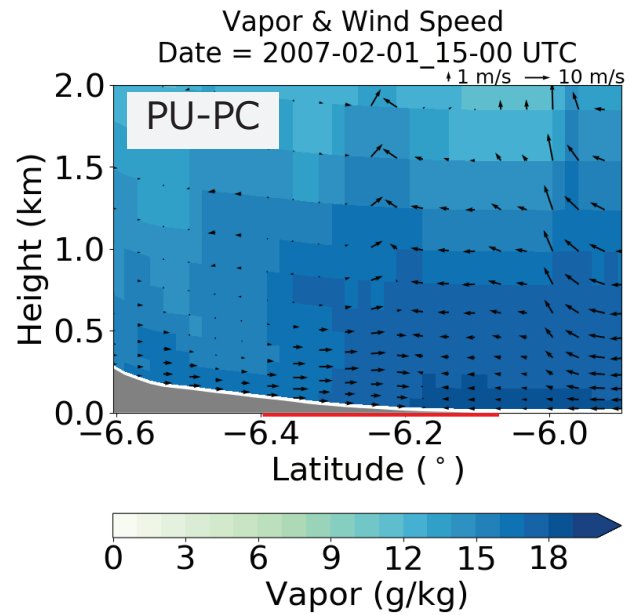
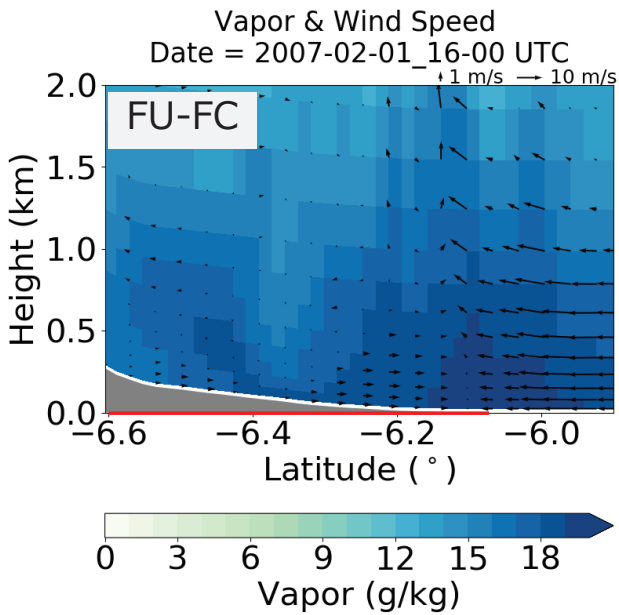
Convergence is stronger at north of urban areas
 Easterly winds were slightly stronger in FC than those in PC

PGW+UE Effect: Rain & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Convection become stronger

PGW+UE Effect: Vapor & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Convection become stronger

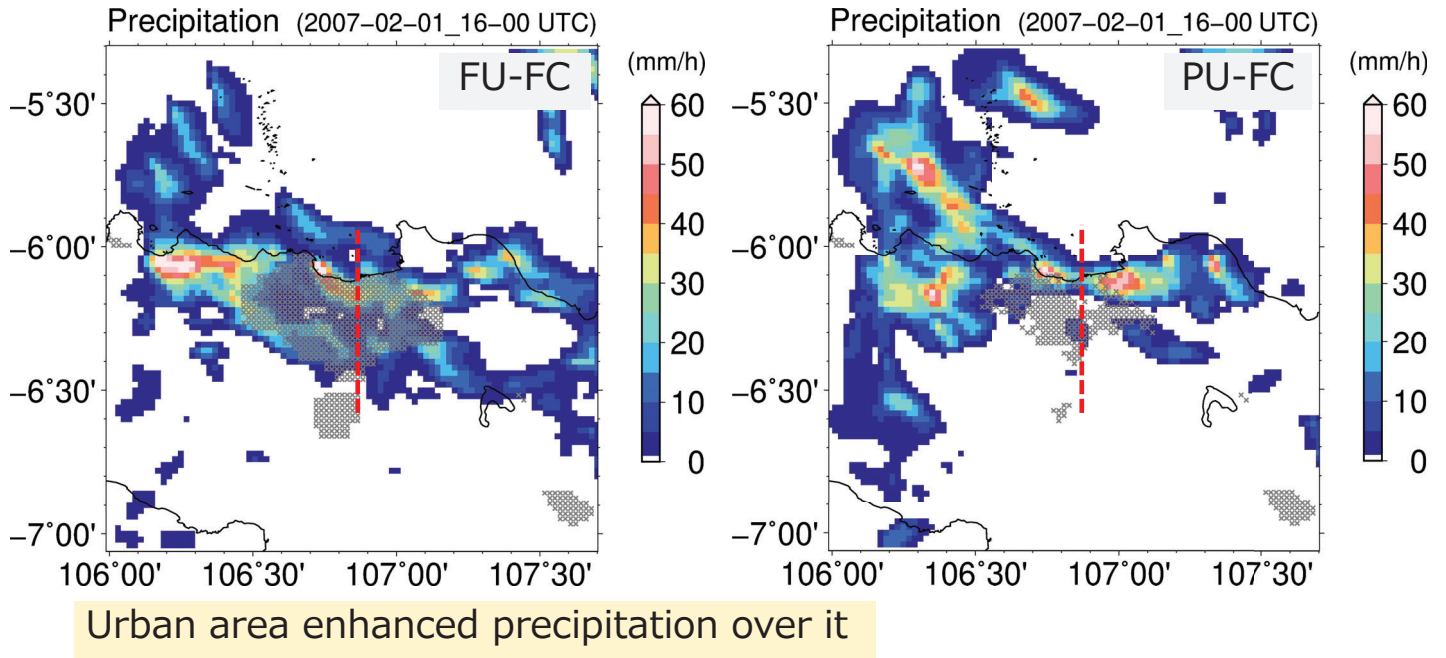
Urban Expansion Effect

Future Urban (FU)
&
Future Climate (FC)

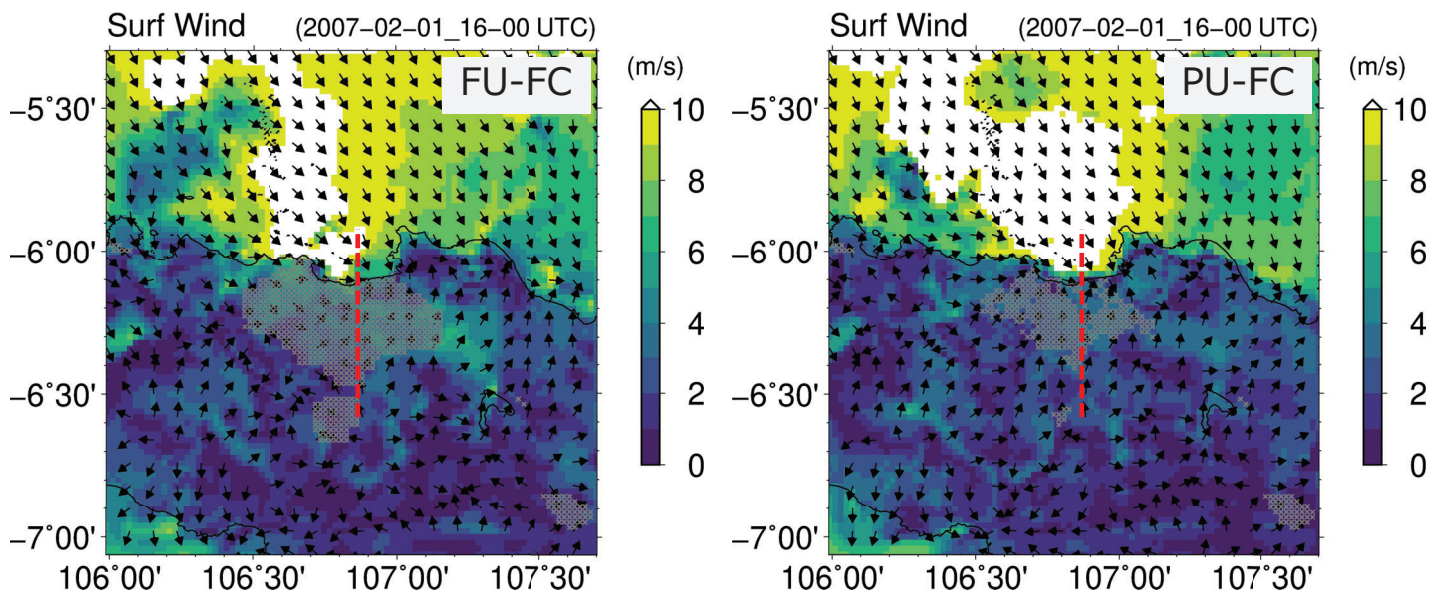
VS

Present Urban (PU)
&
Future Climate (FC)

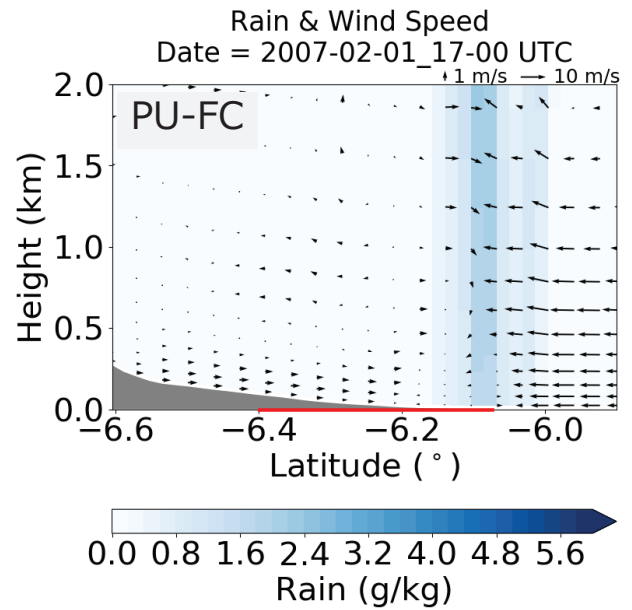
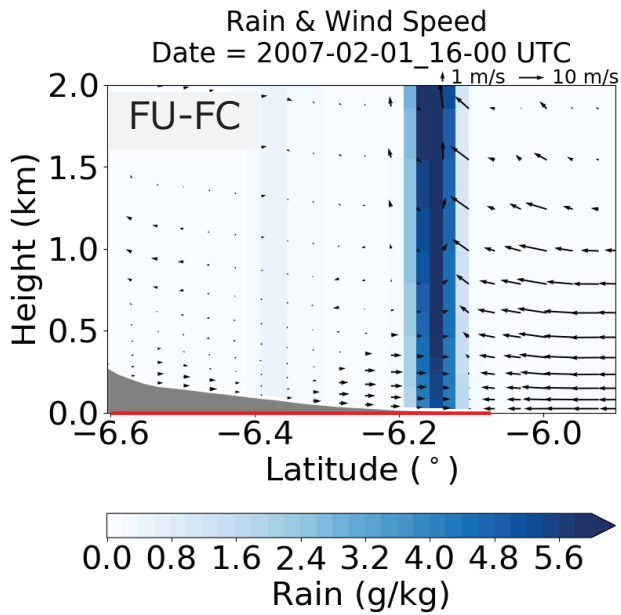
UE Effect: Hourly Prec (@2007-Feb-01 15UTC)



UE Effect: Surf Wind (@2007-Feb-01 15UTC)

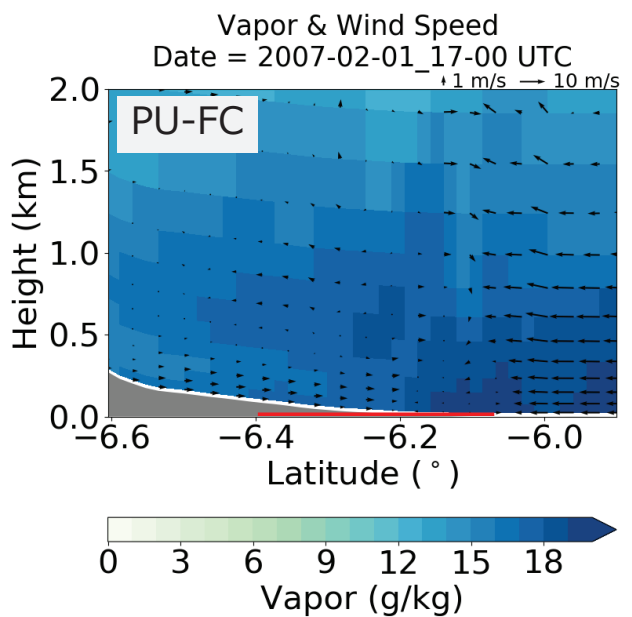
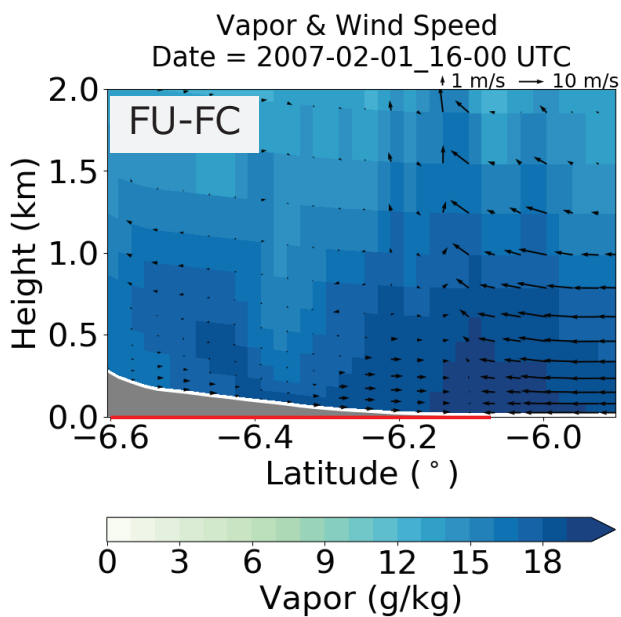


UE Effect: Rain & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Lower northerly winds were shallow in NU experiment

UE Effect: Vapor & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Convergence zone was shallow in NU experiment

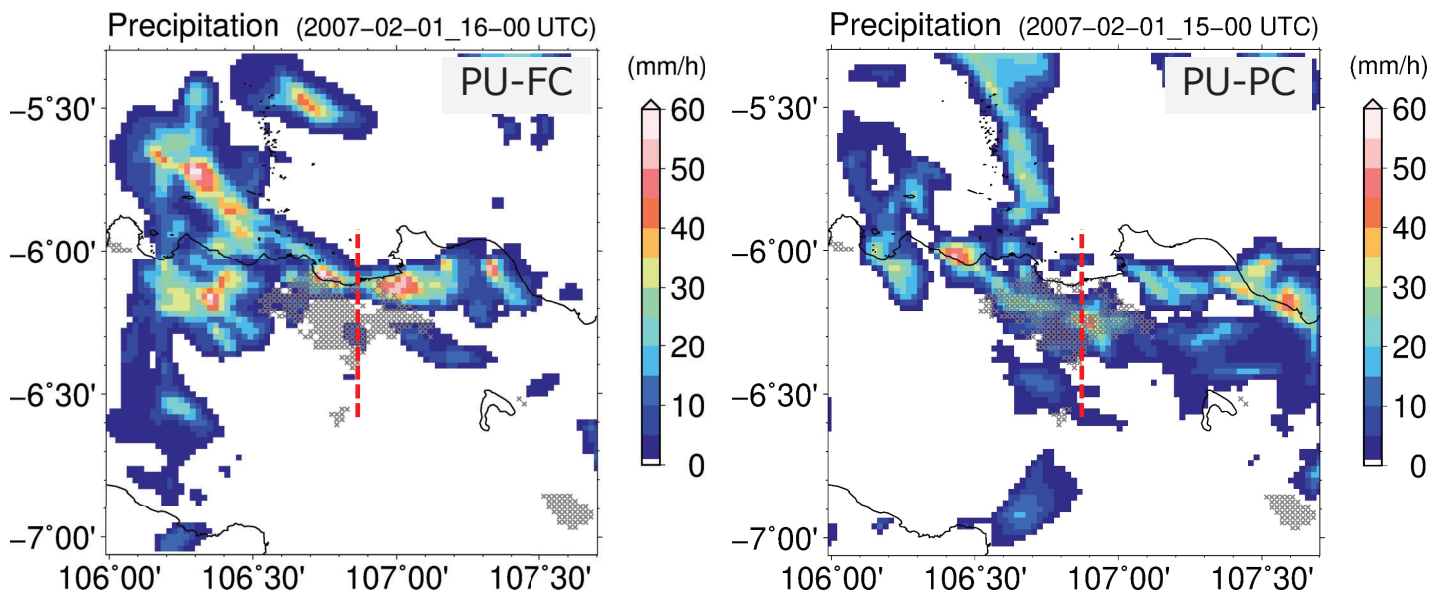
Pseudo Global Warming Effect

Future Urban (FU)
&
Future Climate (FC)

VS

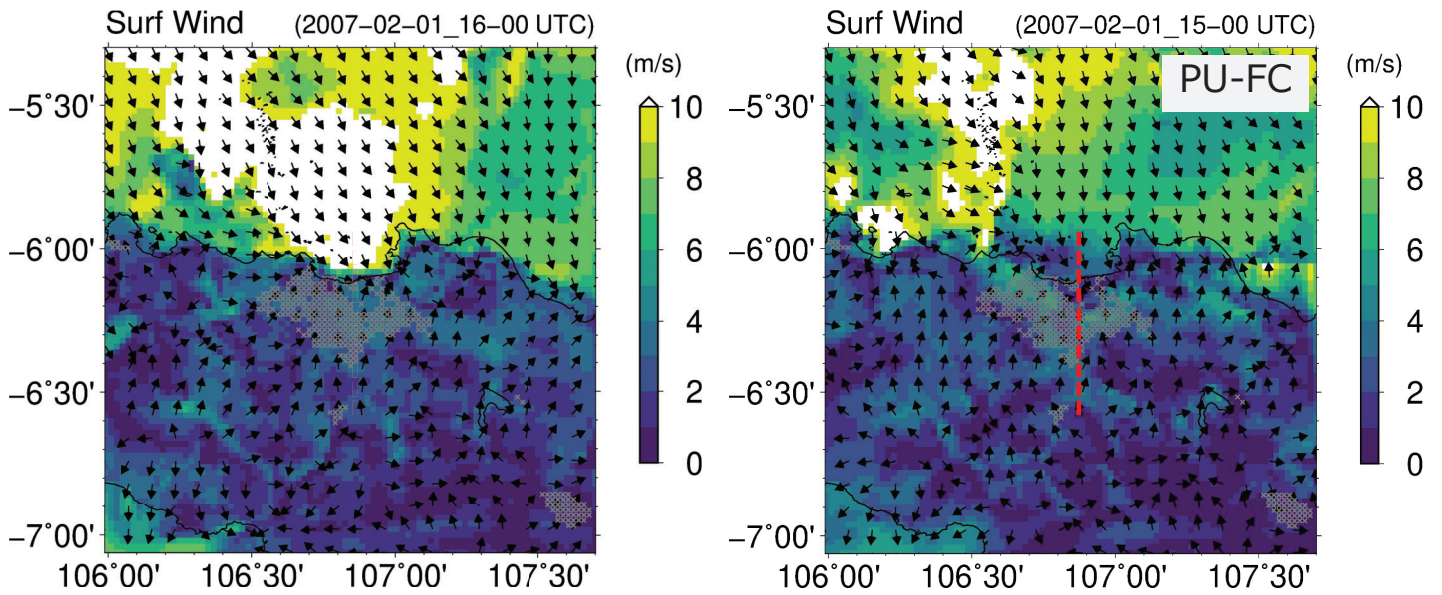
Present Urban (PU)
&
Present Climate (FC)

PGW Effect: Hourly Prec (@2007-Feb-01 15UTC)



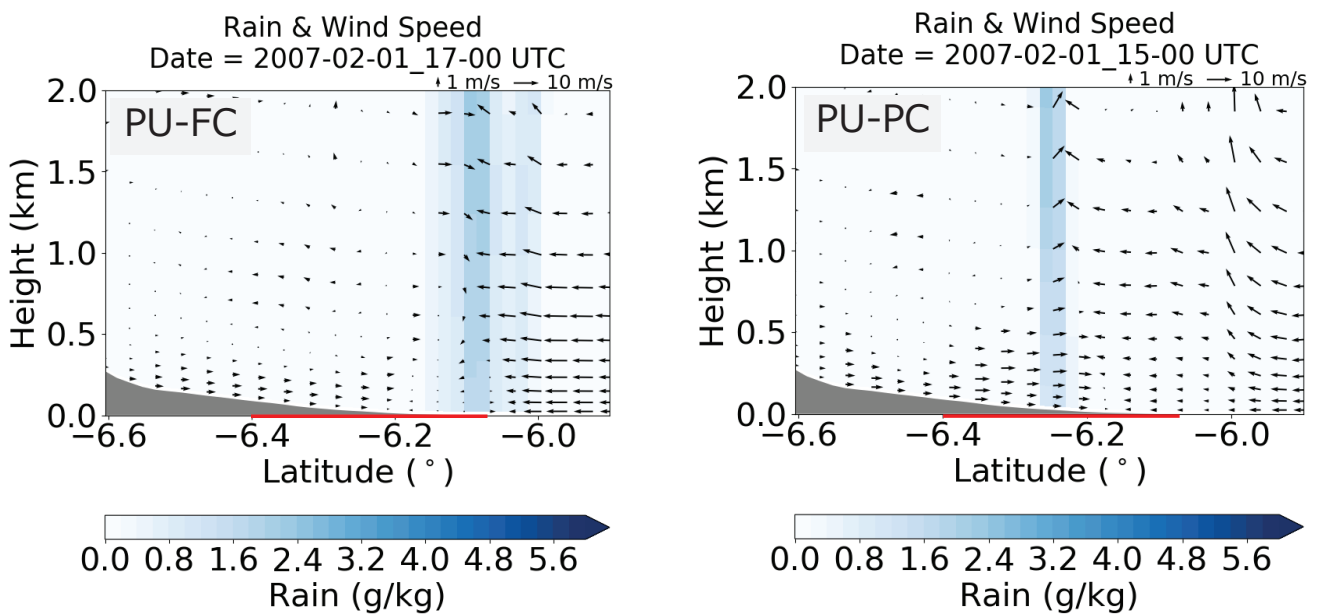
Precipitation area shifted to the northwest

PGW Effect: Surf Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



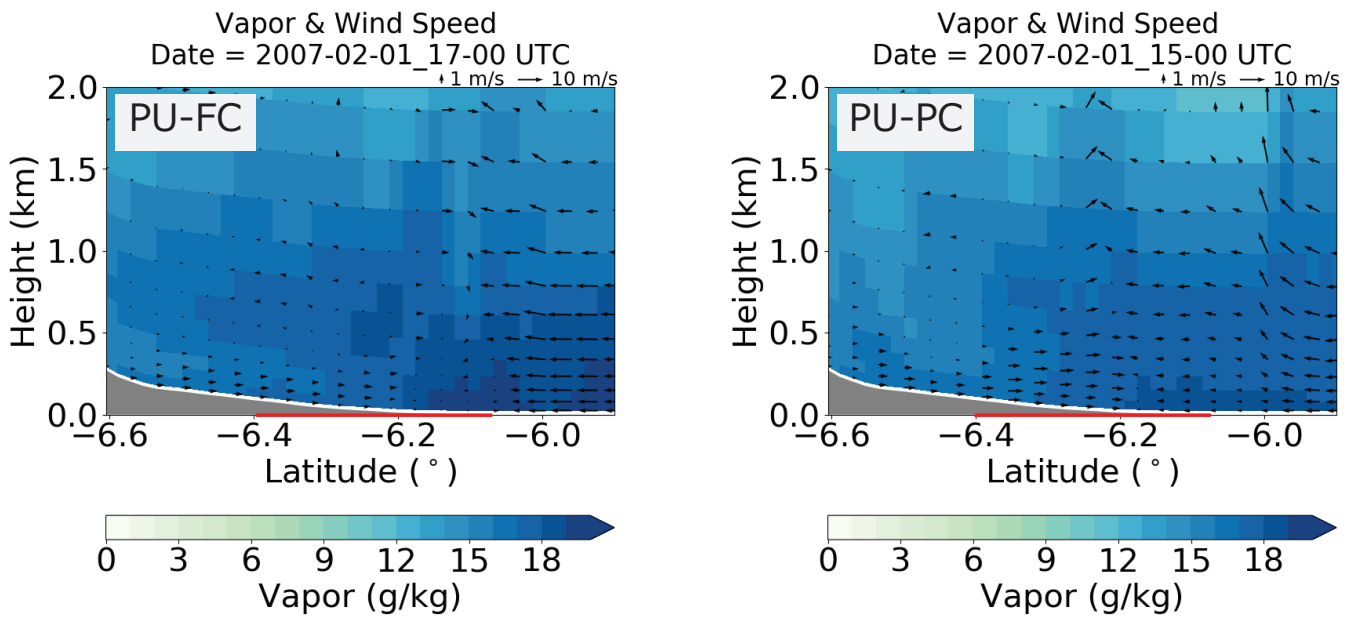
Easterly winds were slightly stronger in FC than those in PC

PGW Effect: Rain & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Northerly winds inland slightly shallower in FC than those in PC

PGW Effect: Vapor & Wind (@2007-Feb-01 15UTC)



Northerly winds inland slightly shallower in FC than those in PC

Summary

- ◇ We conducted Pseudo Global Warming & Urban Expansion experiment to reveal future changes in heavy rain in Jakarta.
- ◇ The future heavy rain was enhanced by the urban expansion.
- ◇ Climate change due to global warming has shifted precipitation areas to the northwest.

Final report of JICA project

The Project of Capacity Development for Implementation of Climate Change Strategies Phase 2 in the Republic of Indonesia

Target 4: Technical skill transfer and support for long-term forecasts (continues from Agri-insurance project)

Supari PhD

Adi Ripaldi

Amsari Mudzakir Setiawan

Damiana Fitria Kussatiti

Novi Fitrianti

Ridha Rahmat

Rosi Hanif Damayanti

Dyah Ayu Kartika

Muhammad Agfi Isra Ramadhan

Center For Climate Change Information, BMKG

Table of contents

I . Seasonal Forecast Evaluation

II . Monsoon variability study

III. Sub-Seasonal to Seasonal Prediction Study

IV. ENSO/IOD impact study

IV.1 The Impact of ENSO on Rainfall Variability in Indonesia

IV.2 Improvement of Indian Ocean Dipole Mode (IOD) Monitoring and Forecast

V. One Year Forecast Study

I . Seasonal Forecast Evaluation

Evaluation on Seasonal Forecast in 342 ZOM8110

Muhammad Agfi Isra Ramadhan and Rosi Hanif Damayanti

Introduction

Background :

The Indonesian Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) provide seasonal forecasts consisting of two predictions that cover the next 6 months after their release. These forecasts are based on collaboration between the headquarters and regional climate stations, with the wet season prediction released in October and the dry season prediction released in March. This biannual forecasting process involves the headquarters providing data, methods, and forecast models while regional climate stations choose suitable models for their area. After the selection process, both parties justify and agree on the final prediction. These forecasts are essential for planning and management purposes, especially for agriculture and disaster management sectors.

(BMKG) produces a range of seasonal forecasts that provide valuable information for the country. These forecasts include the Seasonal Onset, The Seasonal Onset Compared to Normal 1981 - 2010. The Seasonal Anomaly and the Seasonal Peak forecast. BMKG uses a system of classification based on the characteristics of climate to simplify the forecasting of the onset of seasons in different areas. This system divides the regions in Indonesia into two categories, namely Climate Region / Zona Musim (ZOM) and Non-Climate Region / Non-Zona Musim (Non-ZOM). Based on the previous normal data (1981 – 2010), there are 342 ZOMs and 65 Non-ZOMs. ZOM refers to an area with a distinct wet and dry season, while the Non-ZOM has an unclear distinction between the two. Since 2000, BMKG has been predicting the onset of seasons in each district using this classification system. BMKG uses the mapping of ZOM to predict the onset of seasons in each district that has a similar climate pattern. This helps to improve the accuracy of forecasts and enables better planning for various sectors that are dependent on weather conditions.

This study aims to evaluate seasonal forecasts in Indonesia, especially the seasonal onset forecast and seasonal onset forecast compared to normal from 2012 – 2022 that had been released by BMKG. Ultimately, our goal is to gain insights into the unique characteristics of seasonal forecasts in Indonesia and gather insights on the quality of the data and methods utilized for seasonal forecasting, in the hope of improving future forecast products by the BMKG. Accurate forecasting can enhance BMKG's services to the public, particularly in the agriculture sector. Therefore, the hope is that by improving the forecasting process, the BMKG can better support and benefit the public in this field.

Data and Method

This study utilized a set of data to investigate the onset of dry and wet seasons in Indonesia. The data used included the Dry Season Onset (Forecast And Observed) and the Wet Season Onset (Forecast And Observed) from 2012-2022 in 342 ZOM 1981 – 2010, which were released and evaluated by the BMKG. The forecasting models used are a combination of dynamic models which are ECMWF and CFS and statistical models namely ARIMA, ANFIS, WAVELET ARIMA, and WAVELET ANFIS which chose based on the best model that represents a ZOM. Additionally, the study also incorporated the Normal Season Onset from the BMKG observational dataset for both dry and wet seasons, which covered the period from 1981-2010.

BMKG uses a 10-day period called "dekad" to forecast seasons, dividing each month into three periods. Season onset is determined by a scientific approach using precipitation thresholds. Wet season onset is declared when precipitation for three consecutive dekads is >50mm per dekad or cumulative precipitation for those three dekads is >150mm. Dry season onset is declared when precipitation for three consecutive dekads falls below 50mm or cumulative precipitation for those three dekads is less than 150mm.

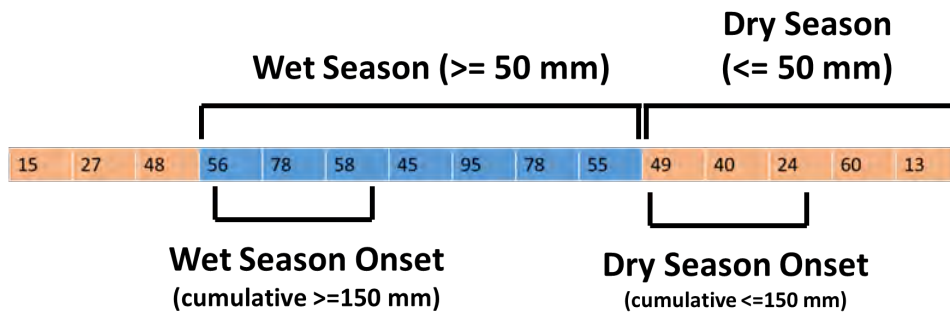


Figure 1. Defining dry and wet season onset in Indonesia

To evaluate these data we are using a contingency table to assess the accuracy of the forecast in comparison to the observed onset. The contingency table shown in Table 1 provides a comprehensive summary of the accuracy of the forecast by comparing the forecasted onset with the observed onset. In the contingency table, the observed onset is listed in the rows, while the forecasted onset is listed in the columns.

Season's onset forecast data from BMKG and observed season's onset data for both the wet and dry seasons are transformed into categorical data with three categories: Near Normal (NN), where season's onset of forecast and observation only differs by +/-1 dasarian (dekad), Earlier than Normal (E), where season's onset of forecast and observation differs by 2 or more dasarian (dekad), and Later Than Normal (L) where differs 2 or more dasarian (dekad) later than normal. For cases where the season's onset cannot be determined (Undefined Observed Onset) is not counted. This case can occur if in one year there is no clear season's onset like there is no dry season since high rainfall occur all year long (wet season all year long). Using the 3x3 contingency table, we compute the score and hit rate from the data that have been transformed to category data. Hit score is a statistical measure used in the evaluation of seasonal onset forecasting. It is calculated by dividing the number of true positives by the sum of true positives and false negatives.

The Season Onset Evaluation is the process of comparing the forecasted onset of a season to the observed onset of that season. If the difference between the forecasted onset and the observed onset is within one dekad, it will be counted as accurate and assigned a value of 1. However, if there is a difference of two or more dekads between the forecasted onset and the observed onset, it will be counted as inaccurate and assigned a value of 0. Instances, where the onset is undefined or not observed, will not be counted and will appear as blank in the evaluation.

Table 1. 3 x 3 Contingency Table for Verification of Season's Onset Forecast

SCORE	Observed E	Observed NN	Observed L
Forecast E	1	0	0
Forecast NN	0	1	0
Forecast L	0	0	1

Hit score is a commonly used metric in assessing the accuracy of seasonal onset forecasts and observations. This score is calculated using a formula that takes into account the number of times a forecast correctly predicted the onset of a season, as well as the number of times an observation accurately captured the onset. A high hit score indicates a strong agreement between the forecast and observation, suggesting a high level of accuracy in predicting seasonal onset. Conversely, a low hit score implies a lack of agreement between the forecast and observation, indicating a lower level of accuracy.

$$\text{hit score} = \frac{\text{correct forecast}}{\text{total forecast}}$$

To gain a more comprehensive understanding of seasonal forecasts in Indonesia, we are not only evaluating the country's forecast as a whole, but we are also dividing the analysis based on the major islands of Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali Nusra (Bali and Nusa Tenggara), and Malpap (Maluku Papua) shown in Figure 2. By doing so, we can observe the spatial distribution of the averages for each ZOM during both the wet and dry seasons. Additionally, we are comparing the results to those obtained using normal data to identify any potential anomalies or variations.

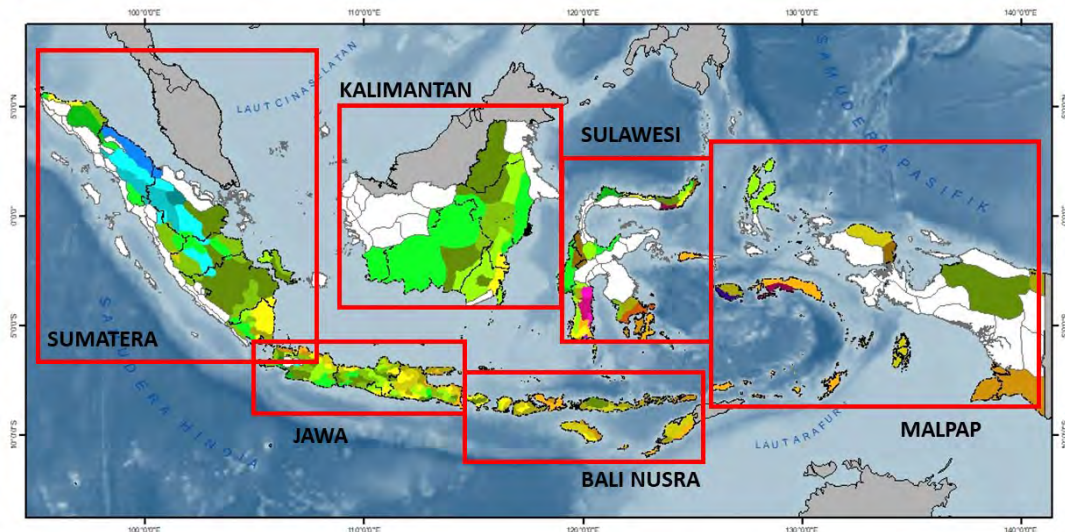


Figure 2. Big Island in Indonesia

Results and Future Tasks

Evaluation of Seasonal Onset Forecast Compared to Normal

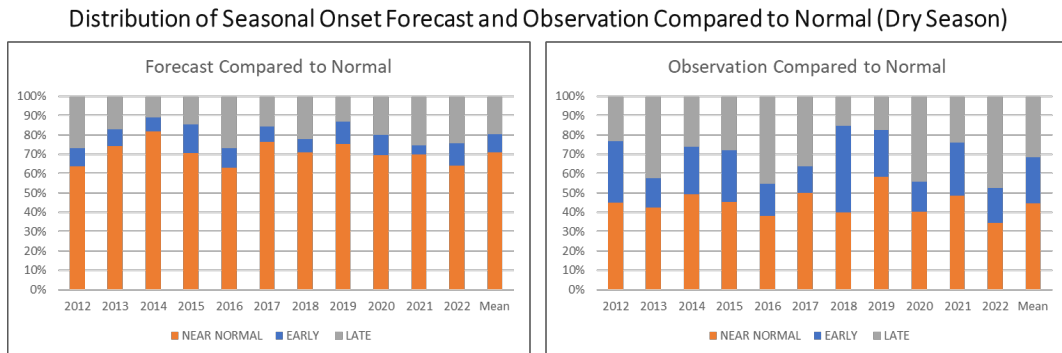


Figure 3. Distribution of seasonal onset forecast and observation compared to normal for dry season

Dry season onset forecast and observation conditions are compared in Figure 3. On average, Near Normal is the dominant forecast condition (71%), followed by Later than normal (21%) and Earlier than normal (9%). However, observations are more diverse, with Near Normal being the largest (42%), followed by Later than normal (29%) and Earlier than normal (22%). In some years, observations show less Near Normal conditions and more early dry season conditions compared to the forecast. Meanwhile, Figure 4 shows the wet season onset forecast and observation conditions, which are more varied compared to the dry season. On average, Near Normal is the dominant forecast condition (61%), followed by Late (25%) and Earlier than normal (14%). However, observations show different conditions, with Near Normal being the largest (40%), followed by Late than normal (36%) and Earlier than normal (21%). Wet season onset forecasts are able to see variations in the beginning of the season, although some difficulties still exist in some years.

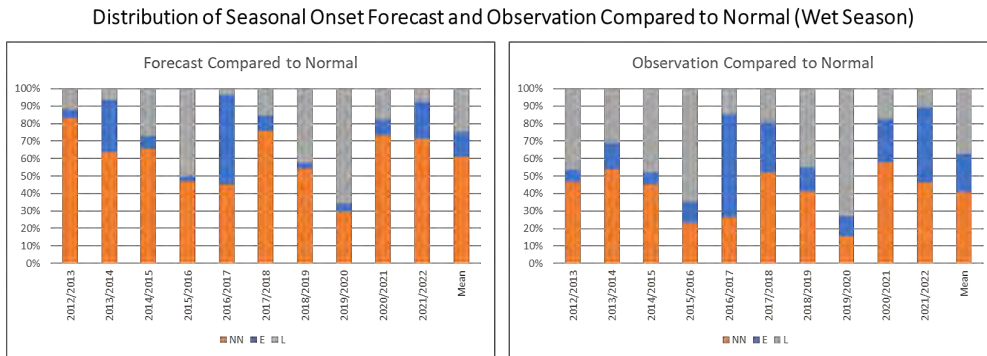


Figure 4. Distribution of seasonal onset forecast and observation compared to normal for wet season

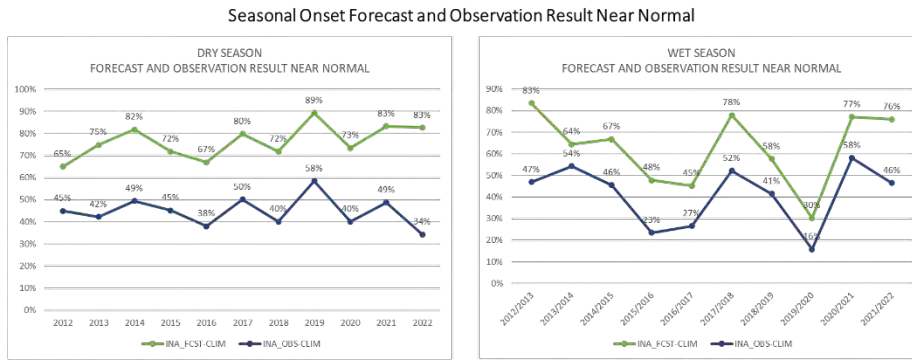


Figure 5. Forecast and observation result near normal for dry season and wet season

Focusing on the Near Normal Seasonal Onset condition in Figure 5 reveals notable differences between the dry and wet seasons. In the dry season, the forecast value compared to the norm (65% - 90%) is much higher than the observation value (34% - 58%). On average, there is a 31% difference between the forecast and observation, with a correlation of 0.55. Meanwhile, for the wet season, the difference between the forecast and observation is smaller, with a 10-year average difference of 22% and a high correlation pattern of 0.9.

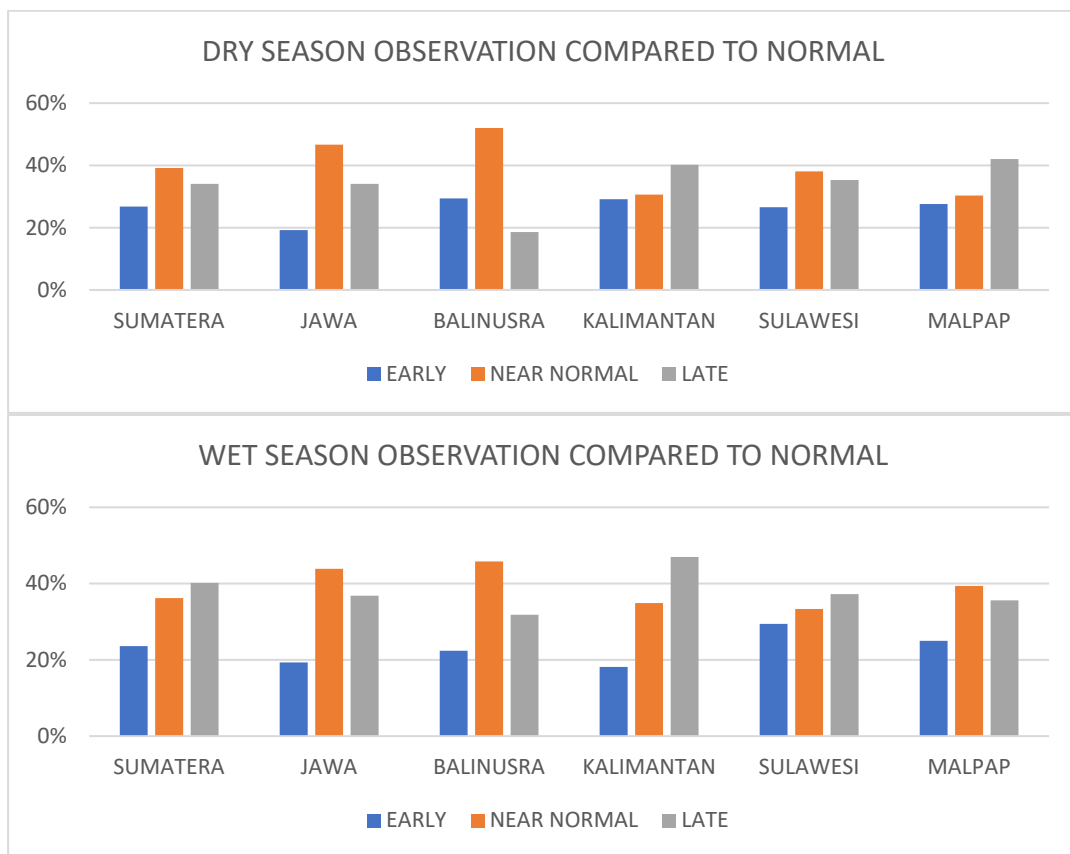


Figure 6. Dry season and wet season observation compared to normal in each big island in Indonesia

Figure 6 displays the average dry season observation compared to normal over ten years, revealing unique conditions on each major island. Sumatra and Sulawesi have balanced Early, Near Normal, and Late conditions, while Jawa and Bali Nusra have Near Normal dominance. Kalimantan and Malpap produce the beginning of the dry season late compared to the normal more than other phases. The average wet season onset observation compared to normal reveals regional differences.

Sumatra, Kalimantan, and Sulawesi consecutively phase from late than normal, near normal, and earlier than normal, while Java, Bali Nusra, and Malpap respectively show near normal, late than normal, and earlier than normal. No period in any region exceeds 50%.

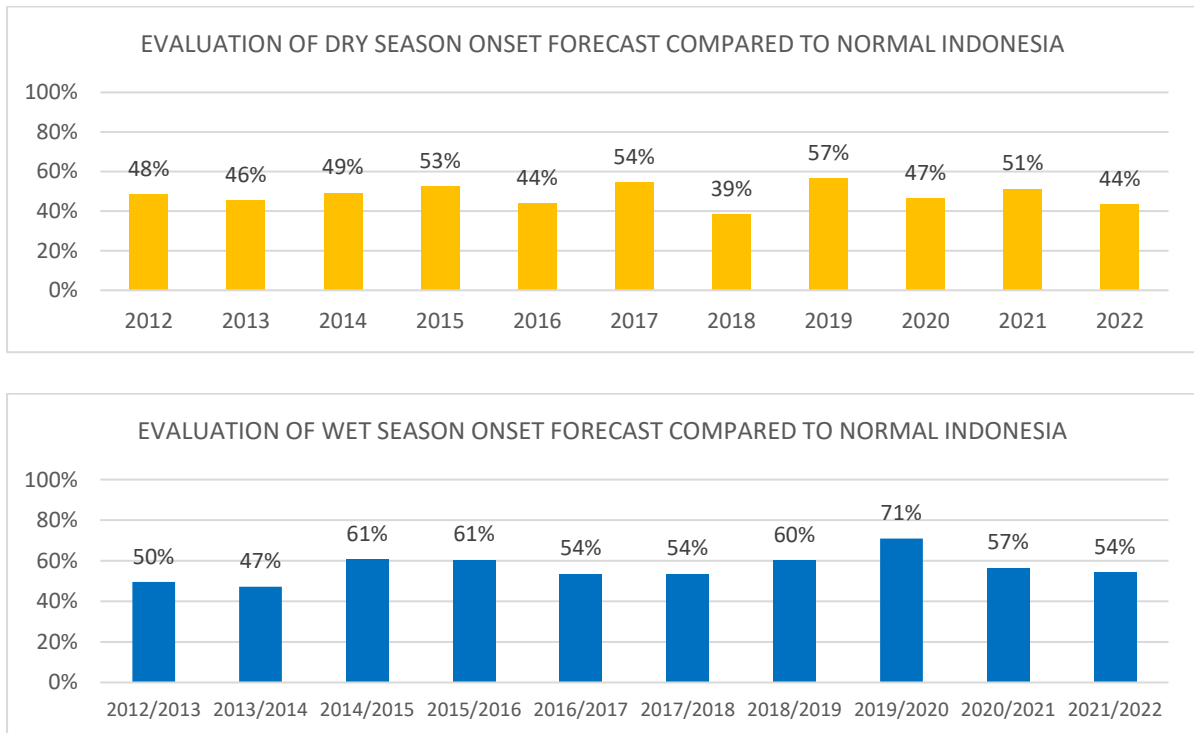


Figure 7. Evaluation of dry and wet season onset forecast compared to normal Indonesia

In Figure 7, evaluation values are presented for early dry season and early wet season forecasts from 2012-2022 compared to normal conditions. Dry season forecast evaluation values range from 40%-60% over the period, with the highest hit value of 57% in 2019 and the lowest value of 39% in 2018. Wet season forecast values compared to the norm range from 50%-60%, with the highest value in 2019-2020 at 71% and the lowest in 2013-2014 at 47%. This indicates that the wet season forecast is slightly better than the dry season forecast, which appears stagnant, possibly due to the dry season's sensitivity to global climate or intra-seasonal variability.

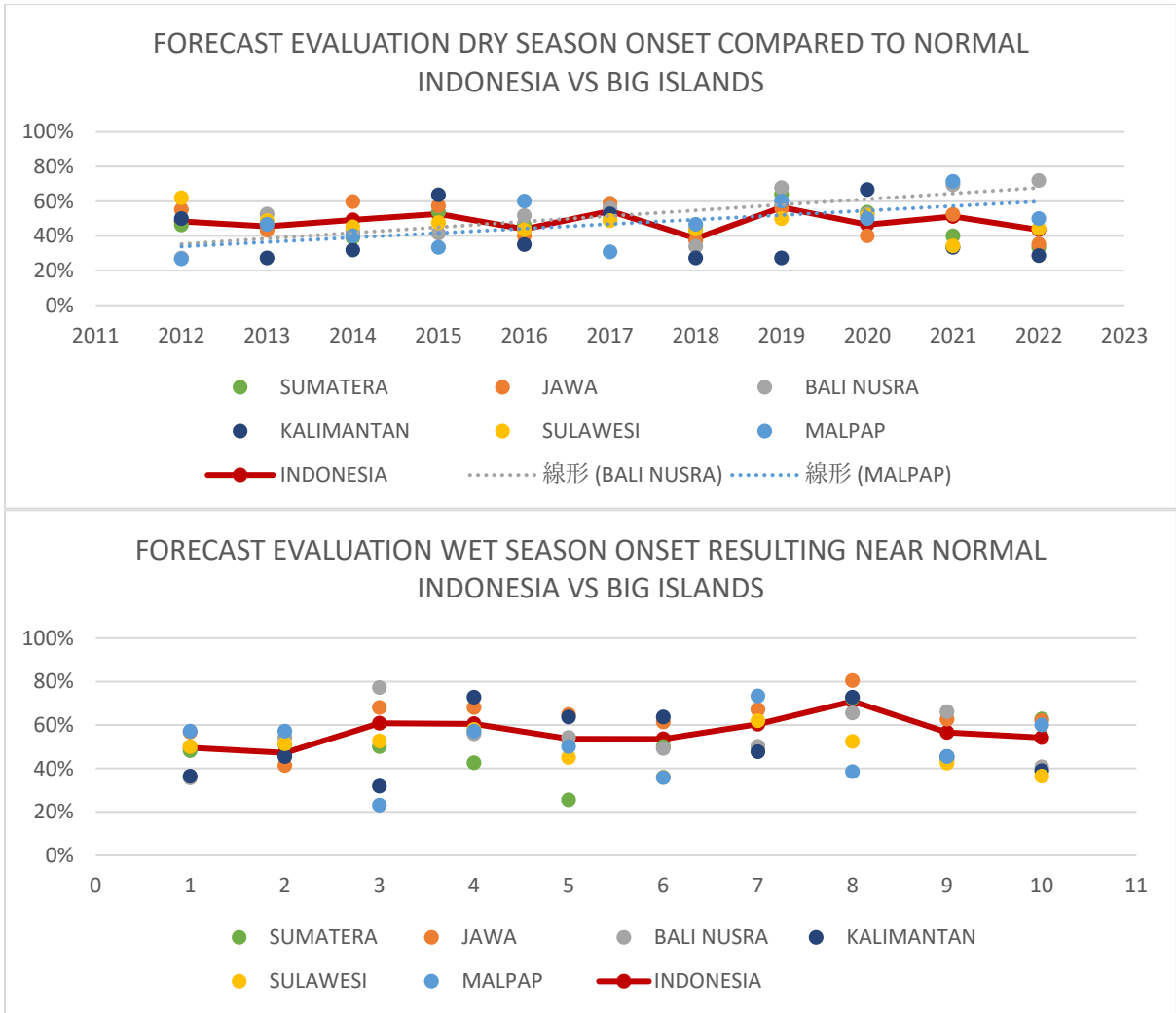
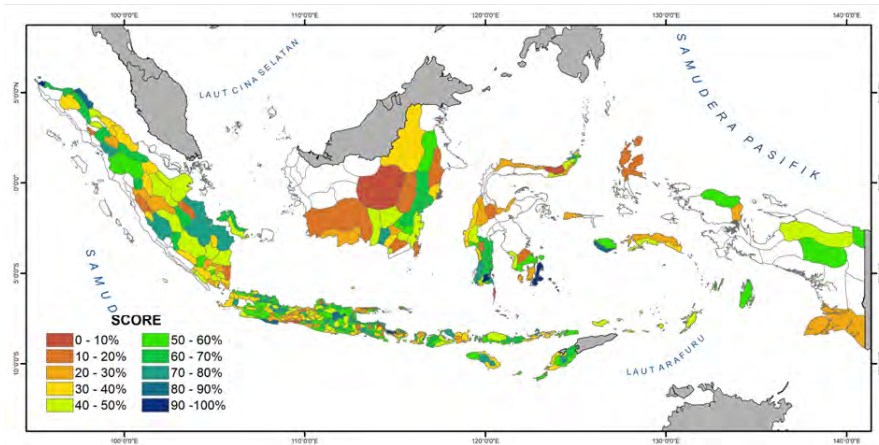


Figure 8. Evaluation of dry season onset forecast compared to normal Indonesia and Indonesia’s Big Island (top) and wet season onset forecast compared to normal Indonesia and Indonesia’s Big Island (bottom)

Figure 8 compares dry and wet season onset forecasts to normal for Indonesia and its major islands. Indonesia falls in the middle, while Kalimantan and Maluku Papua typically have the worst predictions. Java and Sulawesi produce consistent, often better, forecasts. Positive trends in the evaluation of the dry season can be seen in Maluku Papua and Bali Nusra. In the evaluation of wet season onset forecasts, Java consistently scores above 60%, while other regions vary yearly. No major island has shown a positive trend over the past decade. Figures 9 and 10 show hit score distributions. The equator produces the lowest scores for dry and wet season onset forecasts, while southern Indonesia scores better. Java is the only region consistently scoring in the 50%-90% range for wet season onset forecasts. The best overall score range is 40%-70%, with more members for the wet season range. Wet season forecasts also have a larger percentage of ZOMs with scores >80%, with 16 compared to 10 for the dry season.

Evaluation on Dry Season Onset Forecast Compared to Normal



Distribution Evaluation on Dry Season Onset Forecast Compared to Normal Score

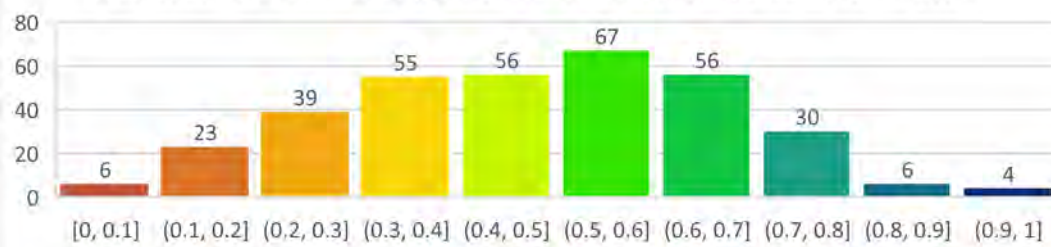
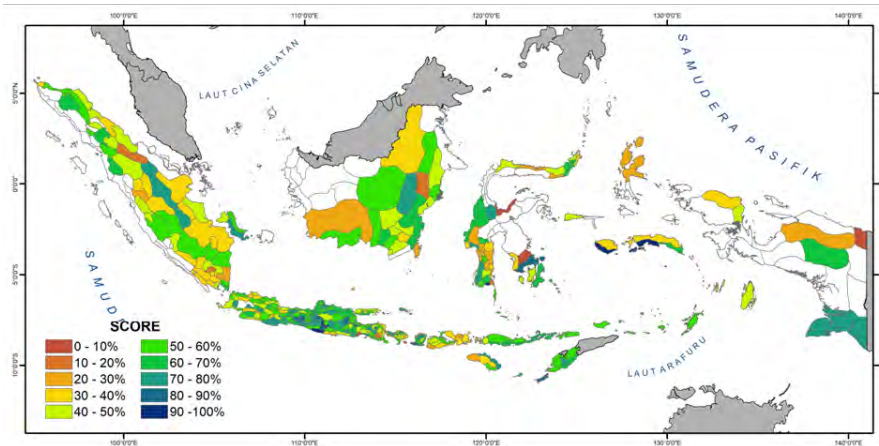


Figure 9 Spatial distribution and graph distribution of evaluation on dry season onset forecast compared to normal

Evaluation on Wet Season Onset Forecast Compared to Normal



Distribution Evaluation on Dry Season Onset Forecast Compared to Normal Score

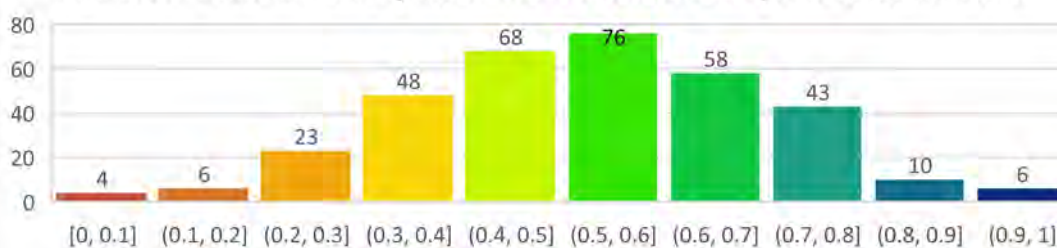


Figure 10. Spatial distribution and graph distribution of evaluation on wet season onset forecast compared to normal

Evaluation of Seasonal Onset Forecast

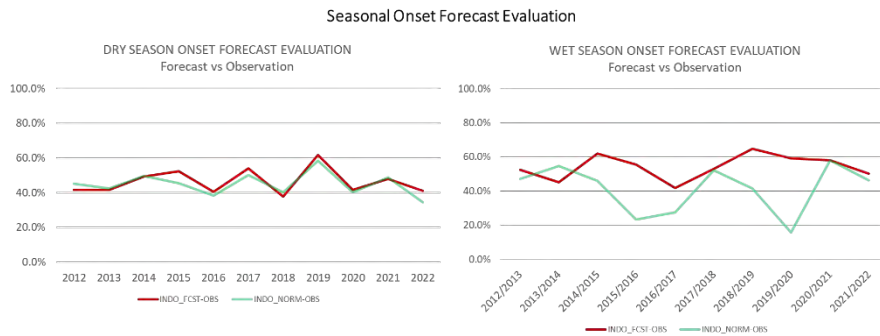


Figure 10. Spatial distribution and graph distribution of evaluation on wet season onset forecast compared to normal

In the dry season onset forecast evaluation (figure 10), it can be seen that the BMKG's predicted value and the normal predicted value are almost the same in the range of 40% - 60%. The two prediction values are very similar with a 10-year average difference between them of only $\pm 1\%$. Meanwhile, in the evaluation of the wet season onset forecast, there is a significant difference between the BMKG prediction and the normalized prediction. The largest gaps between predictions and predictions using the normals are in the 2015/2016 period with a difference of 32% and 2019/2020 with a difference of 44%.

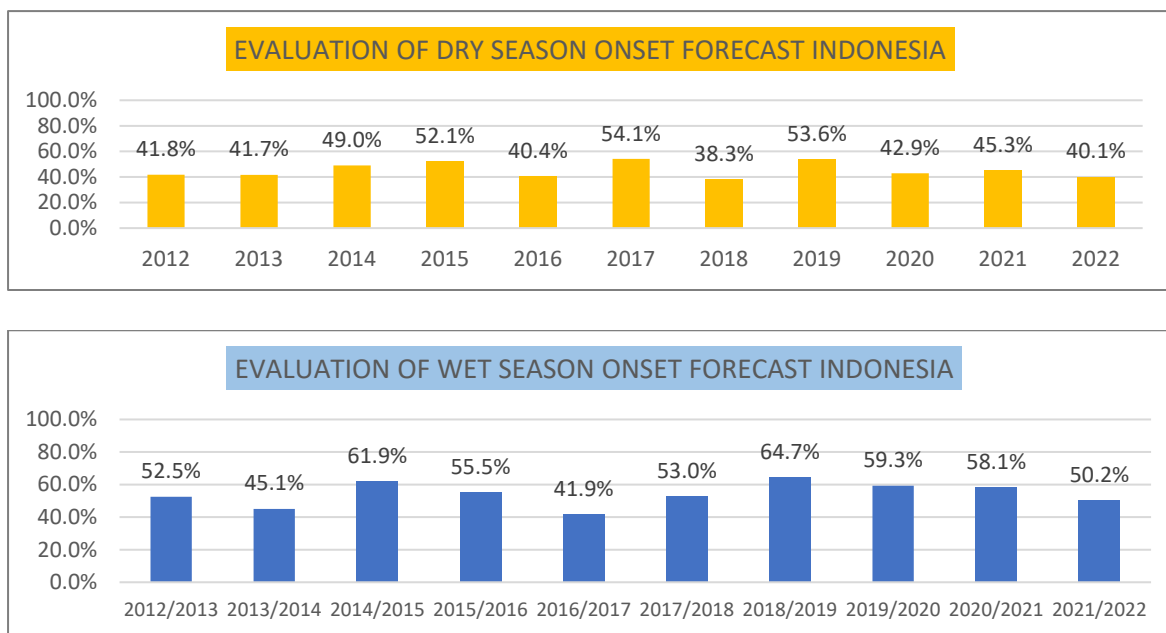


Figure 11. Evaluation of dry and wet season onset forecast Indonesia

The evaluation of seasonal onset forecasts in the dry season and wet season is shown in the two graphs Figure 11 above. In general, it can be seen that the predicted value of the beginning of the rainy season is slightly better than the prediction of the beginning of the dry season with an average difference between the two being 9% better for the wet season. In the dry season onset forecast, the forecast range for the last 10 years is in the range of 40% - 55%, with the lowest forecast value in 2018, while the highest forecast value is in 2017. Meanwhile, in the wet season onset forecast, the forecast range over the past 10 years is in the range of 40% - 65%, with the dominance of wet season forecast results being above 50%. Just like the dry season onset forecast, the wet season onset forecast tends to fluctuate in the last 10 years and for the last four years shows a downward trend.

For the dry season onset forecast evaluation between Indonesia's forecast (Figure 12), generally the Indonesian forecast is at the middle value compared to the other islands, as is the Indonesian forecast using normalized data. For the forecast evaluation of each island, the percentage spread across all islands each year is relatively large with a range of 40%. Some islands produce poor percentages each year, such as the islands of Kalimantan, Sulawesi, and Maluku Papua, which most years are in the range below 50% and worse than the national percentage. Some regions are better at predicting dry season onset, such as the BaliNusra region, which is often above 50%, better than the national percentage, and has a significant positive trend increase in the last 10 years.

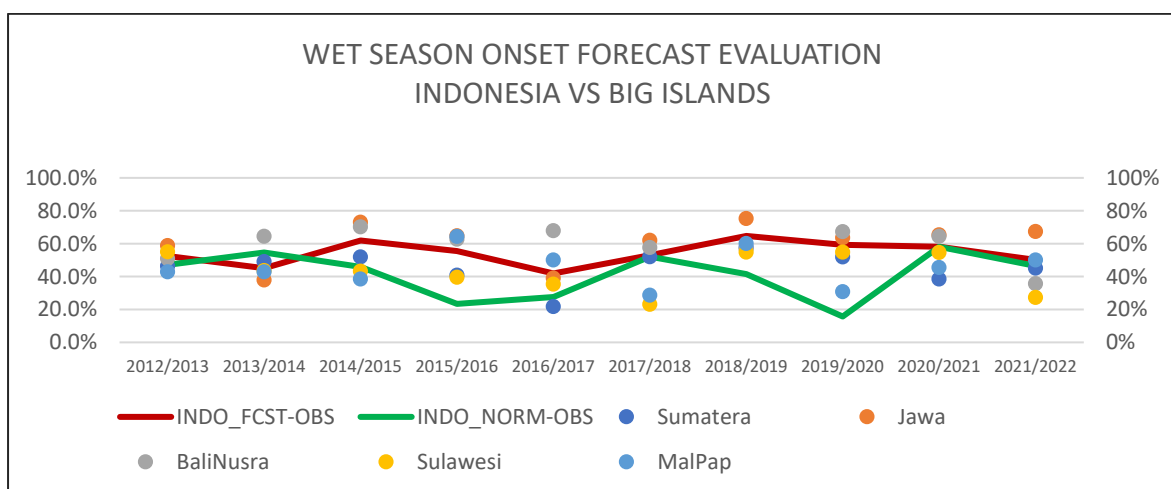
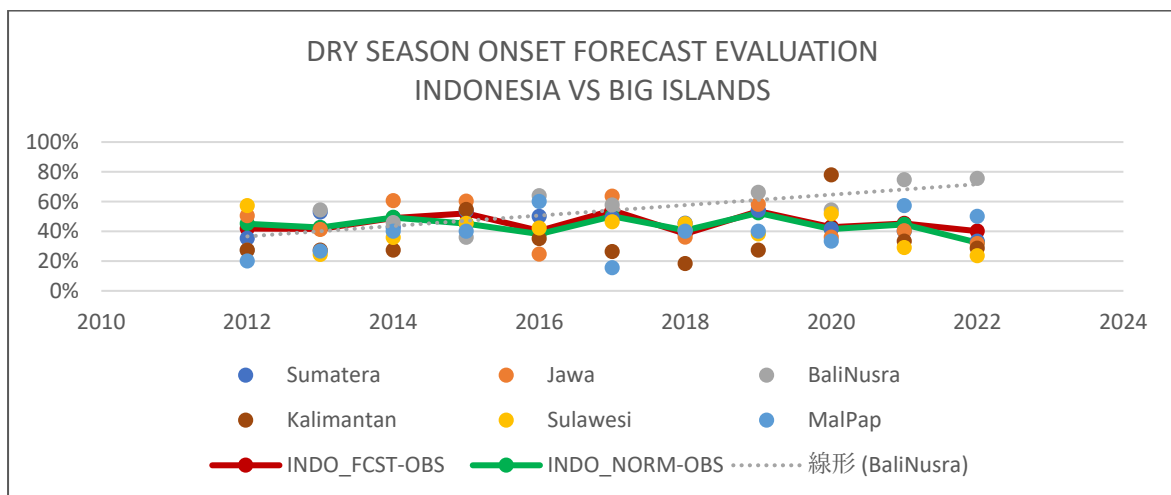


Figure 12. Dry season onset forecast (top) and wet season onset forecast (bottom) evaluation in Indonesia and its big island

Meanwhile, the evaluation of the wet season onset forecast shows more varied results. The national forecast evaluation is still the middle value compared to each island. Meanwhile, if we look at the evaluation of the national forecast using the normals, it can be seen that in many years the wet season onset forecast results are very poor. This is especially clear in the years 2015/2016, 2018/2019, and 2019/2020 where the forecasts using normals are the worst forecasts compared to the national and all islands with a small percentage. For the evaluation on each island, the whole island does not show consistent values each year with fluctuating percentages. Some areas dominated by forecasts with values >60% include Java and BaliNusra.

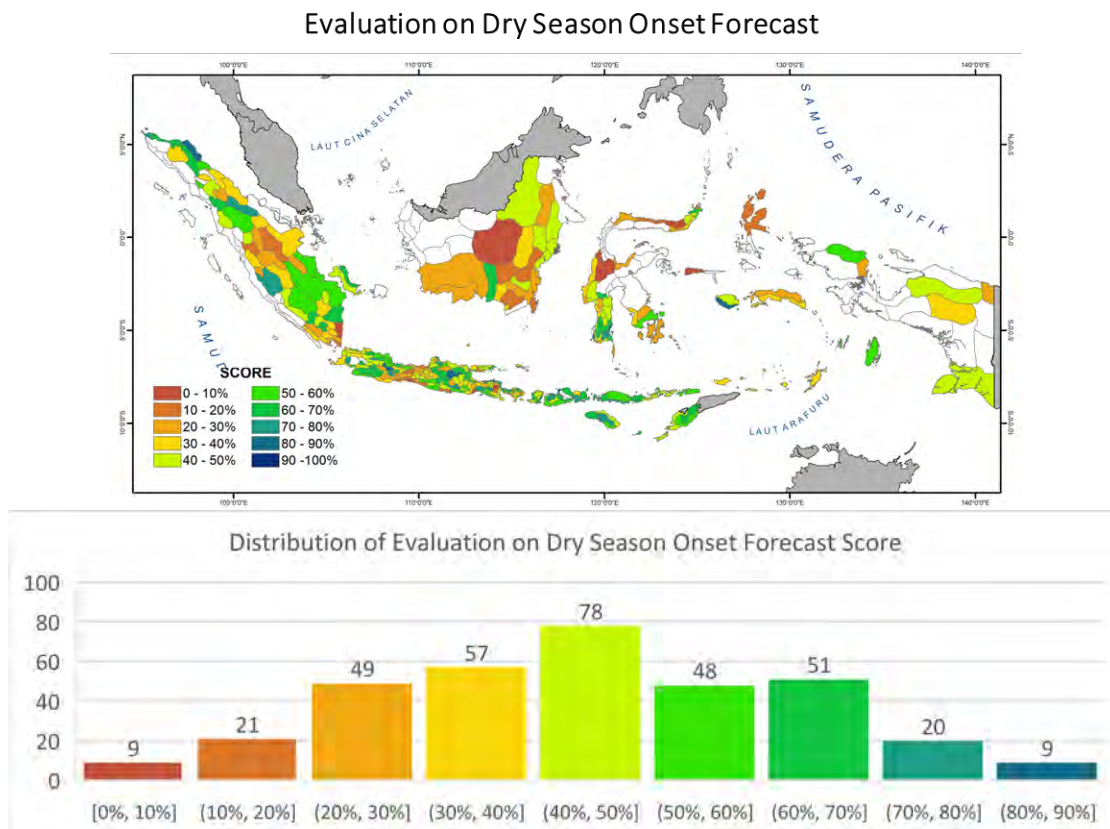


Figure 13. Spatial and graph distribution of evaluation on dry season onset forecast

The dry season onset displays spatial heterogeneity, as depicted in Figure 13. In comparison to the normal onset, the equatorial Indonesian region (including Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, and Maluku islands) exhibits the poorest forecast evaluation scores (0-40%). Additionally, central Java exhibits subpar scores, while southern Sumatra, western and eastern Java, Bali, and Nusa Tenggara attain relatively higher scores. The distribution score ranges from 40% to 50%, with only 9 ZOM surpassing a score of 80%.

The wet season onset evaluation (Figure 14) displays superior spatial and distributional scores in comparison to the dry season onset. The equatorial regions, including Kalimantan, Sulawesi, Maluku, and Papua, exhibit the lowest scores (10-30%), along with southern Sumatra. Conversely, central Java, Bali, and Nusa Tenggara manifest higher scores (50-90%). The highest score in the distribution ranges from 40-50%, while the highest distribution score ranges from 40-70%. The wet season onset forecast outperforms the dry season onset, with 21 ZOM surpassing a value of 80%.

Evaluation on Wet Season Onset Forecast

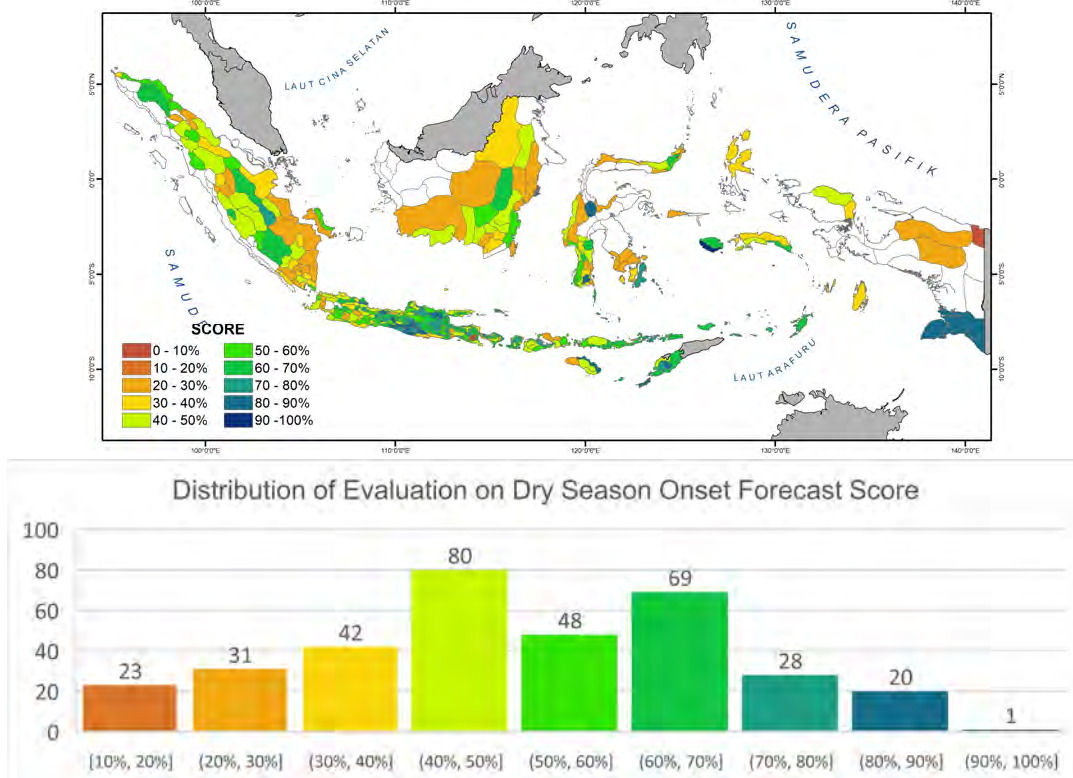


Figure 14. Spatial and graph distribution of evaluation on wet season onset forecast

Conclusion

In conclusion, the study compared the dry season onset forecast and observation conditions with the wet season onset forecast and observation conditions in Indonesia. The results showed that the Near Normal condition was the dominant forecast condition for both dry and wet seasons, with the wet season showing more variation in the beginning of the season. The study also revealed that there were notable differences between the dry and wet seasons, with the dry season forecast value compared to the norm being much higher than the observation value. The average wet season onset observation compared to the normal revealed regional differences, with Sumatra, Kalimantan, and Sulawesi showing late, near normal, and earlier than normal phases. In contrast, Java, Bali Nusra, and Malpap showed near normal, late than normal, and earlier than normal phases. The study also evaluated the dry and wet season onset forecast compared to normal conditions and found that the wet season forecast was slightly better than the dry season forecast. Finally, the study compared the evaluation of dry and wet season onset forecasts for Indonesia and its major islands and found that Java consistently scored above 60%, while other regions varied yearly. The equator produced the lowest scores for dry and wet season onset forecasts, while southern Indonesia scored better. The study provides important insights into the onset of the dry and wet seasons in Indonesia and can help improve forecasting models and decision-making processes.

Future Task

Over the past decade, the BMKG's seasonal forecasts have been subject to limitations stemming from the availability of datasets and methodologies. Moreover, the forecasting process and algorithms have not been refined, and there has been insufficient analysis of the local climate conditions in the relevant regions. This evaluation aims to highlight these shortcomings, with the expectation that it will catalyse an improvement in the quality of BMKG's seasonal forecasts going

forward. The following research paragraph proposes three future plans to enhance the accuracy of early season predictions using ZOM. The first plan is to disseminate the new ZOM9120 that uses the normal 1991-2020 compared to the outdated ZOM8110. The new ZOM incorporates better datasets and methods, which are expected to provide more reliable results. The second plan is to compare the performance of the ZOM 9120 with ZOM 8110 to identify the strengths and limitations of each model. Lastly, the research proposes to improve the evaluation process by implementing various methods such as machine learning and deep learning. These methods are expected to improve the accuracy of early season predictions, which can provide valuable insights for decision-makers in various industries.

II . Monsoon variability study

Case Study on Dry and Wet Season's Rainfall Variability

Muhammad Agfi Isra Ramadhan and Rosi Hanif Damayanti

Introduction

Background

Indonesia's climate diversity is caused by its strategic geographical location in the tropics, between the Asian and Australian Continents, the Pacific and Indian Oceans, and passed by the equator [1]. Global phenomena such as El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD) and regional phenomena such as Asia-Australia monsoon wind circulation, Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ), and sea surface temperature conditions also affect Indonesia's climate. ENSO is a global ocean-atmosphere interaction system that causes sea surface temperature anomalies in the Equatorial Central Pacific.

El Niño occurs when there is a positive temperature anomaly and La Niña occurs when there is a negative anomaly. ENSO is a cyclical pattern of climate variability in the eastern equatorial Pacific, that is characterized by anomalies in both sea surface temperature (SST; referred to as El Niño and La Niña for warming and cooling periods, respectively) and sea-level pressure (Southern Oscillation) [2]. Some paper stated that Indonesian rainfall is coherent and strongly correlated with ENSO variations in the Pacific basin [3,4]. However, the impact of El Niño and La Niña is not evenly distributed across Indonesia due to its vastness and each region has its own characteristics thus should be investigated individually [5].

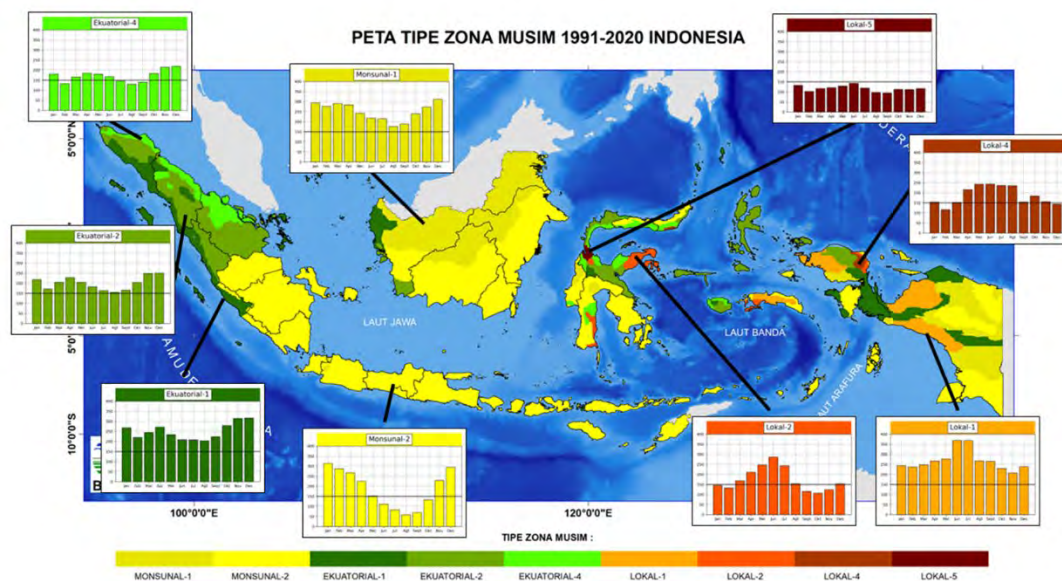


Figure 1. Indonesia climate region (Zona Musim or ZOM) Map

Since 2022, BMKG has released a new climate region or Zona Musim (ZOM) [6] that divided Indonesia into 699 ZOMs based on the normal rainfall for the 1991-2020 period (Figure 1). These zones are categorized into three types of seasonal zones: Monsoonal, Equatorial, and Local. The Monsoonal ZOM type has an annual rainfall pattern with one period of highest rain and one period of lowest rain, with the highest rainfall occurring during the Asian monsoon period. Monsoonal ZOMs are further divided into Monsoonal-1 and Monsoonal-2 sub-types, which have only one season and two seasons respectively. The Equatorial ZOM type has an annual rainfall pattern with two rain peaks

and consists of Equatorial-1, Equatorial-2, and Equatorial-4 sub-types, with one, two, and four seasons respectively. The Local ZOM type has an annual rainfall pattern different from the monsoon and equatorial types, with one period of high rainfall and one period of low rainfall, but the highest rainfall does not occur during the Asian monsoon period. The Local ZOM type consists of Local-1, Local-2, Local-4, and Local-5 sub-types, with one, two, four, and only dry season periods respectively.

This unique regional climate variability in Indonesia presents a challenge for BMKG to provide accurate and comprehensible climate information, crucial for policy-making across sectors to improve welfare. Therefore, it is imperative to enhance climate forecast accuracy by analyzing climate variability patterns and their atmospheric-oceanic drivers. This study focuses on analyzing dry and wet season variability in JABAR 31 ZOM and JATENG 24, with a monsoonal climate type, as a pilot project to the other 697 ZOMs.

Data and Method

This study employs several datasets to investigate the variability of precipitation in ZOM JABAR 31 and ZOM JATENG 24, located in the center of West Java and in the central north of Central Java, respectively shown in figure 2. Each of ZOM has Monsoonal-2 type which has one wet season peak and one dry season peak. Precipitation data from 1991-2022 are obtained in dekad format, utilizing a gridded dataset that blends observations with CHIRP satellite data. Additionally, the onset of the dry and wet seasons during the same period is analyzed, as well as the normal precipitation during 1991-2020 and the normal onset of the dry and wet seasons from 1981-2010.



Figure 2. Sites location of JABAR 31 and JATENG 24

Furthermore, the Oceanic Niño Index (ONI) [7], a widely used indicator of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), is used as an external forcing to provide a comprehensive understanding of the precipitation variability in the aforementioned ZOMs. The Oceanic Niño Index (ONI) showed in figure 3 is currently the prevailing standard used by NOAA to classify El Niño (warm) and La Niña (cool) events in the eastern tropical Pacific. The ONI calculates the running 3-month mean SST anomaly for the Niño 3.4 region, which is between 5^oN-5^oS and 120^o-170^oW. To be classified as an event, five consecutive overlapping 3-month periods should have anomalies that are at or above +0.5^o for warm (El Niño) events or at or below -0.5 anomaly for cool (La Niña) events. The threshold is further categorized into Weak (0.5 to 0.9 SST anomaly), Moderate (1.0 to 1.4), Strong (1.5 to 1.9), and Very Strong (≥ 2.0) events. To be classified as weak, moderate, strong or very strong, an event must meet or exceed the threshold for at least three consecutive overlapping 3-month periods, as required for the purpose of this report.

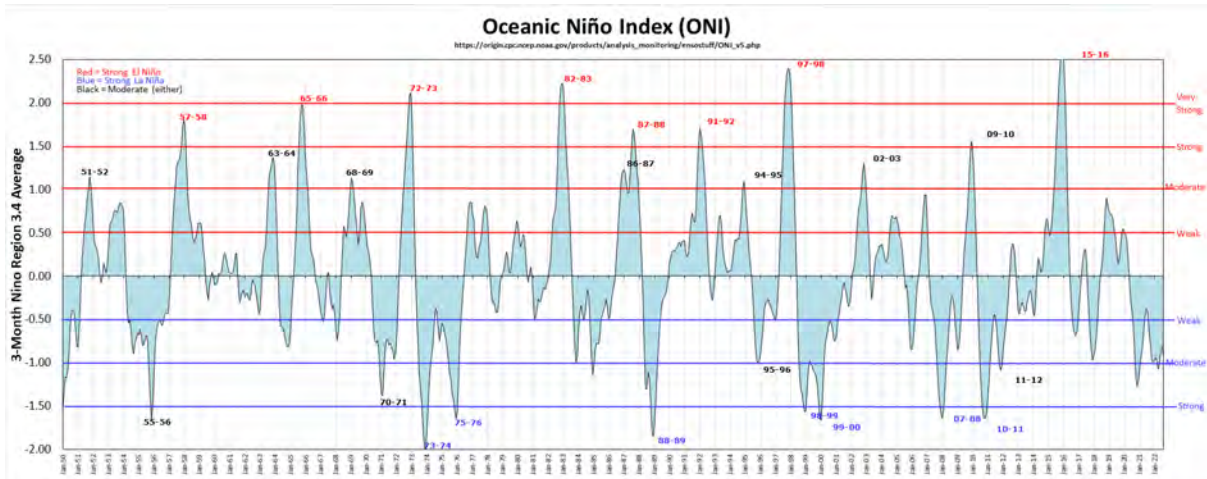


Figure 3. Oceanic Niño Index

The method that used in this study, firstly involved calculating the observed rainfall value in ZOM JABAR 31 and ZOM JATENG 24. This was done using the average rainfall value from all of the grids in each ZOM. The observed dry season onset and retreat were identified using the criteria defined by BMKG. The dry season onset was defined as less than 50mm/dasarian, followed by two dekad after that, while dry season retreat was defined as 1 dekad before the next wet season onset. Similarly, the observed wet season onset and retreat were identified using the criteria defined by BMKG, with the wet season onset defined as rainfall more than 50 mm/dekad followed by two dekad, and wet season retreat defined as 1 dekad before the next dry season onset. Standard deviation was used to analyze the variation of observed dry and wet season onset and retreat to its normal in ZOM JABAR 31 and JATENG 24.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \mu)^2}{N}}$$

σ : standard deviation
 x : value of each data
 μ : mean
 N : number of data

Additionally, standard deviation and coefficient of variation were used to analyze dry and wet season's cumulative rainfall in ZOM JABAR 31 and ZOM JATENG 24.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

CV : coefficient of variation
 σ : standard deviation
 μ : mean

Linear regression was also used to analyze the trend of dry and wet season's cumulative rainfall in ZOM JABAR 31 and ZOM JATENG 24 from 1991 – 2021.

$$y = ax + b$$

y : dependent variable
 x : independent variable

a : slope or gradient (increasing / decreasing rate)

b : y-intercept (level of y when x is 0)

The Mann-Kendall Trend Test was used to test the trend of dry and wet season’s cumulative rainfall in ZOM JABAR 31 and ZOM JATENG 24 during 1981-2021, with a significance level of 95%. Finally, composite and average of ENSO phenomenon were used to analyze the relation between rainfall and ENSO during 1991 – 2019.

Results and Future Tasks

Results

a) ZOM JABAR 31

Table 1. Dry Season Onset Variation ZOM JABAR 31

Dry Season (JABAR 31)		
Standard Deviation	3.1	
Onset (Dekad)	Count	Total
JAN I	1	17
JAN II	0	
JAN III	0	
FEB I	0	
FEB II	0	
FEB III	1	
MAR I	0	
MAR II	0	
MAR III	0	
APR I	1	
APR II	1	
APR III	6	
MAY I	7	
MAY II	6	Normal
MAY III	3	8
JUN I	2	
JUN II	3	

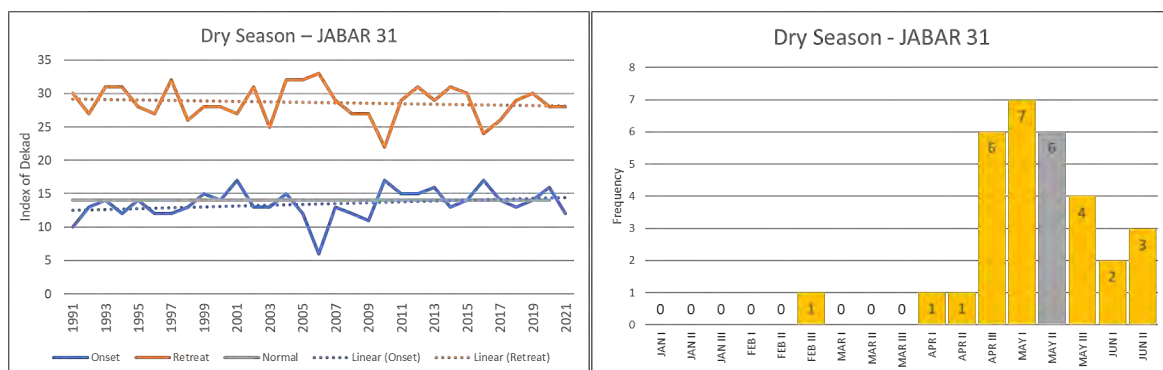


Figure 4. Variation (left) and distribution (right) of dry season onset in ZOM JABAR 31 compared to its normal condition

The dry season onset in JABAR 31 varies greatly, ranging from 2 to 17 decades with a standard deviation of 3.1, as shown in table 1 and figure 4. In terms of early onset, the furthest was in 2006 (JAN I), which was 13 dekad earlier than the norm, while the furthest late onset was in 2016 (JUN II), which was 3 decades late compared to the norm. When compared to the norm, early onset dominates with 17 decades, while late onset has only 8 decades and normal onset has 6 decades. The longest dry season occurred in 1997 for 28 dry season periods, while the shortest was in 2010 for only 6 dekad. Analysis of the period and trend of dry season onset and retreat shows a tendency towards a shorter dry season period from 1991-2021.

Table 2. Wet Season Onset Variation ZOM JABAR 31

Wet Season (JABAR 31)		
Standard Deviation	2.6	
Onset (Dekad)	Count	Total
AUG II	1	15
AUG III	0	
SEP I	1	
SEP II	1	
SEP III	2	
OCT I	5	
OCT II	5	
OCT III	4	Normal
NOV I	3	12
NOV II	5	
NOV III	3	
DEC I	1	
DEC II	0	
DEC III	0	

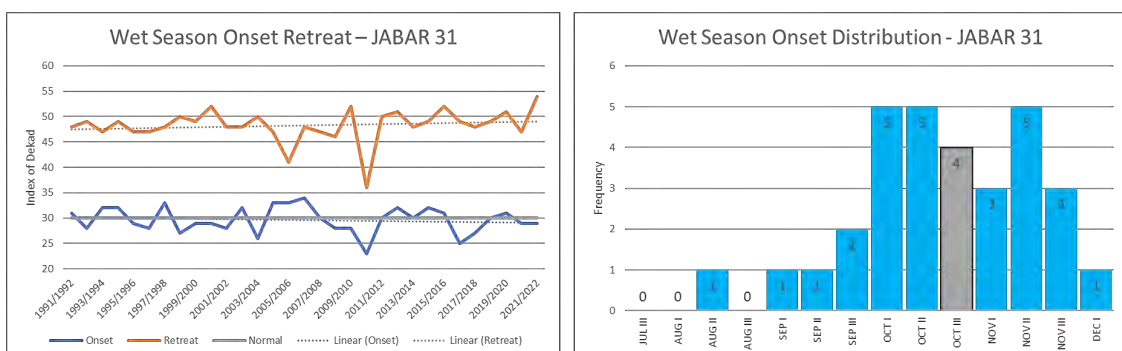


Figure 5. Variation (left) and distribution (right) of wet season onset in ZOM JABAR 31 compared to its normal condition

Table 2 and figure 5 display the wet season onset conditions, which have a lower standard deviation than the dry season onset at 2.6. The furthest wet season onset from normal occurred in 2011/2012 in AUG II, 7 dekad earlier than usual, while the latest dry season onset from normal occurred in 2007/2008 in DEC I, 4 dekad later than usual. Earlier than normal conditions dominate

with 15 events, followed by later than normal conditions with 12 events, and 4 years with normal conditions. The wet season onset varies between dekad 22-32, and the wet season retreat varies between dekad 36-52 (dekad 16 in the following year). The longest period occurred in 2009/2010 with 25 dekadal periods, while the shortest period occurred in 2005/2006 with 9 decadal periods. The trend shows that the wet season period is increasing over the years.

Table 3. JABAR 31 Rainfall

JABAR-31 Rainfall	Dry Season	Wet Season
Normal (1991-2020)	324	1545
Standard of Variation	132.11	384.62
Coefficient of Variation	0.40	0.24

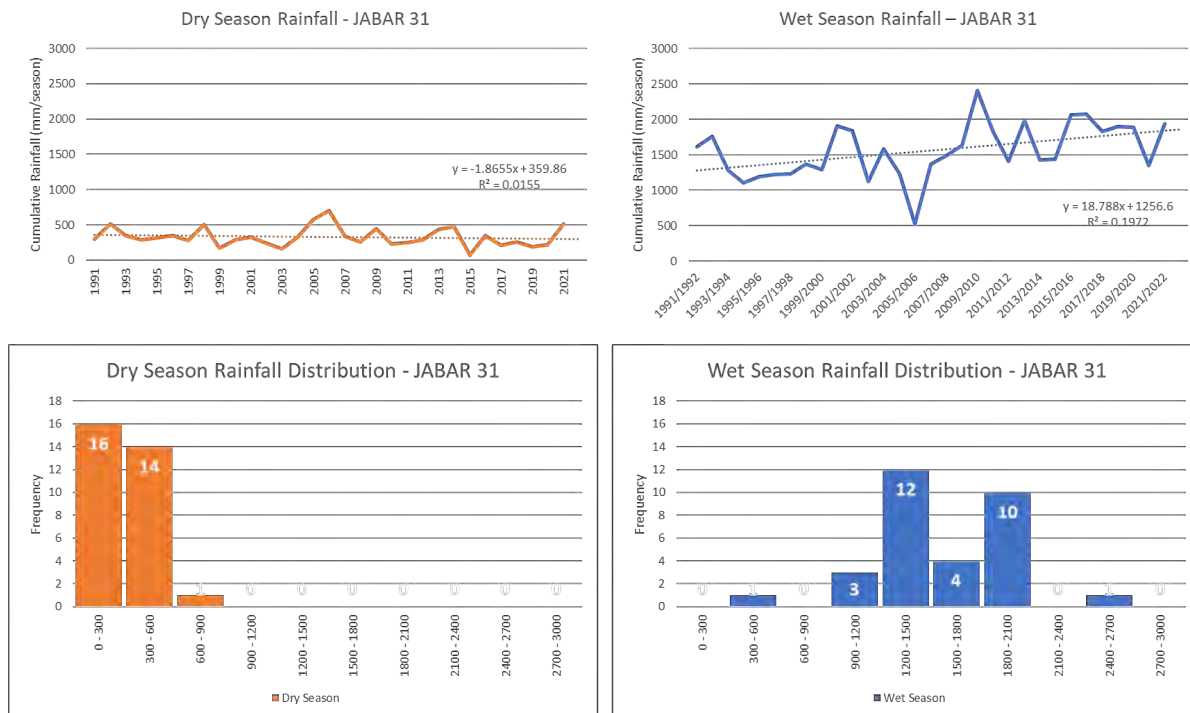


Figure 6. Trend(left) and distribution (right) of dry season (left) and wet season (right) in ZOM JABAR 31

Rainfall in ZOM JABAR 31 is summarized in table 3 and figure 6 Normal rainfall for the dry season is 324 mm and for the wet season is 1545 mm, with variations of 132.11 mm and 384.62 mm, respectively. The dry season mostly has rainfall in the range of 0 - 300 mm for 16 years, with the lowest CH value in 2015 (67 mm, -80% anomaly). Wet season rainfall is mostly in the range of 1200 - 1500 mm for 12 years, with the highest CH value in 2019 - 2020 (2460 mm, +60% rainfall). Trends show a significant decrease for the dry season and a significant increase for the wet season.

Table 4 El Niño effect in JABAR 31

El Niño	Event	Prec	Normal Onset	Observed		Period
				Onset	Retreat	
Dry Season	WE	441	14	12	31	21
	ME	326	14	12	30	19
	SE	213	14	12	31	20
	Norm 9120	324	14	16	29	16
Rain Season	WE	1483	30	32	48	17
	ME	1545	30	31	50	20
	SE	1638	30	32	49	19
	Norm 9120	1545	30	24	49	20

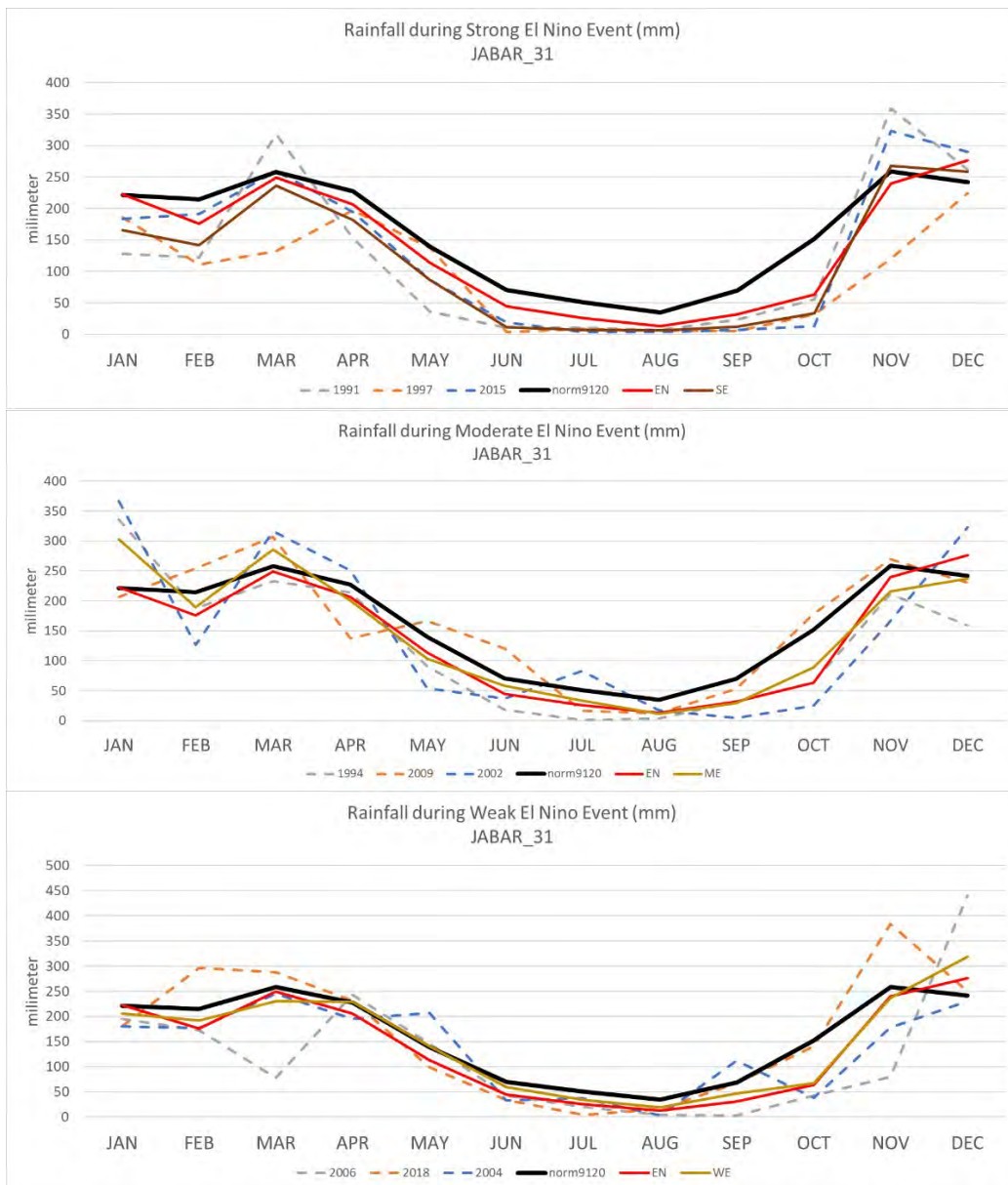
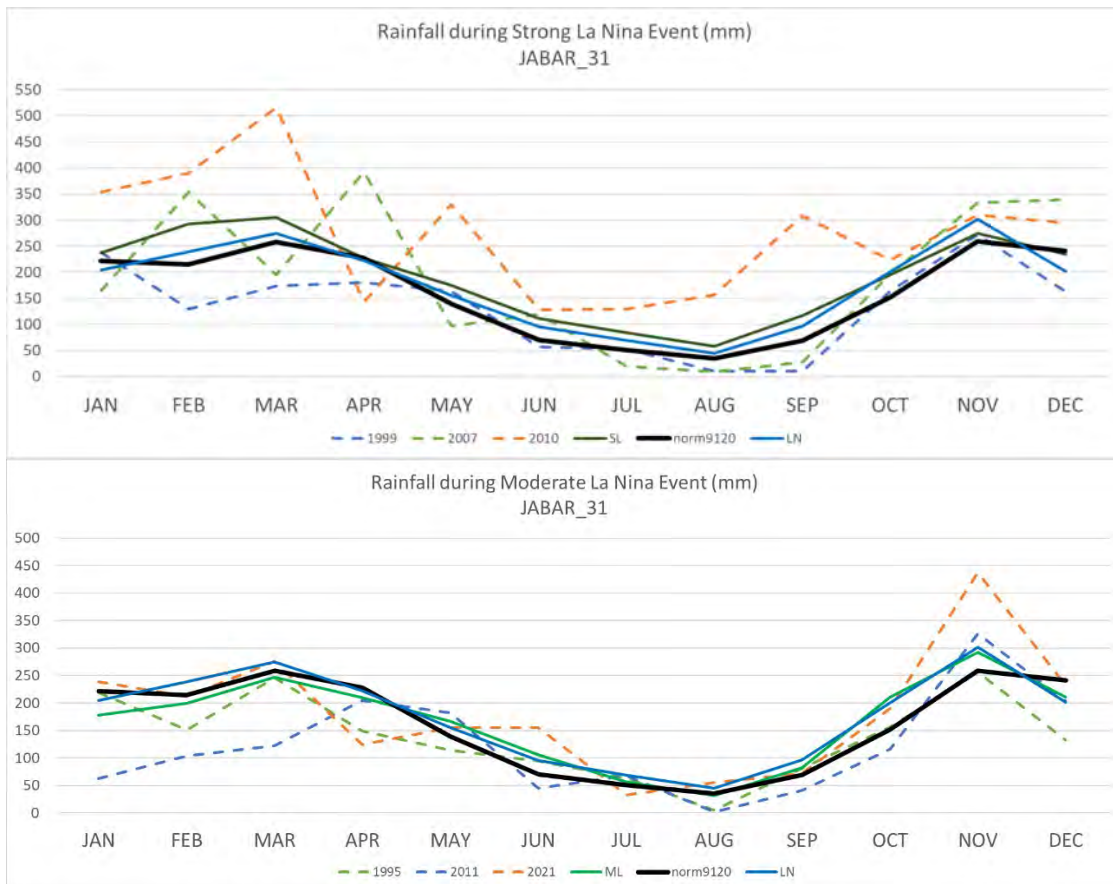


Figure 7 Rainfall during Strong El Niño (Top), Rainfall during moderate El Niño (Middle), Rainfall during weak El Niño (Bottom)

El Nino impacts rainfall and seasonal conditions in JABAR 31. Figure 7 shows that it reduces rainfall in the range of -10mm to -88mm per month on average, with strong El Nino having the most significant effect. Rainfall is below normal for all months, except November. Moderate and weak El Nino have little impact, except from January to April. However, all El Nino phases reduce rainfall from June to November. El Nino also affects the season, causing an earlier start and longer dry season period during the dry season, and a later start and slightly shorter rainy season period during the wet season, according to Table 4.

Table 5 La Niña effect in JABAR 31

La Niña	Event	Prec	Normal Onset	Observed		Period
				Onset	Retreat	
Dry Season	WL	335	14	14	27	15
	ML	261	14	15	28	14
	SL	310	14	15	26	13
	Norm 9120	324	14	14	30	16
Rain Season	WL	1593	30	28	47	20
	ML	1472	30	29	48	20
	SL	1490	30	27	49	23
	Norm 9120	1545	30	30	50	20



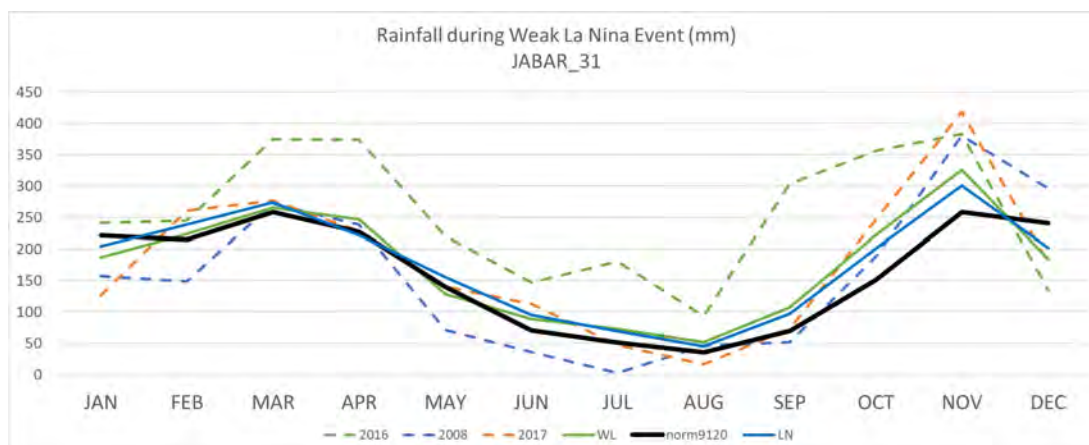


Figure 8 Rainfall during Strong La Niña (Top), Rainfall during moderate La Niña (Middle), Rainfall during weak La Niña (Bottom)

La Nina conditions do not show a significant increase in rainfall compared to the norm, as depicted in Figure 8. Moderate La Nina and Weak La Nina phases also show close to normal average rainfall. Strong El Nino conditions may have above-normal average rainfall, but some years, such as 1999 and 2007, show inconsistency in the influence of this phase on rainfall. Strong La Nina in 2010 and Weak La Nina in 2016 produced very high rainfall anomalies. However, the influence of La Nina on seasonal conditions in the JABAR 31 region is not significant, as shown in table 5. There is no significant change in the beginning and period of each season, except for the Strong La Nina event, which has a shorter dry season period due to the earlier end of the dry season and a longer rainy season period due to the earlier start of the wet season.

b) ZOM JATENG 24

Table 6 Dry Season Onset Variation ZOM JATENG 24

Dry Season (JATENG 24)		
Standard Deviation	3.3	
Onset (Dasarian)	Count	Total
MAR II	2	11
MAR III	1	
APR I	3	
APR II	5	
APR III	6	Normal
MAY I	4	15
MAY II	4	
MAY III	0	
JUN I	1	
JUN II	2	
JUN III	1	
JUL I	0	
JUL II	0	
JUL III	1	
AUG I	1	
AUG II	0	

AUG III	0
SEP I	0
SEP II	0
SEP III	0
OCT I	1

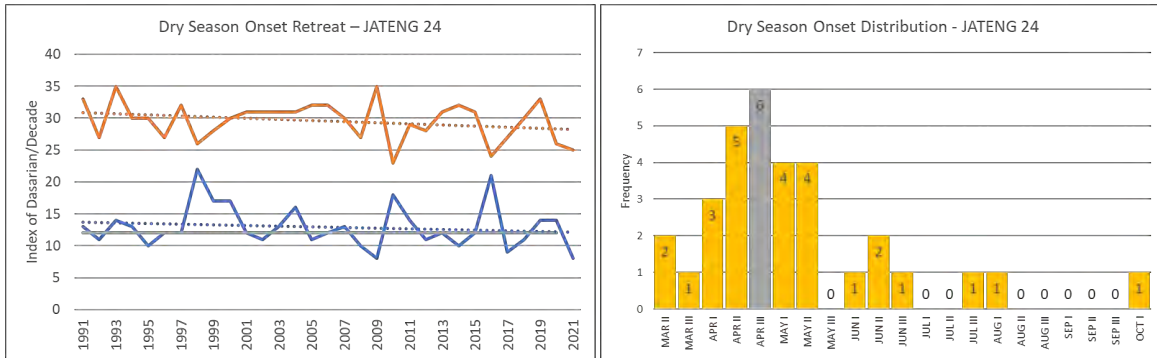


Figure 9 Variation (left) and distribution (right) of dry season onset in ZOM JATENG 24 compared to its normal condition

Table 6 and Figure 9 illustrate the dry season onset and retreat in ZOM JATENG 24. The variability in JATENG 24 is quite substantial with a standard deviation of 3.3 dekad. Moreover, the farthest occurrence of delayed onset from normal was in 2016, specifically in the OCT I decad, resulting in a delay of 16 dekad from the norm. Similarly, the farthest event of an early onset was observed in 2009, precisely in the MAR II decad, with a deviation of 5 dekad from the norm. Late onsets were prevalent from 1991-2021, with 15 instances, followed by early onsets, which occurred 11 times. From the trends in dry season onset and retreat, it can be observed that the dry season period in JATENG 24 is decreasing every year.

Table 7 Wet Season Onset Variation ZOM JATENG 24

Wet Season (JATENG 24)		
Standard Deviation	3.0	
Onset (Dasarian)		
AUG III	1	12
SEP I	1	
SEP II	1	
SEP III	2	
OCT I	4	
OCT II	2	
OCT III	1	
NOV I	5	Normal
NOV II	6	14
NOV III	4	
DEC I	2	
DEC II	0	
DEC III	2	

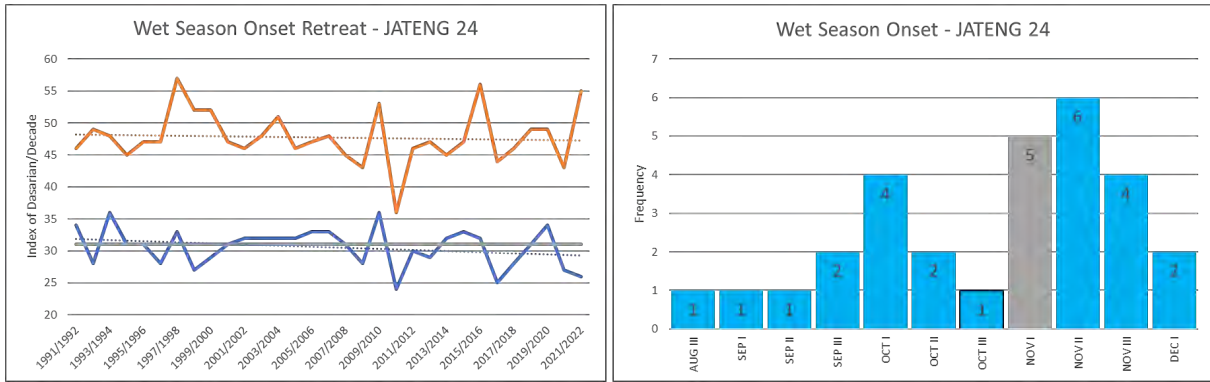
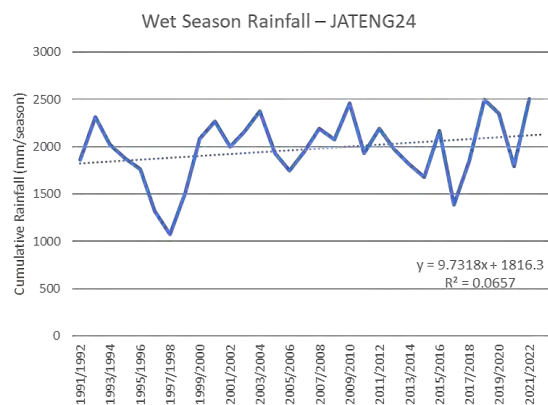
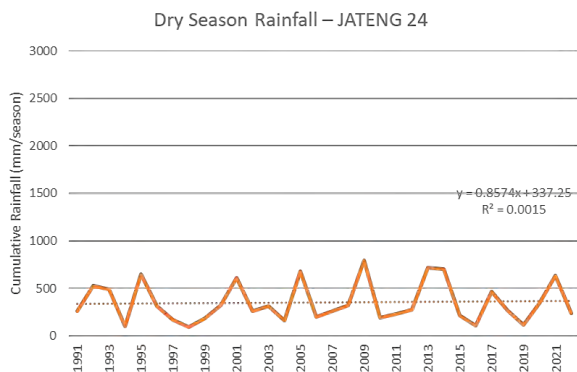


Figure 10 Variation (left) and distribution (right) of wet season onset in ZOM JATENG 24 compared to its normal condition

Table 7 and figure 10 illustrate the wet season onset and retreat in ZOM JATENG 24, which shows a standard deviation of 3.0 that is not significantly different from the dry season. The earliest value occurred in August III of 2011/2012 with a deviation of 7 dekad from the norm, while the farthest value in late than normal condition is 3 dekad from the norm in December I of 2009/2010. Late than normal conditions dominate the wet season onset with 14 dekad compared to the norm, followed by 12 dekad of earlier than normal conditions, and 5 dekad of normal conditions. There appears to be a slight trend of increasing the rainy season period in JATENG 24 from year to year based on the wet season onset and retreat conditions.

Table 8. JABAR 31 Rainfall

Rainfal JATENG-24	Dry Season	Wet Season
Normal (1991-2020)	346	1610
Standard Deviation	209.87	333.44
Coefficient of Variation	0.58	0.20



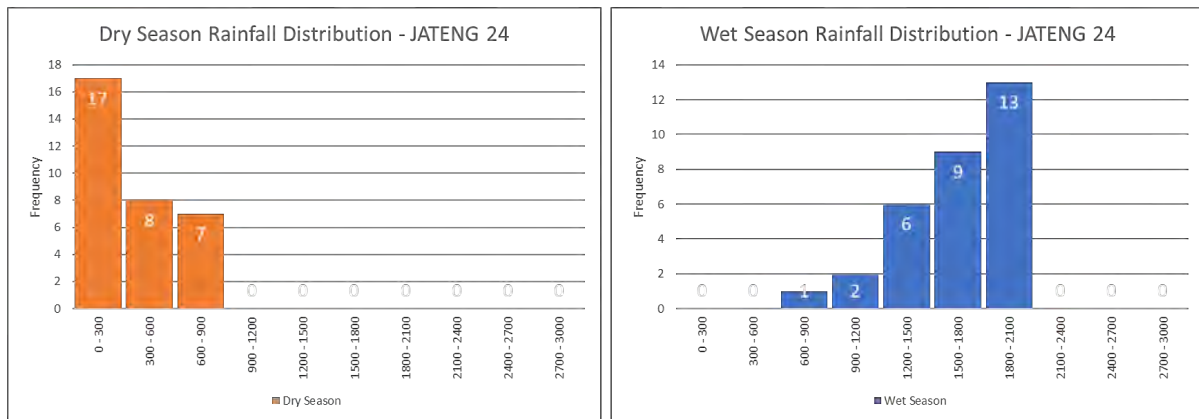


Figure 11. Trend(left) and distribution (right) of dry season (left) and wet season (right) in ZOM JATENG 24

Table 8 and Figure 11 illustrate that the average rainfall in JATENG-24 during the dry season is typically around 346mm, while during the wet season it's around 1610mm. The variability in rainfall during the dry season in this region is quite substantial, with a standard deviation of 209.87 and a coefficient of variation of 0.58. In contrast, the variability during the wet season is much smaller, with a standard deviation of 333.44 and a coefficient of variation of only 0.20. During the dry season, the rainfall distribution ranges from 0 to 300mm for 17 years, with the lowest rainfall recorded in 1998. In contrast, the wet season rainfall distribution is much narrower, ranging from 1800 to 2100mm, with the highest rainfall recorded in 2021. Over the period from 1991 to 2022, there has been a slight downward trend in dry season rainfall, although this trend is not statistically significant. Conversely, there has been a slight upward trend in wet season rainfall, which is also not statistically significant.

Table 9 El Niño effect in JATENG 24

El Niño	Event	Prec	Normal Onset	Observed		Period
				Onset	Retreat	
Dry Season	WE	332	12	12	31	20
	ME	386	12	11	32	22
	SE	215	12	12	32	21
	Norm 9120	346	12	12	30	19
Rain Season	WE	1210	31	32	47	16
	ME	1465	31	33	49	17
	SE	1374	31	33	53	21
	Norm 9120	1610	31	31	48	17

In JATENG 24, the impact of El Niño differs slightly from JABAR 31. Figure 12 shows that El Niño does not typically reduce rainfall in this area from January to April, and in some El Niño years, rainfall tends to be higher than normal during this period. However, from May to December, there is a reduction in rainfall, with the strongest influence seen in the Strong El Niño phase. The Weak El Niño phase tends to produce rainfall that is close to normal. Table 9 shows that El Niño events, especially Strong El Niño, result in a 37% decrease in rainfall during the dry season, and a 15% decrease during the wet season. Strong El Niño also causes an additional dry and wet season period compared to the norm. Other El Niño phases also cause a decrease in rainfall, but there is no change in the seasonal period compared to the normal.

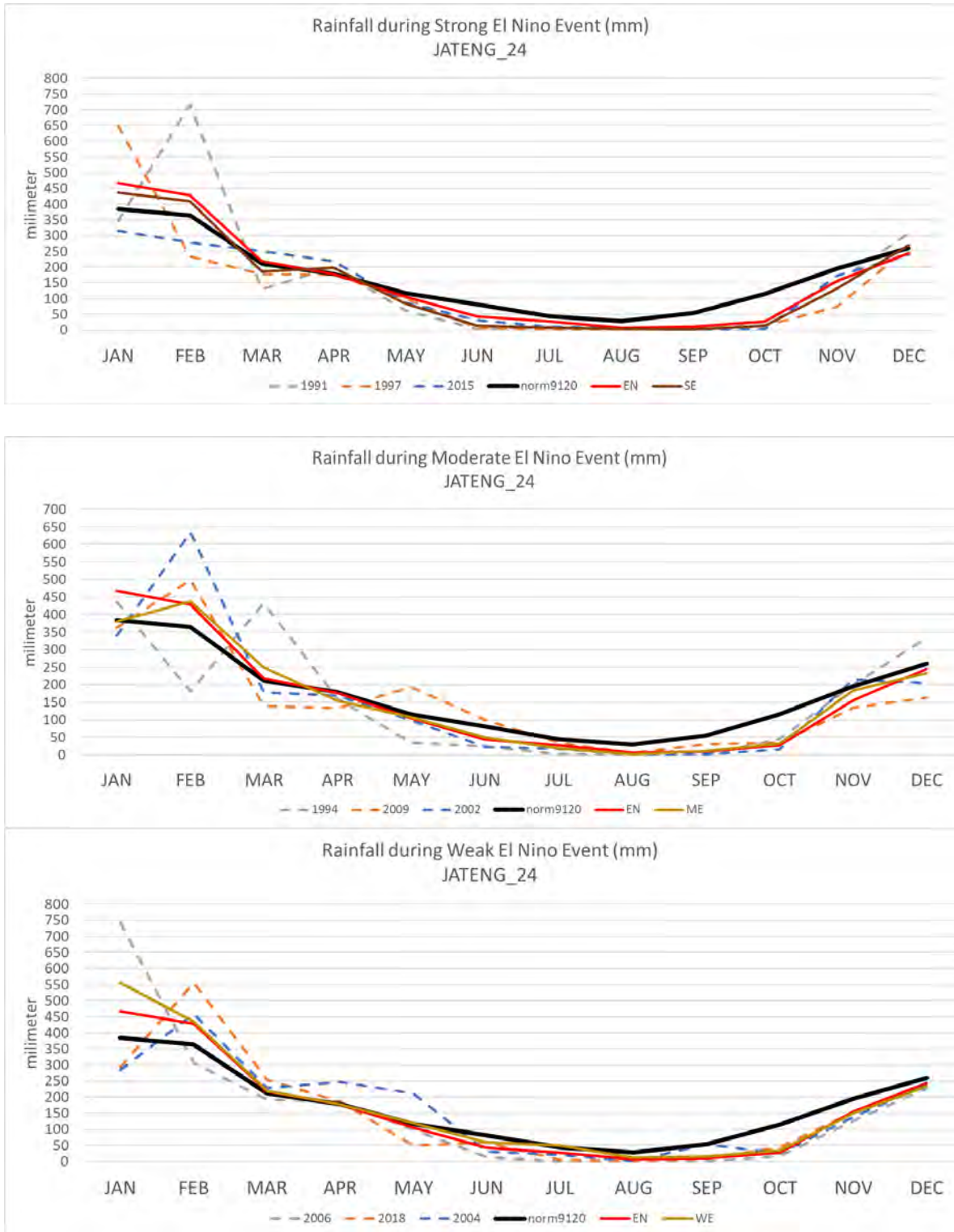


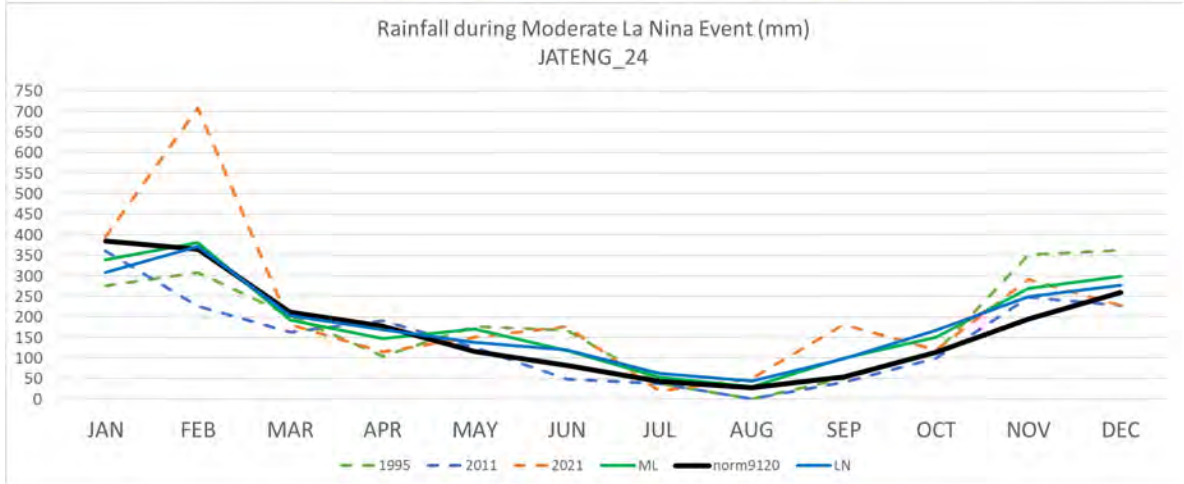
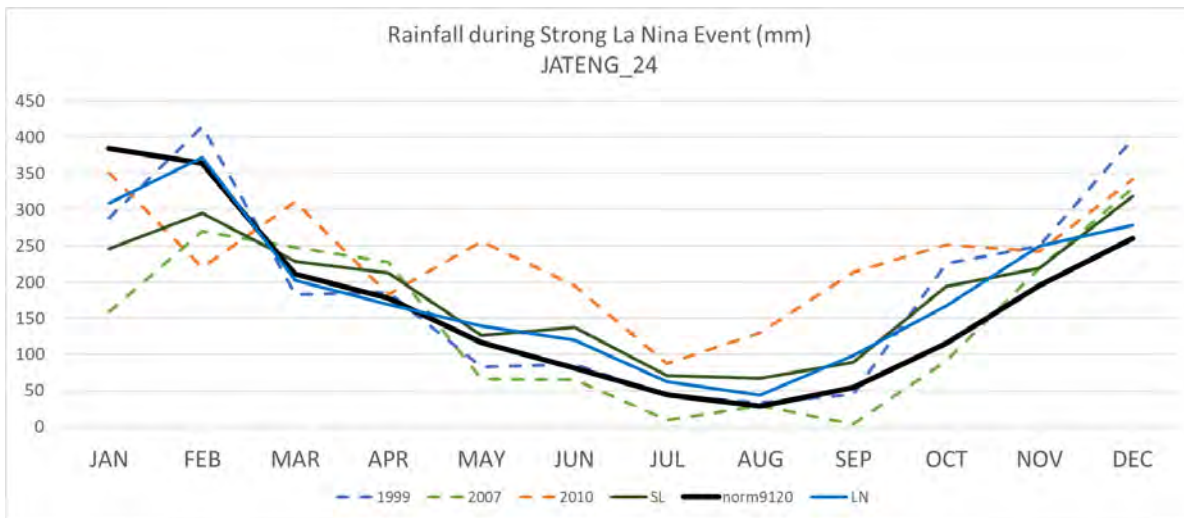
Figure 12 Rainfall during Strong El Niño (Top), Rainfall during moderate El Niño (Middle), Rainfall during weak El Niño (Bottom) in JATENG 24

La Nina has a similar effect in JATENG 24 as in JABAR 31 (Figure 13). It doesn't significantly impact rainfall from January to May but leads to a slight increase in rainfall from May to December. Strong La Nina causes a considerable increase in rainfall from March to December, but the results are inconsistent in sample years. Only in 2010, did rainfall show a large positive anomaly, while in other

years, it remained close to normal. Rainfall in La Nina Moderate and Weak phases also remained close to normal. Strong La Nina (2010) and Weak La Nina (2016) resulted in increased rainfall in several months in this region, similar to JABAR 31. In Strong La Nina, there's an average 22% increase in rainfall with an additional rainy season period in JATENG 24.

Table 10. La Niña effect in JATENG 24

La Niña	Event	Prec	Normal Onset	Observed		Period
				Onset	Retreat	
Dry Season	WL	379	12	14	28	15
	ML	409	12	13	28	17
	SL	185	12	19	27	8
	Norm 9120	346	12	12	30	19
Rain Season	WL	1708	31	29	45	17
	ML	1678	31	29	47	17
	SL	1973	31	28	46	20
	Norm 9120	1610	31	31	47	17



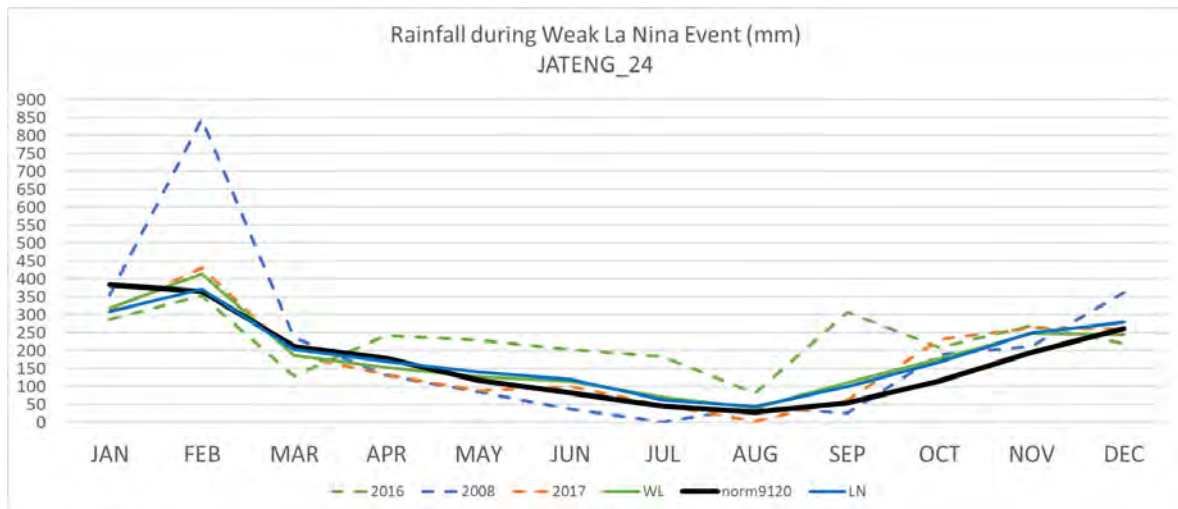


Figure 13 Rainfall during Strong La Niña (Top), Rainfall during moderate La Niña (Middle), Rainfall during weak La Niña (Bottom) in JATENG 24

Summary

JATENG_24 and JABAR_31 are two regions in Indonesia that experience distinct rainfall patterns. JATENG_24 has a longer dry season and a shorter rainy season compared to JABAR_31. Furthermore, JATENG_24 experiences an earlier onset of dry season in April and a later onset of rainy season in November compared to JABAR_31, which experiences these seasons in May and October, respectively. Both regions exhibit a significant difference in the amount of rainfall during the dry season (~400 mm) and wet season (~1500-1600 mm).

This study found that both JABAR_31 and JATENG_24 are undergoing a reduction in the duration of the dry season and an increase in the duration of the wet season. In addition, there is a declining trend in dry season year-to-year rainfall and an increasing trend in wet season year-to-year rainfall in both regions. El Niño, a climate phenomenon that results in warmer sea surface temperatures in the Pacific Ocean, affects rainfall patterns in both JABAR_31 and JATENG_24, particularly in their dry seasons. However, JATENG_24 experiences no reduction in rainfall from January to April, which is within its wet season. In JABAR_31, El Niño results in changes in the onset and duration of the seasons, such as the addition of periods in the dry season and the reduction of periods in the rainy season. On the other hand, JABAR_31 experiences a reduction in rainfall during both the dry and rainy seasons due to El Niño.

La Niña, a climate phenomenon that results in cooler sea surface temperatures in the Pacific Ocean, has no significant impact on the rainfall patterns and seasonal variability in both regions. However, strong La Niña shows mixed results, particularly within the sample, while moderate and weak La Niña have almost no impact on the regions. In conclusion, JATENG_24 and JABAR_31 experience distinct rainfall patterns and are affected differently by climate phenomena such as El Niño and La Niña.

Future Task

The high variation of rainfall in each ZOM makes each region unique. From two regions with the same climate type, located on one island with a relatively close regional position, there are differences between the two, let alone regions with other climate types that are already much different from the pattern alone. Some regions have their own characteristics, sometimes not influenced by global climate factors but strongly influenced by local factors. Knowing the variability of each region is one of the important first steps to improve the quality of forecasts.

The current study represents a preliminary investigation into the rainfall variability of the ZOM region, and as such, there is much room for further research in this area. To this end, future plans include an assessment of the remaining 699 ZOMs, in order to better understand the overall pattern of rainfall variability in the region. Additionally, we will seek to explore potential linkages between ZOMs and other climatic parameters, such as the Indian Ocean Dipole (IOD) and the Inter-annual Oscillation (IAO). By incorporating the results of this research into the justification process of seasonal forecasting, we hope to provide more accurate and reliable predictions of future rainfall patterns in the ZOM region, which will be of great value to policymakers, resource managers, and stakeholders.

Reference

- [1] BMKG. 2022. Prakiraan Musim Hujan 2022 – 2023. BMKG.
- [2] Meyers G, McIntosh P, Pigot L, Pook M. 2007. The years of El Niño, La Niña, and interactions with the Tropical Indian Ocean. *J. Clim.* 20: 2872–2880.
- [3] Aldrian E, Gates LD, Widodo FH. 2007. Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: the role of ENSO. *Theor. Appl. Climatol.* 87: 41–59.
- [4] Hamada J-I, Mori S, Kubota H, Yamanaka MD, Haryoko U, Lestari S, Sulistyowati R, Syamsudin F. 2012. Interannual rainfall variability over northwestern Jawa and its relation to the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation events. *SOLA* 8: 69–72.
- [5] Alexander LV, Uotila P, Nicholls N (2009) Influence of sea surface temperature variability on global temperature and precipitation extremes. *J Geophys Res.*
<https://doi.org/10.1029/2009JD012301>
- [6] BMKG. 2022. Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991 - 2020. BMKG.
- [7] NOAA's Climate Prediction Center. "Cold and Warm Episodes by Season".
origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

III. Sub-Seasonal to Seasonal Prediction Study

Novi Fitrianti and Damiana Fitria Kussatiti

Introduction

There are two terms of forecast time range that are already known by the weather and climate community. These are short-to-medium range forecast and long-range forecast. Traditionally, short-to-medium time range is referred to as weather forecast covers the time range out to 14 days (up to 2 weeks) meanwhile long range forecast or climate forecast starts at a seasonal timescale and extends out (up to 3 – 6-month) [1]. For many years these two-time scale has been operational in some region while the extended-range forecasting timescales which in between this two-time scale, encompassing forecast ranges from 14 days to 60 days has minimal attention than medium range and seasonal prediction since it is notably difficult to provide skillful at this time range.

Sub-seasonal forecasting sits between weather and climate time scales, defined as the time range between two weeks to two months. This time range forecasting, also known as the extended-range timescale, is considered to bridge the gap between weather forecasts and monthly or seasonal outlooks [2]. There is a growing understanding of the necessity and the potential value of forecasts on the sub-seasonal timescale, which is the frontier of forecasting science. In short-term decision-making, weather forecasts are applicable, such as early warning and evacuation. In contrast, the seasonal outlook is useful as an adaptive strategy, mainly concerned with possible risks of extreme events. In other hand, sub-seasonal prediction can allow users to carry out mitigation, giving more time for preparedness activities and evacuation to reduce the risk of damage or loss of extreme events

In climate services, BMKG (Indonesian Agency of Meteorology, Climate and Geophysics) had provided 10-days basis forecast by using S2S model predictions since 2015. However, the validation of this prediction has not been carried out yet. The absence of validation in sub-seasonal prediction underlies this study. In addition, this case study is a component of JICA's key-activity (Climate change project Phase 2) project, Enhancing Seasonal Forecast; it is intended that by participating in this endeavor, BMKG would gain more credibility in its ability to offer the community trustworthy and practical climate information services.

Data and Method

We used the CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation data provided by the NOAA PSL, Boulder, Colorado, USA, from their website at <https://psl.noaa.gov> to make the analysis product [3][4], which we later coupled with the rain-daily gauge's rainfall observations data. The BMKG database center, which receives daily updates in real-time from more than 7000 rain gauges around Indonesia, was used to collect the observational data. Daily CPC analysis data are preferable at illustrating Indonesia's rainfall when compared to other satellites and re-analysis data [5]. For this research, we also need daily climatological data (1991 to 2020) and CPC data, which are accessible from 1979 but have a 3-day delay or are not real-time data.

Across Indonesia, there are in addition up to 7000 rain gauge data networks. Nevertheless, not each of these rain gauges is accessible or functional. There are daily variations in the number of active rain gauges,

which is over 3000. Furthermore, Indonesia has a diverse distribution of rain gauges. Whereas in Papua, the network of rain gauges is less dense, we discovered that Java has a dense network (Figure 1). As a result, we combined data from CPC grids and rain gauge points using a geostatistical approach. The geostatistical method "Kriging External Drift" (KED) is used in this blending process. The external drift method is a particular case of universal kriging. The geo-statistical method is similar to that adopted by BMKG. We here use different input data to blend with rain-gauge data. The analysis product used by BMKG uses different data sources to provide rainfall anomalies, while in this experiment, we use the same data source. We exploited CPC gridded data since it available from 1979.

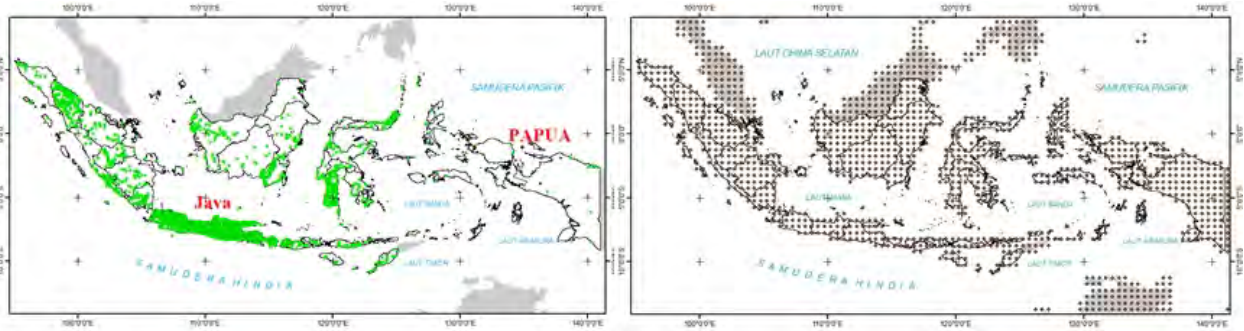


Figure 1. (a) left – rain-gauge distribution over Indonesia, (b) right – CPC gridded data

Nowadays, there are 11 operational research and centers who provided forecast and reforecast model data for sub-seasonal prediction which three of them took charge to archive S2S predictions (Table 1 and Table 2). Ten models are now accessible in the public S2S project database. This database is a crucial resource for improving understanding of the S2S time-scale.

Table 1. The three institutions responsible as archiving centers

Instituion	Start	Website
ECMWF	May 2015	https://apps.ecmwf.int/datasets/data/S2S
CMA (China Meteorological Administration)	Nov 2016	https://S2S.ecmwf.int
IRI (International Research Institute Data Library)	Nov 2016	https://iridl/ideo.columbia.edu/SOURCES/ECMWF/S2S

Table 2. 11 institutions provide S2S predictions

institution	Country
The Australian Bureau of Meteorology (BoM)	Australia
The China Meteorological Administration (CMA)	China
The European Centre for MediumRange Weather Forecasts (ECMWF)	UK
Environment and Climate Change Canada (ECCC)	Canada
The Institute of Atmospheric Sciences and Climate of the National Research Council (CNR-ISAC)	Italy
The Hydrometeorological Centre of Russia (HMCR)	Rusia
The Japan Meteorological Agency (JMA)	Japan
The Korea Meteorological Administration (KMA)	Korea

<i>Météo – France/Centre National de Recherche Meteorologiques (CNRM)</i>	Fance
<i>The National Centers for Environmental Prediction (NCEP)</i>	USA
<i>The Met Office (UKMO)</i>	UK

The duration of the available reforecast data for the previous 20 years is used to make the most recent ECMWF predictions, which are made twice a week on Mondays and Thursdays with 51 ensemble members. However, for the reforecast, there are just 11 ensemble members available. The reforecast data is designed to calibrate any recently generated predictions to lessen model errors. We employ the hindcast forecast to evaluate the sub-seasonal prediction. Here, we only verify May to July during 2002 – 2021. We use this evaluation method by comparing observations with forecasts made before the target week. A prediction known as Lead-time 1 (LT1) was made on Thursday, three days before the target week. The predictions for Lead Time 2 (LT2), Lead Time 3 (LT3), and Lead Time 4 (LT4) are all made more than a week before the target week. This is depicted in Figure 2.

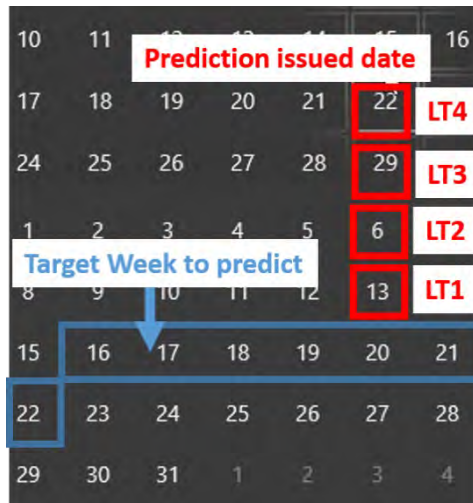


Figure 2. Prediction Issued date and target week illustration

We compare the ensemble mean of total rainfall predictions. Moreover, verification is carried out using the statistical method mean square skill score (MSSS) recommended by WMO for evaluation the deterministic forecast [6]. MSSS value is required and will provide a comparison of forecast performance relative to “forecasts” of climatology. The mean squared error of the forecasts is:

$$MSE_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2$$

where x and f denote for continuous deterministic forecasts and time series of observations, respectively. The MSE for climatology can be expressed as:

$$MSE_{cj} = \left(\frac{n}{n-1}\right)^2 S_{xj}^2$$

$$S_{x_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

The Mean Square Skill Score is therefore given as:

$$MSSS_j = 1 - \frac{MSE_j}{MSE_cj}$$

To verify the probability of high rainfall, we use the Brier Score [7]. The Brier score is the mean of squared differences between those predictions and their corresponding event scores. Smaller scores (closer to zero) indicate better forecasts and can be expressed as :

$$Brier\ Score = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{nN} (F_t - O_t)^2$$

- N is the number of events (and, accordingly, predictions) under consideration
- t indexes the events/predictions from 1 to N (the first event, the second event, etc.)
- F_t is the forecast (a probability from 0 to 1) for the t_{th} event
- O_t is the outcome (0 or 1) of the t_{th} event

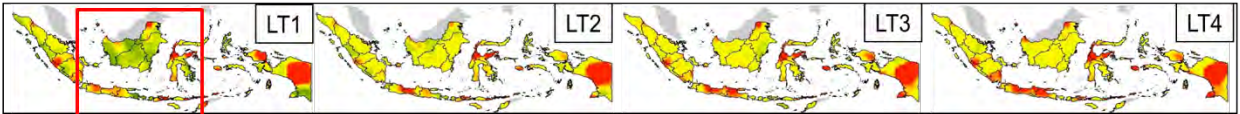
Result

Evaluation Is carried out from week 1 of May to week 4 of July. By comparing model data with observation data, we equalize the resolution size by gridding the data model, which has a spatial resolution of 1.5 degrees, and changing it to 0.5 degrees in accordance with the resolution of the observation data. According to a spatial analysis, month of May had a high MSSS value during the first week (LT1) throughout most of Indonesia before the skill dropped (LT2 to LT4). In June, elevated MSSS values were also observed during the first two weeks (LT1 and LT2) before declining during the third and fourth weeks. In several locations of Indonesia, we also discovered that the MSSS values were negative during the first week, indicating that the model's error was higher than the climatology's error.

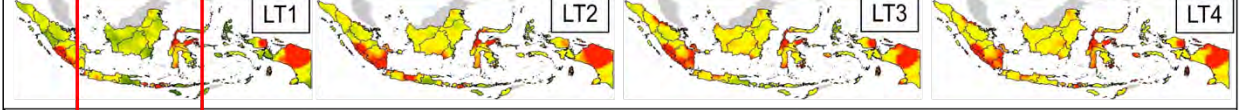
In contrast, the prediction model for July indicates that high skill scores were present not just in the first and second weeks but also up to the fourth week. This demonstrates that the model, even four weeks before to the target week, can accurately estimate the total amount of rainfall. Furthermore, we spot that Papua, one of the biggest islands in the far eastern region of Indonesia, has a substantial inaccuracy even on LT1 and remains consistent up to LT4.

**MEAN SQUARE SKILL SCORE
PREDIKSI TOTAL CURAH HUJAN**

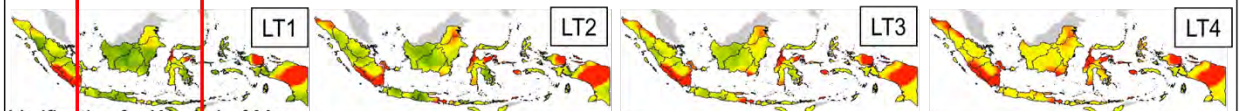
Verification for Week 1 of May



Verification for Week 2 of May



Verification for Week 3 of May



Verification for Week 4 of May

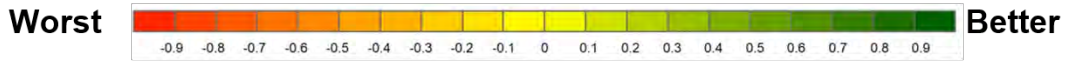
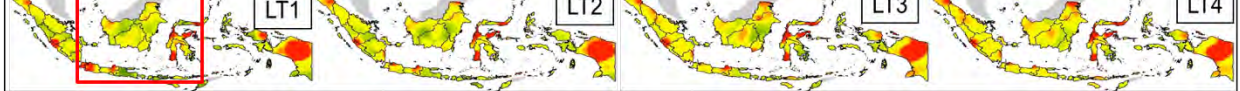
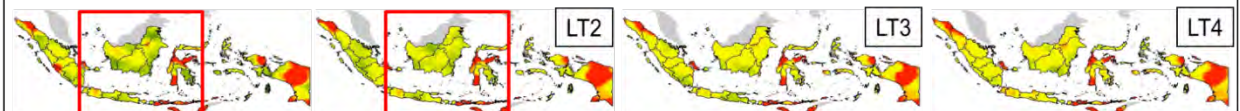
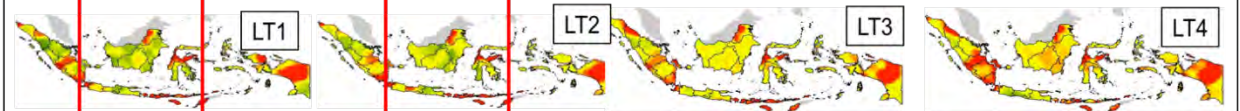


Figure 3. Spatial Analysis for MSSS on May (2002 - 2021)

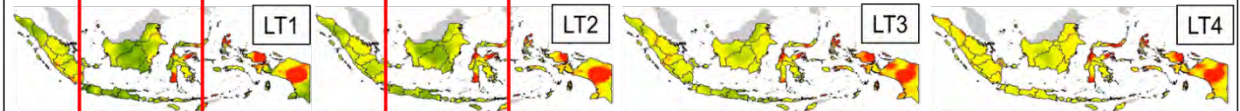
Verification for Week 1 of June



Verification for Week 2 of June



Verification for Week 3 of June



Verification for Week 4 of June

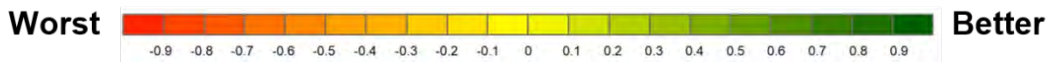
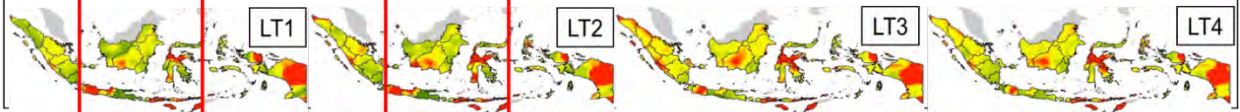


Figure 4. Spatial Analysis for MSSS on June (2002 - 2021)

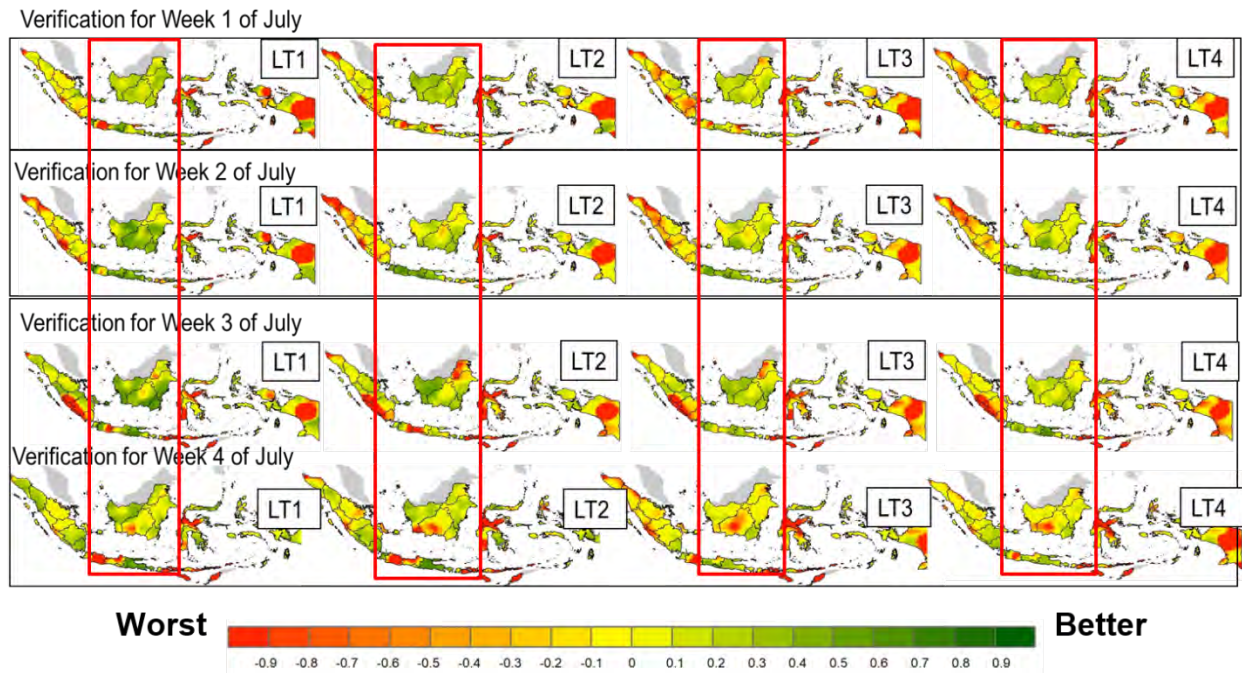


Figure 5. Spatial Analysis for MSSS on July (2002 - 2021)

The quantile 90 series data are used to define high rainfall, and the probability is then determined based on the proportion of members who exceed the quantile 90 threshold. Similar to total precipitation, we also assess the probability of high rainfall from May to July. The verification results demonstrate that in May, the Brier Score (BS) value is close to zero or exhibits great performance, as demonstrated in LT1, where almost all regions of Indonesia have a BS that is close to zero, which then falls spatially in LT2 and LT3. The model performs pretty well, which indicates that the S2S prediction can inform us about intense rainfall three weeks before the event.

While it was observed in June that the BS value was spatially comparable to the May verification at LT1, its performance declined at LT2 to LT4, but we discovered that at LT4 on the island of Java, the BS value was still favorable when compared to other locations. While July's performance is close to that of June's, it is interesting to note that Kalimantan and Sulawesi as well as Java continue to perform well at LT4. This demonstrates that the S2S prediction was able to indicate the possibility of heavy rain four weeks before to the incident.

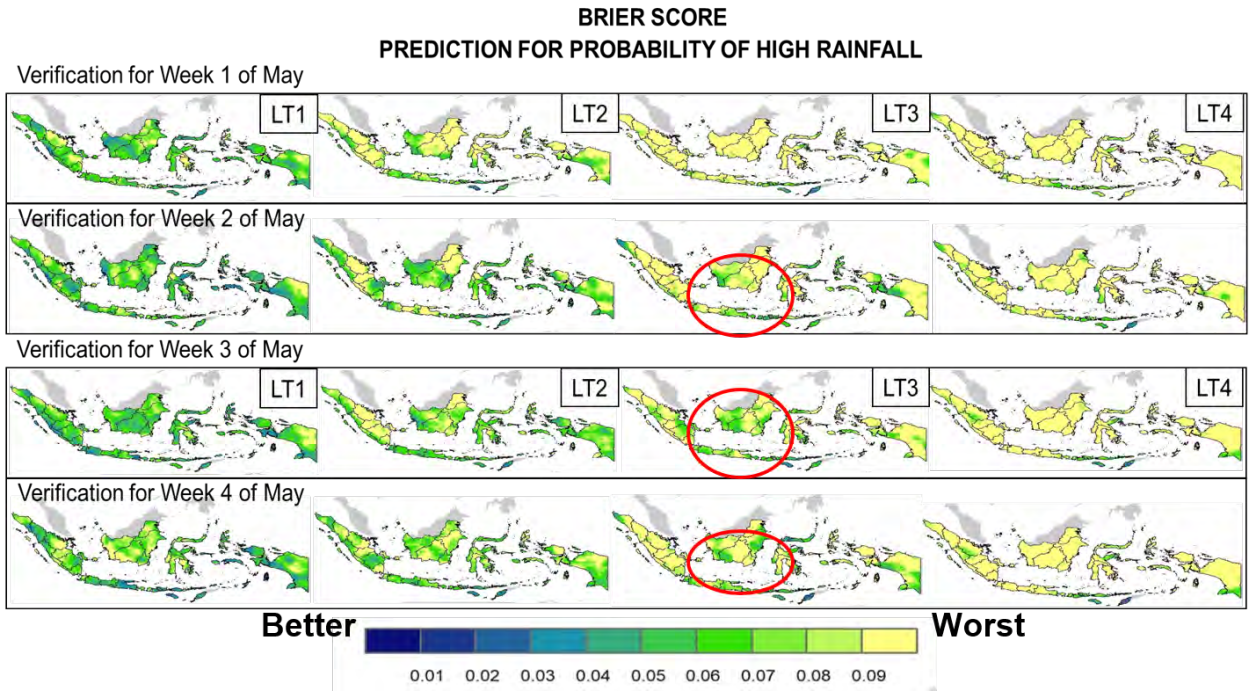


Figure 6. Spatial Analysis for BS on May (2002 - 2021)

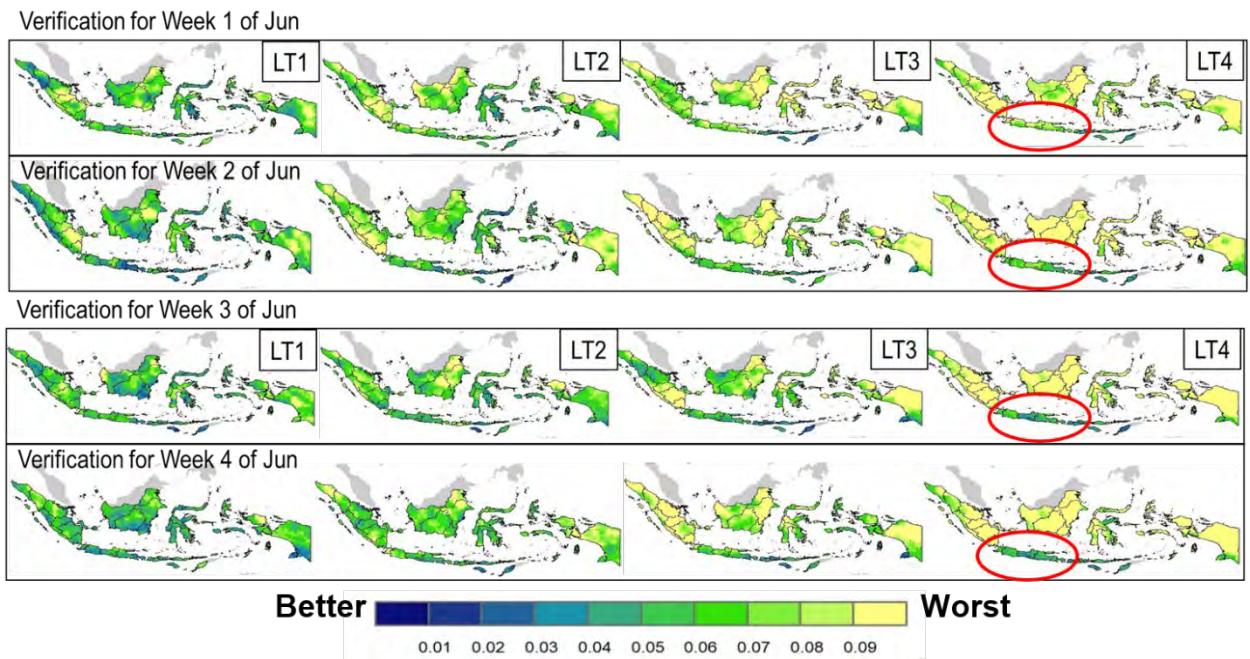


Figure 7. Spatial Analysis for BS on June (2002 - 2021)

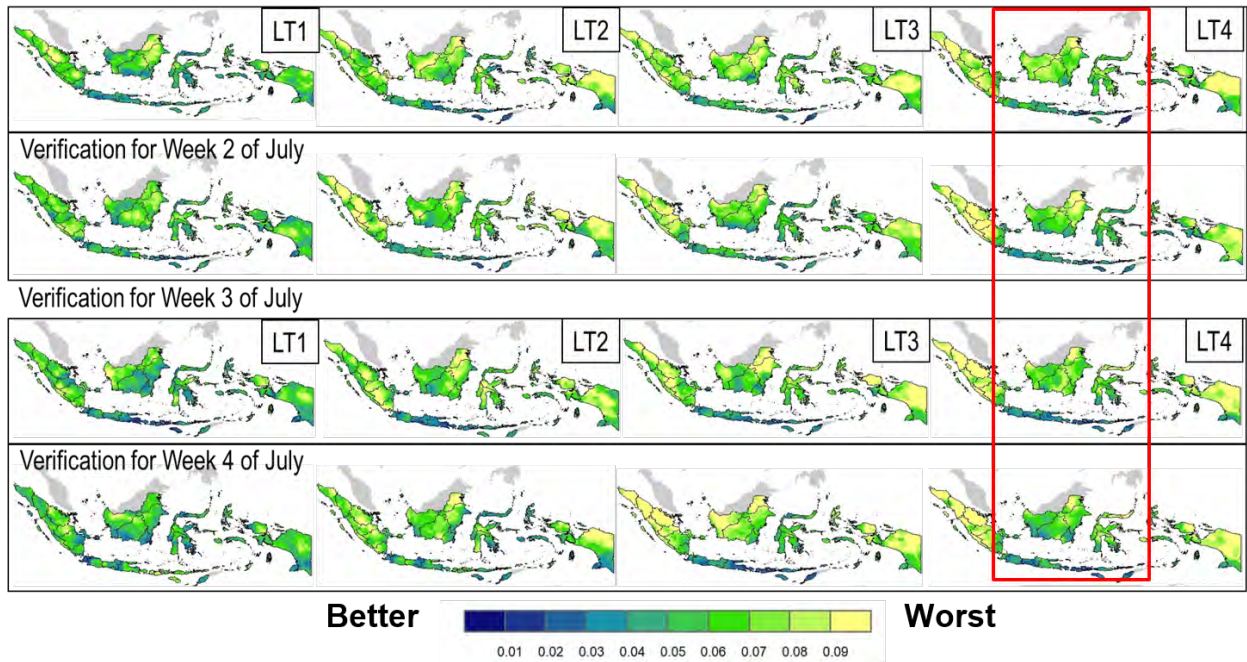


Figure 8. Spatial Analysis for BS on July (2002 - 2021)

In order to demonstrate the predictability of S2S prediction, we show three events in the case study shown in Figure 9 in which a climatic anomaly leads in a hydro - meteorological disaster. It has been demonstrated that the prediction model can accurately predict the occurrence of climate anomalies up to four weeks in advance. We found that the signal is strongest with a one-week lead time and present but weaker at two and three-week lead times. But the model depict the wet and dry condition well in four weeks before the target week.



Figure 9. Sub-seasonal predictability in predicting wet and dry condition

However, this model prediction would not be consistently accurate, we also discovered cases in which the model missed to predict the rainfall, even with a close lead-time, as demonstrated by the study of the third week of July (Figure 11t). This error is due to the strong influence of the synoptic time scale <7 days, this variance provides a measure of weather disturbances such as the presence of Kelvin waves and equatorial Rossby waves [8][9]. That was a kind of anomaly based on a single day with a very high amount, not precisely what to be expected to predict at a sub-seasonal scale.

According to Indonesia's climate variability, which is significantly impacted by the MJO (Madden Julian Oscillation) and the Inter-annual phenomenon, Indonesia's climate can be predicted on a sub-seasonal scale [10]. The MJO is the most noticeable component of the tropical atmosphere's intra-seasonal (30- to

90-day) variability. This area of Indonesia largely corresponds areas where seasonal predictions or MJO impacts have been established [11][12].

	Heavy rainfall 25 – 31 Juli 2022	Heavy rainfall 01 – 07Agt 2022	Heavy rainfall 08 – 14 Agt 2022
Why was the event a surprise?	Floods, tornadoes, and abrasion due to prolonged moderate to heavy rainfall, overflowing rivers, strong winds, and tidal waves	Floods and landslides caused by moderate to heavy rains, overflowing rivers, and unstable soil conditions were reported by the National Disaster Mitigation Agency (BNPB) in Southeast Sulawesi, Riau Islands, South Sumatra, West and Central Kalimantan, and North Sulawesi.	Floods, landslides and strong winds due to prolonged moderate to heavy rainfall, strong winds and overflowing rivers were reported by BNPB in South Sumatra, West Java, Central Java, East Java, South Sulawesi, Central Sulawesi, Southeast Sulawesi and Gorontalo Provinces in Indonesia
People Exposed	1 -10k people	10 -100k people	1 -10k people
Impacts :	Based on a report by the National Disaster Management Agency, these disasters occurred in the regions of North Sumatra, Riau, South Kalimantan, East Kalimantan, Central Sulawesi, Sulawesi, Gorontalo, Maluku, and North Maluku. In addition, it was reported that 132 residents' houses in Central Maluku were hit by floods caused by heavy rainfall for 2 consecutive days.	On 5-6 August 2022, floods hit the City of Singkawang, Kapuas Hulu and Sambas Regency in West Kalimantan. According to BNPB, the floods occurred due to high rainfall and overflowing rivers. Reports show that 4.2 thousand families (14.4 thousand people) have been affected and 3.2 thousand houses have been damaged along with 1 bridge and 72 public facilities.	Apart from floods and landslides, forest and land fires were also observed in Sumatra and West Kalimantan which were caused by reduced rainfall that week.
Information provided by S2S products :	Model captures rainfall event up to three weeks before Very high skill for week 1 and 2 and slowly week at week 3 and 4. rainfall anomalies are predicted	High rainfall probability was captures 3 – 4 weeks before but for wider area. Strongest signal with one to two lead time	The potential for high rainfall has been well predicted by the model, before 3-4 weeks. In addition, the presence of low or below normal rainfall in Sumatra and West Kalimantan was also well predicted by the model.

Figure 10. Disaster and losses cause by Extreme Events

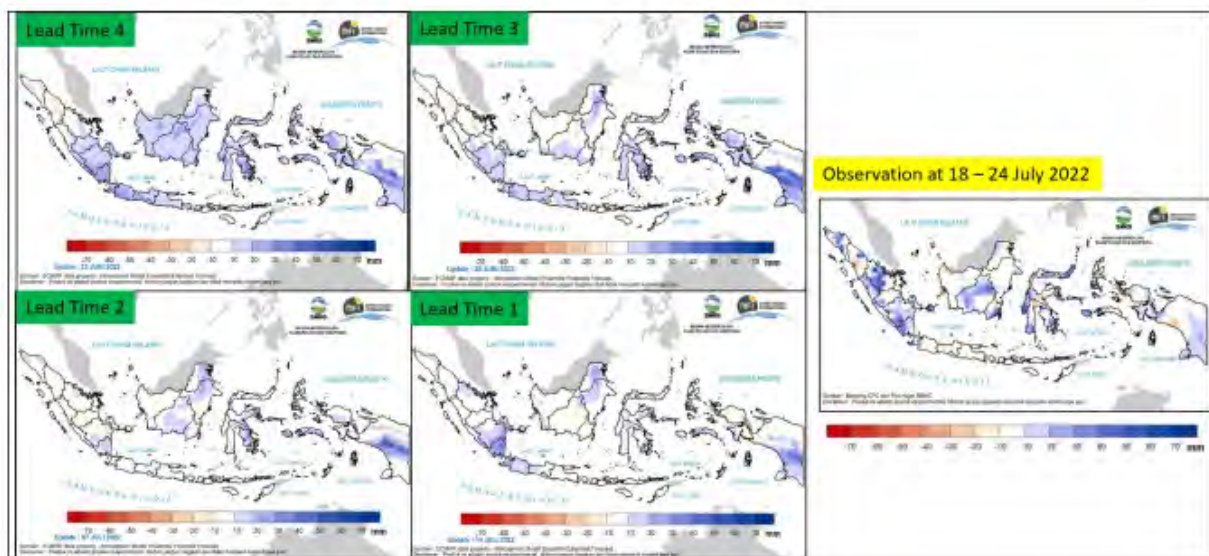


Figure 11. Sub-seasonal predictability on Week 3 of July

Conclusion

We observed that the model is rather effective in predicting rainfall that occurs during the dry season, according to the results of the study that we conducted from May to July for both predicting total rainfall and predicting the probability of high rainfall. This is demonstrated by the accurate predictions in July, when most of Indonesia, particularly the regions with monsoonal rainfall patterns, where rainfall is more influenced by monsoon winds, is experiencing a dry season. Rainfall in the monsoonal region is lower than normal in July. As a result, the model is able to accurately predict less precipitation, and if extreme events occur during the dry period, the model becomes more sensitive and is able to perform better than it could during the rainy period.

In our analysis, we discovered that sub-seasonal predictions have the potential to provide earlier information on the potential for extreme events, both events that cause reduced rainfall leading to drought events and heavy rainfall events that cause other hydrometeorological disasters. We are aware, however, that these projections need to be improved given the difficulties in producing accurate projections on this time scale. It is potential, however, that this prediction will provide a signal of extreme events 3–4 weeks before when taking into account the potential that is already there, as demonstrated in several case studies. Additionally, this forecast can be used in Indonesian regions where climate variations are caused by sub-seasonal phenomena such as the MJO or interannual phenomena such as El Nino and La Nina.

Discussion and Prospects

Considering we utilized an uncalibrated model in this analysis, we did not use statistical post-processing to reduce bias and root mean square error. We realize that this prediction model need improvement after the third and fourth prediction weeks. The accuracy of this model's regional predictions varies due to Indonesia's extensive geography. We noticed that while certain parts of Indonesia have high skills, others have low skills, such as Papua, which has low skills even in predictions that are close to the target week. Therefore, we recognize that by applying the corrected model, we can offer better climatic services.

We expect that in future initiatives, we will explore other sub-seasonal models, considering that there are 10 research and forecasting centers that provide these forecasts, which are then compared to the models currently used in BMKG operations with the aim of finding the best model for the Indonesian region. Moreover, studies into the model's responsiveness in the presence of the MJO and El Nino/La Nina phenomena are essential due to the lack of studies regarding the predictability of this model in the presence of these phenomena.

References

- [1] Ocean Studies Board, Engineering National Academies of Sciences, Medicine, et al. Next generation earth system prediction: strategies for subseasonal to seasonal forecasts. National Academies Press, 2016.
- [2] Debra Hudson, Oscar Alves, Harry H Hendon, and Andrew G Marshall. Bridging the gap between weather and seasonal forecasting: intraseasonal forecasting for australia. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(656):673–689, 2011.

- [3] Pingping Xie, Mingyue Chen, Song Yang, Akiyo Yatagai, Tadahiro Hayasaka, Yoshihiro Fukushima, and Changming Liu. A gauge-based analysis of daily precipitation over east asia. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3):607–626, 2007.
- [4] Mingyue Chen, Wei Shi, Pingping Xie, Viviane BS Silva, Vernon E Kousky, R Wayne Higgins, and John E Janowiak. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D4), 2008
- [5] Supari Jaepil Cho Donald S Permana, Rheinart CH Hutauruk. Performa produk curah hujan harian dari data satelit dan reanalisis di indonesia. *Seminar Nasional Sains Atmosfer (SNSA) 2020*, pages 97–109, 2020
- [6] World Meteorological Organization. *Manual on the Global Data-processing and Forecasting System*. World Meteorological Organization, 2021.
- [7] Glenn W Brier et al. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Monthly weather review*, 78(1):1–3, 1950.
- [8] Paul E Roundy and William M Frank. A climatology of waves in the equatorial region. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(17):2105–2132, 2004.
- [9] Sandro Wellyanto Lubis and Christoph Jacobi. The modulating influence of convectively coupled equatorial waves (ccews) on the variability of tropical precipitation. *International Journal of Climatology*, 35(7):1465– 1483, 2015.
- [11] Sandro Wellyanto Lubis and Christoph Jacobi. The modulating influence of convectively coupled equatorial waves (ccews) on the variability of tropical precipitation. *International Journal of Climatology*, 35(7):1465– 1483, 2015.
- [12] Glenn W Brier et al. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Monthly weather review*, 78(1):1–3, 1950.
- [13] Fredolin Tangang, Ester Salimun, Edvin Aldrian, Ardhasena Sopaheluwakan, Liew Juneng, et al. Enso modulation of seasonal rainfall and extremes in indonesia. *Climate Dynamics*, 51(7):2559–2580, 2018.

IV. ENSO/IOD impact study

IV.1 The Impact of ENSO on Rainfall Variability in Indonesia

Dyah Ayu Kartika

1. Introduction

Indonesia is the largest archipelagic country on earth with a geographical location flanked by two oceans (the Indian Ocean and the Pacific Ocean) and two continents (the Asian Continent and the Australian Continent) [1] which results in a seasonal climate, consisting of west and east monsoons. The west monsoon brings the rainy season blowing in October-April, while the east monsoon indicates the opposite.

Rainfall in Indonesia is not only influenced by the rainy season or dry season but also influenced by other climate variability factors, one of which is the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) [2]. ENSO, which consists of 3 phases, namely El Niño, Neutral, and La Niña, is widely known by the Indonesian people because it influences rainfall variability in Indonesia. Many studies have been carried out to determine the relationship between El Niño, Neutral, and La Niña and their impact on rainfall variability in Indonesia. The results show that El Niño causes a decrease in rainfall in the Indonesian region, while La Niña causes an increase in rainfall in the Indonesian region [3].

World Meteorological Organization (WMO), a specialized agency of the United Nations whose mandate covers the climatology sector instructs all climatological agencies to update the new climate normal for the period 1991-2020. The new climate normal update is a reference/standard for calculating climate anomalies. With this reference, it can be concluded that climate conditions in one period are hotter or colder. The second objective, climate normal is also widely used, implicitly or explicitly as a prediction that most likely describes climatic conditions at a particular location [4]. So this study is to update the impact of ENSO on the rainfall variability in Indonesia using new normal data from 1991-2020.

2. Data and Method

This study uses the blending of Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) rainfall data with BMKG station rainfall data from 1991-2020. The Nino3.4 Index provided by NOAA can be accessed at https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

This study uses the bootstrap percentile method. The percentile bootstrap relies on a simple & intuitive idea: instead of making assumptions about the underlying distributions from which our observations could have been sampled, we use the data themselves to estimate sampling distributions. In turn, we can use these estimated sampling distributions to compute confidence intervals, estimate standard errors, estimate bias, and test hypotheses [5, 6, 7].

The first step to performing the bootstrap percentile method is to create a hypothesis, choose a location point, and choose a specific season. Then determine ENSO years in that season based on Nino3.4 Index provided by NOAA which is shown below and separate rainfall by the ENSO year.

Table 1. Nino3.4 Index provided by NOAA from 1991-2020

Phase	Season	Years
El Niño	JJA	1997, 2002, 2004, 2009, 2015
	JAS	1997, 2002, 2004, 2009, 2015
	ASO	1994, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009, 2015, 2018
	SON	1994, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009, 2014, 2015, 2018
	OND	1994, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009, 2014, 2015, 2018
	NDJ	1994, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009, 2014, 2015, 2018
La Niña	JJA	1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011
	JAS	1995, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011, 2016
	ASO	1995, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011, 2016
	SON	1995, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011, 2016, 2017
	OND	1995, 1998, 1999, 2000, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011, 2016, 2017
	NDJ	1995, 1998, 1999, 2000, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011, 2016, 2017

Then bootstrap resamples 500 times with returns for a Neutral rainfall season. At each resample, calculate the mean value of the Neutral season and determine the 5th and 95th percentiles of the distribution of the mean values obtained. After that, compare the mean El Niño rainfall and mean La Niña rainfall against those of P5 and P95. And the final step is to conclude the Hypothesis

3. Result

During the June-July-August period in El Niño years (Fig. 1), negative anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia. Over the southern part of the country, the situation was even more detrimental, with many areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60%, especially in Java. Overall, this part of the study has a similar pattern to the study Supari did in 2017 [8]. During the July-August-September period, dry conditions persisted throughout the country. However, areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% widened until Bali and Nusa Tenggara.

During the August-September-October period in El Niño years, negative anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia, except the northern part of Sumatra and the eastern part of Papua. Areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% widened until the southern part of Sumatra, the central part of Kalimantan, the central part of Sulawesi, the northern and the southern part of Maluku, and the central part of Papua. During the September-October-November period, dry conditions still show throughout the country. However, areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% fewer than the August-September-October period. The areas with negative anomalies of magnitude greater than 60% were shown in the southern part of Sumatra, Java, Bali, Nusa Tenggara, a little part of the eastern of Kalimantan, the central to the southern part of Sulawesi, the southern part of Maluku, and the southern part of Papua. Overall, this part of the study persisted to the study Supari did in 2017 [8].

During the October-November-December period in El Niño years, negative anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia, except the northern part and central of Sumatra, a small area in the northern Kalimantan, the central part of Sulawesi, and the eastern part of Papua. Areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% fewer than the September-October-November

period and only shown in the southern part of Sumatra, the northern and the southern part of Java, small areas in Bali, Nusa Tenggara, and the southern part of Maluku. During the November-December-January period, dry conditions still show throughout the country. However, areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% fewer than the October-November-December period and only shown in small areas in Sumatra and Bali. Positive anomalies of seasonal precipitation began to show in the northern to the southern part of Sumatra, the western part of Java, the western part of Kalimantan, the central of Sulawesi, and the central of Papua.

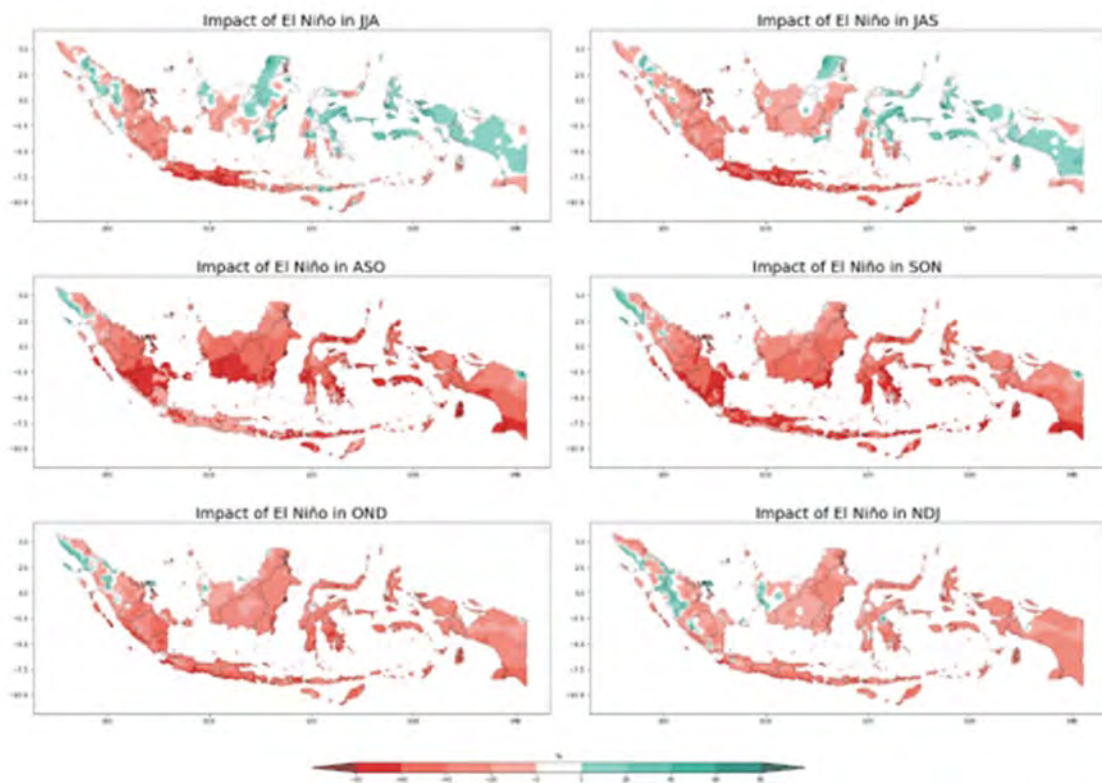


Fig 1. Impact of El Niño event on rainfall variability in Indonesia

During the June-July-August period in La Niña years (Fig. 2), positive anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia. Over the southern part of the country, the situation was even more detrimental, with many areas recording positive anomalies of magnitude greater than 80%, especially in the southern part of the equator. During the July-August-September period, wet conditions persisted throughout the country. However, areas recording positive anomalies of magnitude greater than 80% widened until the southern part of Sulawesi, central of Kalimantan, central to the southern part of Sulawesi, and Maluku.

During the August-September-October period in La Niña years, positive anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia, except the northern to the southern part of Sumatra, a small area in the southern part of Java and Nusa Tenggara, the eastern part of Kalimantan, a small area in the central and the southern part of Sulawesi, and central and the eastern part of Papua. Areas recording positive anomalies of magnitude greater than 80% widened until the southern part of Sumatra, the southern to the central part of Kalimantan, the northern part of Sulawesi, and the southern part of Maluku.

During the September-October-November period, wet conditions still show throughout the country. However, areas recording positive anomalies of magnitude greater than 80% fewer than the August-September-October period. The areas with positive anomalies of magnitude greater than 80% were shown in the southern part of Sumatra, Java, Bali, Nusa Tenggara, the eastern part of Kalimantan, and the central part of Sulawesi.

During the October-November-December period in La Niña years, positive anomalies of seasonal precipitation were shown in the majority of areas across Indonesia. Areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% fewer than the September-October-November period and only shown in Java, small areas in Bali, Nusa Tenggara, and the southern part of Kalimantan. During the November-December-January period, wet conditions still show throughout the country. However, areas recording negative anomalies of magnitude greater than 60% fewer than the October-November-December period and only shown in small areas in Java, Bali, and Nusa Tenggara. Negative anomalies of seasonal precipitation began to show in the northern to the southern part of Sumatra, the western to the eastern part of Java, the western part of Kalimantan, the central of Sulawesi, and the eastern part of Papua.

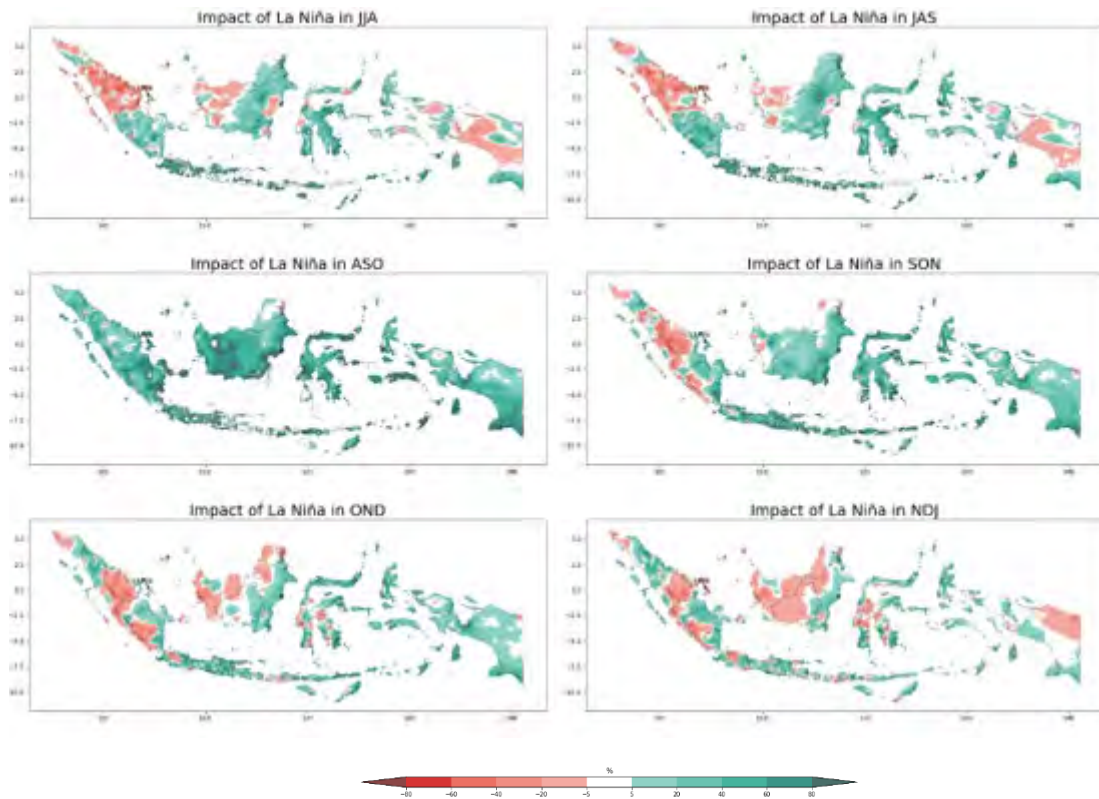


Fig 2. Impact of La Niña event on rainfall variability in Indonesia

4. Conclusion

Based on the results of the analysis that has been carried out above, it can be concluded that some areas in the south of the equator experience decrease rainfall of over 60% during the El Niño event on JJA-SON. And some areas experience increase rainfall of over 80% during the La Niña event on ASO-SON.

5. Future Plan

The future plan for this study is to study for other periods of the year. This is because the present study results were different from the old one by Supari [8].

The Climate Early Warning Sub Division has the latest operational products, namely meteorological drought early warning maps and heavy rainfall early warning maps which are updated every 10 days and released for the first time in 2020. In future studies, it is hoped that an analysis can be carried out regarding the verification of one or both of these maps to determine the skills of operational products.

6. References

- [1] Tjasyono HK, Bayong. 2005. Peran Benua Maritim Indonesia Terhadap Cuaca dan Iklim Global. Bandung: Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung.
- [2] Aldrian, E. 2008. Meteorologi Laut Indonesia. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [3] Irwandi, Hendri dkk. 2017. Pengaruh El Niño terhadap Variabilitas Curah Hujan di Sumatera Utara. Fisitek: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, Vol. 1, No. 2.
- [4] Dayantolis, Wan. 2021. Padang: Panduan WMO-1203 Tentang Perhitungan Normal Iklim - Apa Yang Berubah?
- [5] Efron, B. & Tibshirani Robert, J. 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall, London u.a.
- [6] Mooney, C.Z. & Duval, R.D. (1993) Bootstrapping: a nonparametric approach to statistical inference. Sage Publications, Newbury Park, Calif.; London.
- [7] Wilcox, R.R. (2012) Introduction to robust estimation and hypothesis testing. Academic Press, Amsterdam; Boston.
- [8] Supari, Tangang, F., Salimun, E. et al. ENSO modulation of seasonal rainfall and extremes in Indonesia. *Clim Dyn* 51, 2559–2580 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4028-8>.

IV. ENSO/IOD impact study

IV.2 Improvement of Indian Ocean Dipole Mode (IOD) Monitoring and Forecast

Ridha Rahmat

(1) Introduction

A. Background

The Indonesian government has always considered the national climate state in the policy-making process, particularly for the sector which is sensitive to the climate, such as agriculture, energy, etc. Since ENSO and IOD strongly drive Indonesian climate, information on that two parameter statuses during the upcoming months or years is crucial for the government to design the following step policy. To support this government strategy, we regularly release the status and ENSO and IOD forecast collected from many climate centers, which are available freely, such as JMA (Japan) and JAMSTEC (Japan) products. In the previous project, we evaluated the ENSO skills issued by JMA. However, the skill of IOD prediction issued by JMA has yet to be done. In this project, we will conduct a simple analysis of the skills of JMA IOD forecasts.

It has been reported in many kinds of literature that the impact of IOD could be spatially coherent over Indonesia, depending on intensity, duration, timing, and the local setting of geography. This study will also analyze the impact of IOD on Indonesian rainfall using the bootstrapping method.

B. Data and Method

Several types of data are used in this study, namely IOD forecast data, IOD reanalysis data from JMA, and rainfall data in Indonesia. The IOD forecast data released by JMA is obtained from the IOD JMA forecast archive file, (data can be accessed via https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/gpv/model/CPS2/3-mon/MGPV/YYYYMM/surf_Pss_mb.YYYYMM). where YYYY is input for years and MM is input for months. The data is available from June 2015 to December 2020. This forecast data consists of three lead times. Lead time 0.5; forecasts for the next month, lead time 1.5; forecasts for the next two months, and lead time 2.5; forecasts for the next three months. For more details, please see the following Table.1 illustration.

Table 2.1.1 Illustration of Lead Time JMA ENSO forecast.

Issued Period	Forecast Period			
	Feb	Mar	Dec
Jan	Lead Time 0.5	Lead Time 1.5	Lead Time ...	Lead Time 10.5
Feb		Lead Time 0.5	Lead Time 1.5	Lead Time 9.5
⋮			Lead Time 0.5	Lead Time ...
Jan				Lead Time ...

Historical IOD events from 1991 were obtained from the <https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/iodevents.html>, where Red (blue) bold text indicates positive (negative) IOD events in concurrence with El Niño (La Niña) events, while red (blue) background indicates pure positive (negative) IOD events Winter, spring, summer, and autumn mean December to February, March to May, June to August, and September to November, respectively. For more details, please see the following table.

Table.2 IOD periods from 1991 to Present

Positive IOD	Negative IOD
summer 1994 - autumn 1994	summer 1996 - autumn 1996
summer 1997 - autumn 1997	summer 1998 - autumn 1998
summer 2006 - autumn 2006	
summer 2007 - autumn 2007	
summer 2008	summer 2010 - autumn 2010
summer 2011 - autumn 2011	
summer 2012 - autumn 2012	summer 2013 - autumn 2013
summer 2015 - autumn 2015	summer 2016 - autumn 2016
summer 2019 - autumn 2019	summer 2020 - autumn 2020
	summer 2021 - autumn 2021 (concurrent La Niña event in autumn)
	summer 2022 - autumn 2022

The rainfall data was obtained by blending Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRPS) with BMKG Station data. The data is available from January 1991 to December 2020. To analyze the skills of JMA IOD forecasts, the Standardized Verification System (SVS) technique for Long-Range Forecast will be applied for this study. That is the **Mean Square Skill Score (MSSS) method** and **Pearson Correlation method**. Meanwhile, **Bootstrapping method** will be used to analyze the impact of IOD on rainfall in Indonesia.

1. Pearson Correlation

The correlation coefficient r is a measure to determine the relationship (instead of difference) between two quantitative variables (interval/ratio). In this study, pearson correlation is used to measure the relationship between IOD forecast data and IOD observation data. Pearson correlation coefficient r for two sets of values, x and y , is given by the formula:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(\sum(x-\bar{x})^2(y-\bar{y})^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

Correlation coefficient r close to positive 1 indicates a strong positive correlation. Its means forecast values similar to observed values. On the other hand, the correlation coefficient is close negative 1 indicates a strong negative correlation. Its means forecast values not similar with observed value.

2. Mean Square Skill Score (MSSS)

Mean Square Skill Score (MSSS) value will provide a comparison of forecast performance relative to forecasts of climatology. The three terms of the MSSS decomposition provide valuable information on phase errors (through forecast/observation correlation), amplitude errors (through the ratio of the forecast to observed variances) and overall bias. MSSS can be calculated using equations:

$$MSSS_j = 1 - \frac{MSE_j}{MSE_{cj}} \quad (2)$$

where:

MSE_j : Means Square Error of the forecasts.

MSE_{cj} : Means Square Error of the climatology forecast.

Positive MSSS values indicate forecast model performances are better than climatology forecast. On the other hand, negative MSSS values can be interpreted as the climatology model have better performance compared to the forecast model.

3. Bootstrapping Method

Bootstrapping is a data-based simulation method that can be used for statistical inference (Efron and Tibshirani (1998)). Rainfall anomaly is calculated by finding the difference between the total rainfall in each IOD event (positive and negative IOD) and the average total rainfall in the neutral IOD period. The significant level is calculated using the bootstrapping method, with 1000 repetitions, to ensure that the anomaly obtained is statistically robust.

(2) Analysis Results and Discussion

A. Performance of IOD Predictions Issued By JMA

By using the Pearson and MSSS Correlation method, the results of IOD verification for the June 2015 - December 2019 period issued by JMA are as follows:



Figure1. Performance of IOD predictions Issued by JMA

Figure1. shows the results of verification for IOD index issued by JMA. The correlation test shows high correlation of IOD forecast for 1 to 3 months ahead. This means IOD forecast issued by JMA has a high phase similarity with its observational value. Verification using MSSS method also shows similar results with correlation method, where positive MSSS is dominant result. It means IOD Prediction model issued by JMA is better than climatology (in terms of bias magnitude) for 1 to 3 months ahead.

By using the Pearson Correlation, the results of IOD verification for the June 2015 - December 2019 period issued by JMA for each month are as follows:

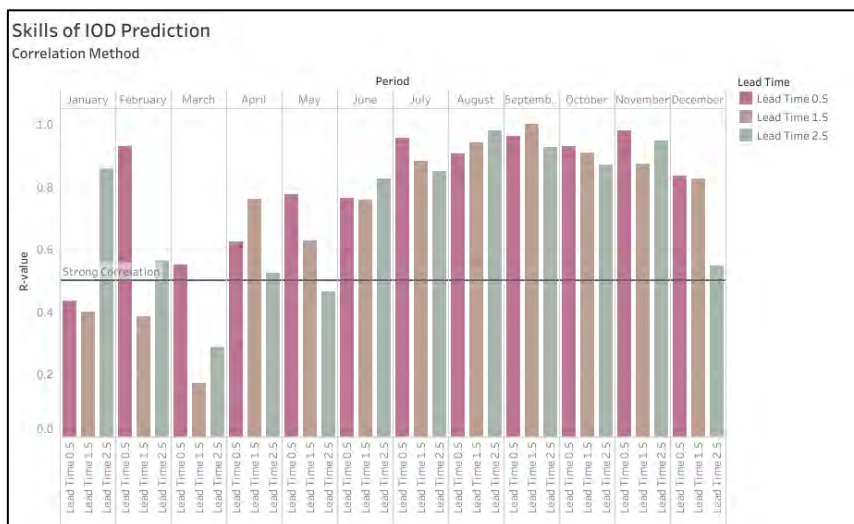


Figure2. Performance of IOD Prediction Issued by JMA using Correlation Method

The results of skill assessment at monthly scale as shown in Figure2. In general, the JMA IOD forecast has good skills except those issued in Jan-March. For Jan-March period, the correlation decreased.

B. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall

1. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall During JJA (June – July – August) Period

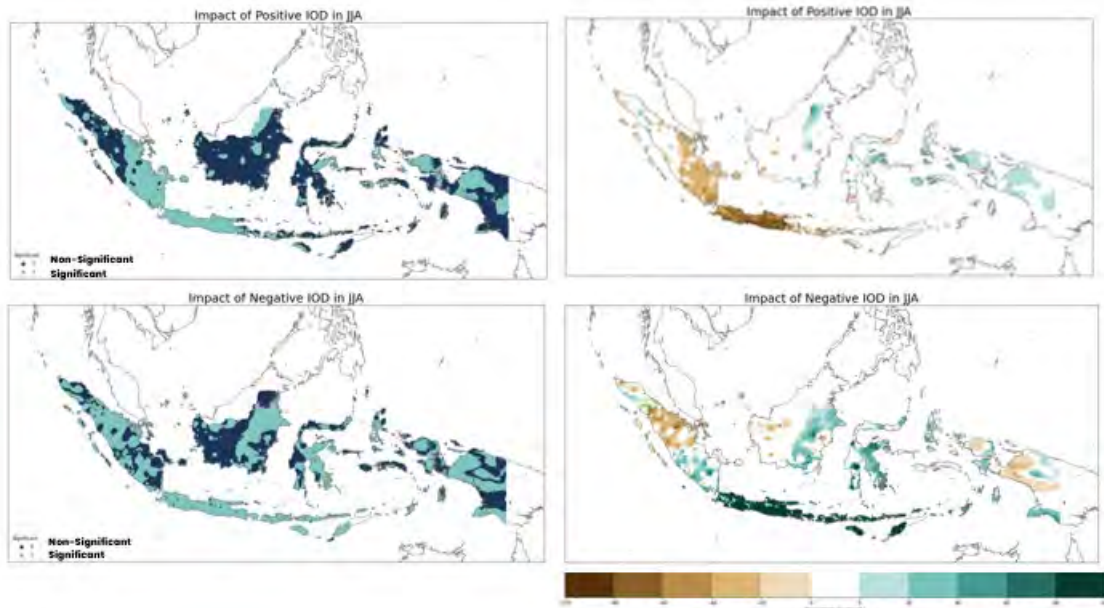


Figure3. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall During JJA

In general, positive and negative IOD has a significant impact on rainfall over Indonesia during JJA Period, especially for some parts of Sumatera, Java, Bali NTB and NTT. Indonesia's rainfall during positive IOD in the JJA period decreased, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, and NTB. However, Indonesia's rainfall during negative IOD in the JJA period increased, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, NTB, NTT, and Sulawesi.

2. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall During SON (September – October – November) Period

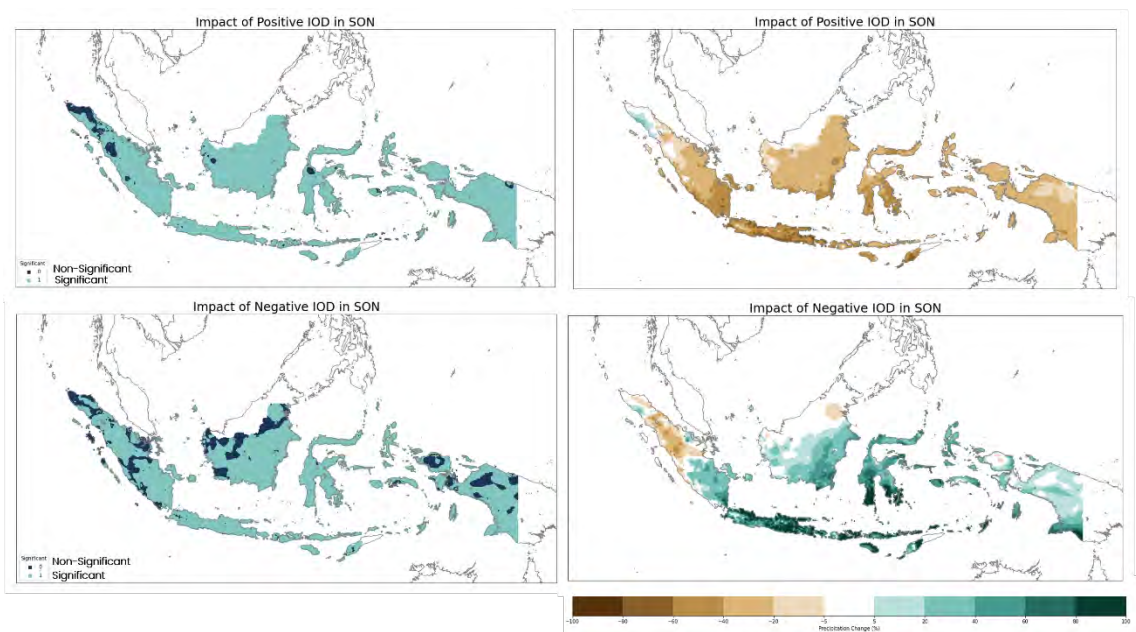


Figure4. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall During SON

Generally, positive and negative IOD significantly impacts rainfall over Indonesia during SON Period, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, NTB and NTT, Kalimantan, Sulawesi, and Maluku. Indonesia's rainfall during positive IOD in the SON period decreased, except for the northern part of Sumatera. However, Indonesia's rainfall during negative IOD in the SON period increased, except for the northern part of Sumatera and North Kalimantan.

C. Impact of Pure IOD events on Indonesian Rainfall

1. Impact of Pure IOD events on Indonesian Rainfall During JJA (June – July – August) Period

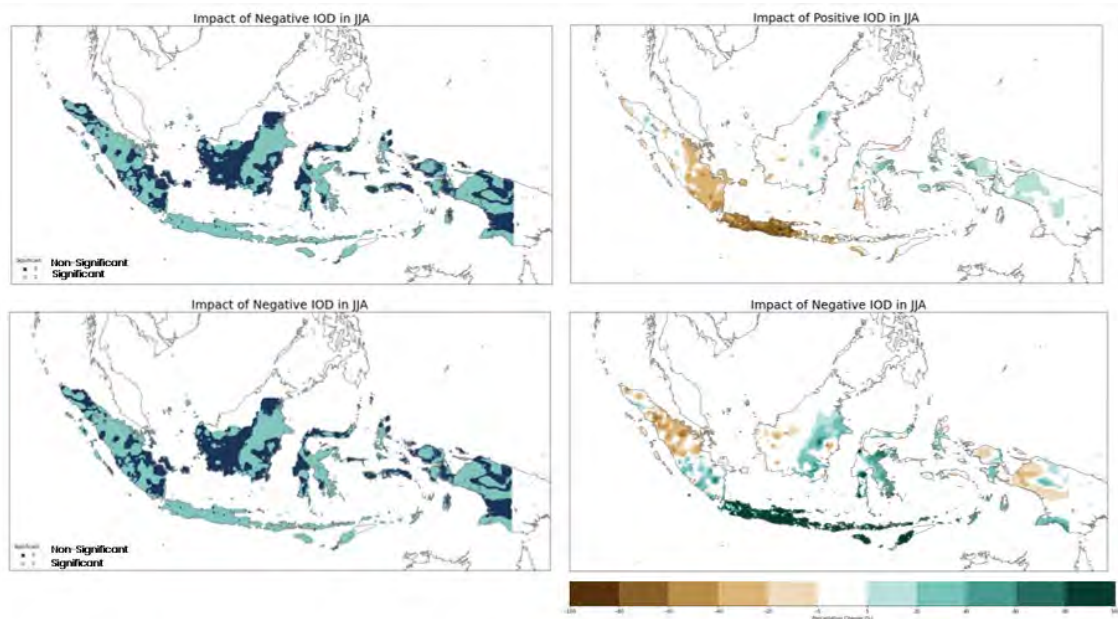


Figure5. Impact of Pure IOD events on Indonesian Rainfall During JJA

In general, pure positive and pure negative IOD has a significant impact on rainfall over Indonesia during JJA Period, especially for some parts of Sumatera, Java, Bali NTB and NTT. Indonesia's rainfall during positive IOD in the JJA period decreased, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, and NTB. However, Indonesia's rainfall during negative IOD in the JJA period increased, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, NTB, NTT, and Sulawesi.

2. Impact of Pure IOD events on Indonesian Rainfall During SON (September – October – November) Period

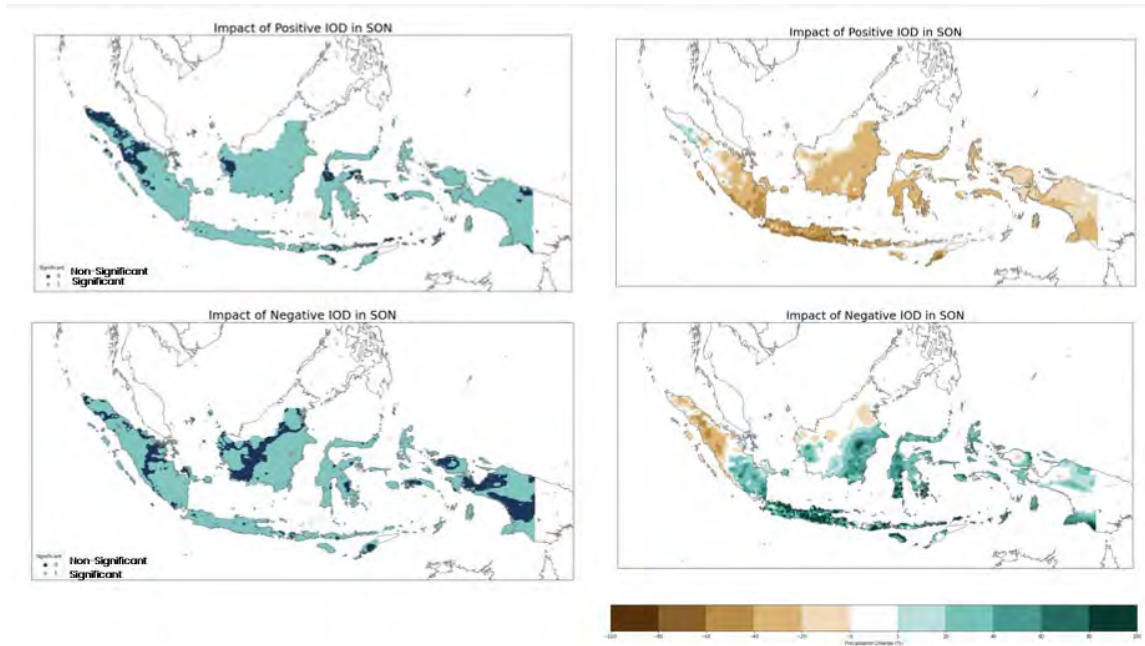


Figure6. Impact of IOD events on Indonesian Rainfall During SON

Generally, pure positive and pure negative IOD significantly impacts rainfall over Indonesia during SON Period, especially for the southern part of Sumatera, Java, Bali, NTB and NTT, Kalimantan, Sulawesi, and Maluku. Indonesia's rainfall during pure positive IOD in the SON period decreased, except for the northern part of Sumatra. However, Indonesia's rainfall during negative IOD in the SON period increased, except for the northern part of Sumatra and North Kalimantan.

D. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD

1. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at Central Java 30 Region

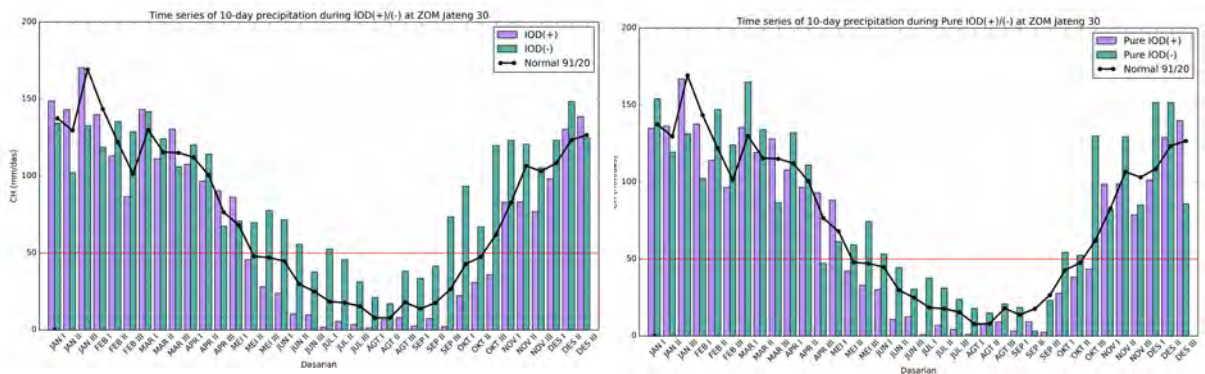


Figure7. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at Central Java_30 Region

Generally, rainfall in Central Java_30 region decreased compared to normal rainfall during positive IOD. Vice versa, rainfall in the Central Java_30 region increased during negative IOD.

2. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at West Java_31 Region

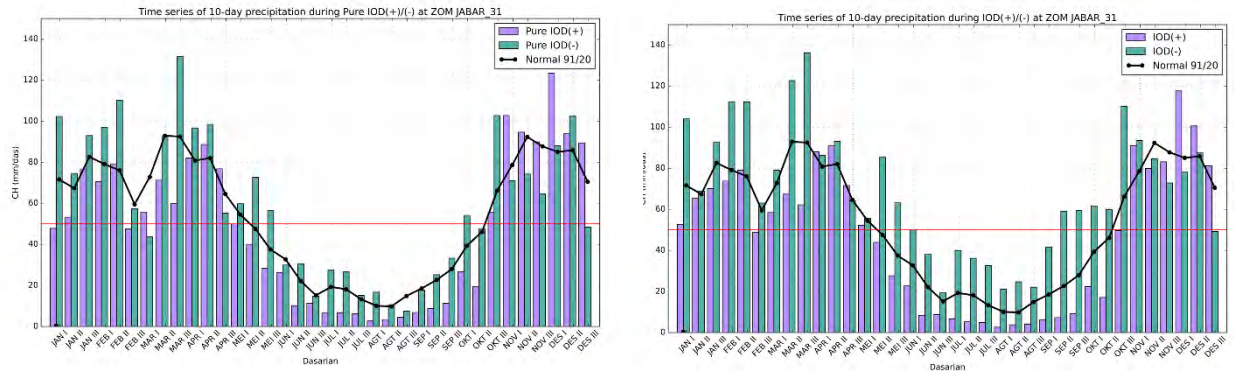


Figure8. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at West Java_31 Region

Generally, rainfall in the West Java_31 region decreased compared to normal rainfall during positive IOD. Vice versa, rainfall in the West Java_30 region increased during negative IOD.

3. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at Aceh_4 Region

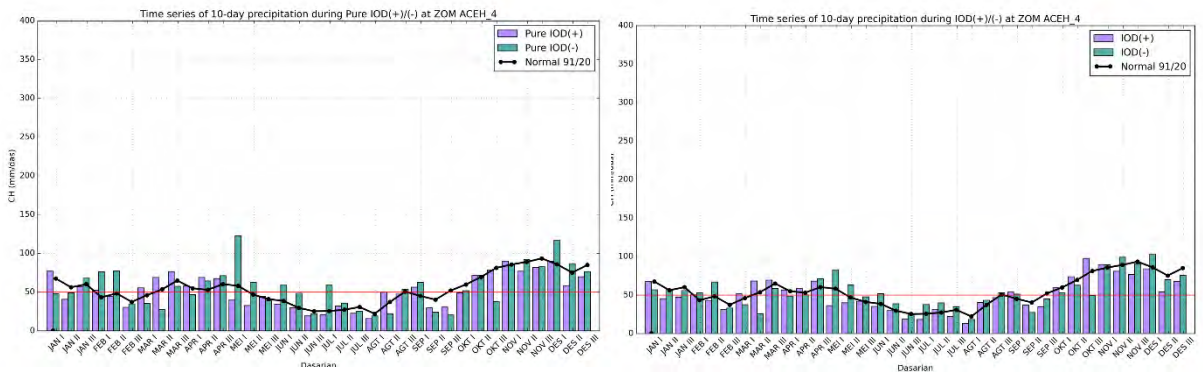


Figure9. Time Series of 10-day Precipitation during Positive/Negative IOD at West Java_31 Region

There is no significant change in rainfall during the negative and positive IOD periods, except on May I-Jul I. During these periods, rainfall in Aceh 4 region decreased compared to normal rainfall during positive IOD; Vice versa, rainfall in the aceh_4 region increased during negative IOD.

E. Atmospheric and Ocean Dynamics Analysis

1. Sea Surface Temperature (SST) During IOD Event.

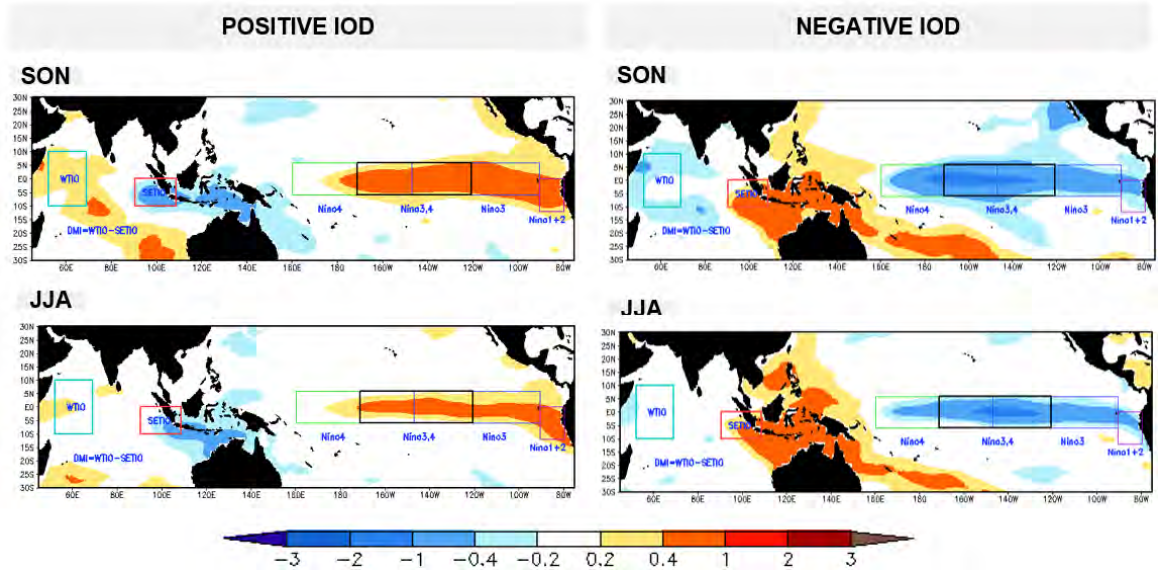


Figure10 SST Anomaly During IOD Event

During the positive IOD, the sea surface temperature (SST) anomaly in the western Indian Ocean is warmer, and SST anomaly conditions in the eastern Indian Ocean are cooler. Furthermore, warm conditions dominate SST conditions in the eastern to central Pacific Ocean. Meanwhile, SST anomaly conditions in Indonesia tend to be cooler. This phenomenon can lead to reduced rainfall in some parts of Indonesia.

While in the negative IOD, the sea surface temperature anomaly (SST) in the western Indian Ocean is cooler, and the SST anomaly in the eastern Indian Ocean is warmer. Furthermore, cooler conditions dominate SST anomaly in the eastern to central Pacific Ocean. Meanwhile, the SST anomaly in Indonesia tends to be warmer. This phenomenon can lead to increase rainfall in some parts of Indonesia.

2. Sea Surface Temperature (SST) During Pure IOD Event.

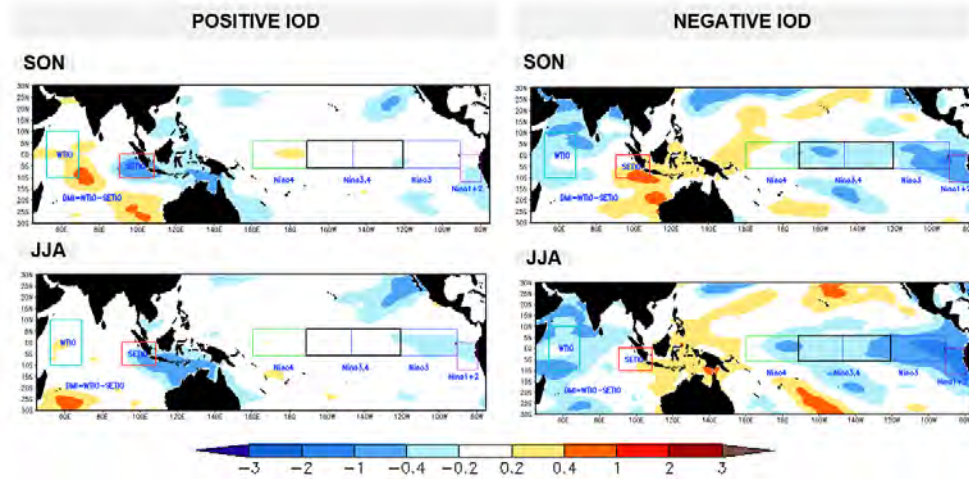


Figure11 SST Anomaly During Pure IOD Event

During pure positive IOD, the sea surface temperature (SST) anomaly in the western Indian Ocean is warmer, and SST anomaly conditions in the eastern Indian Ocean are cooler. Furthermore, warm conditions dominate SST conditions in the eastern to central Pacific Ocean. Meanwhile, SST anomaly conditions in Indonesia tend to be cooler. This phenomenon can lead to reduced rainfall in some parts of Indonesia.

While in pure negative IOD, the sea surface temperature anomaly (SST) in the western Indian Ocean is cooler, and the SST anomaly in the eastern Indian Ocean is warmer. Furthermore, cooler conditions dominate SST anomaly in the eastern to central Pacific Ocean. Meanwhile, the SST anomaly in Indonesia tends to be warmer. This phenomenon can lead to increase rainfall in some parts of Indonesia.

3. Zonal Wind Anomaly (850mb) During IOD Events.

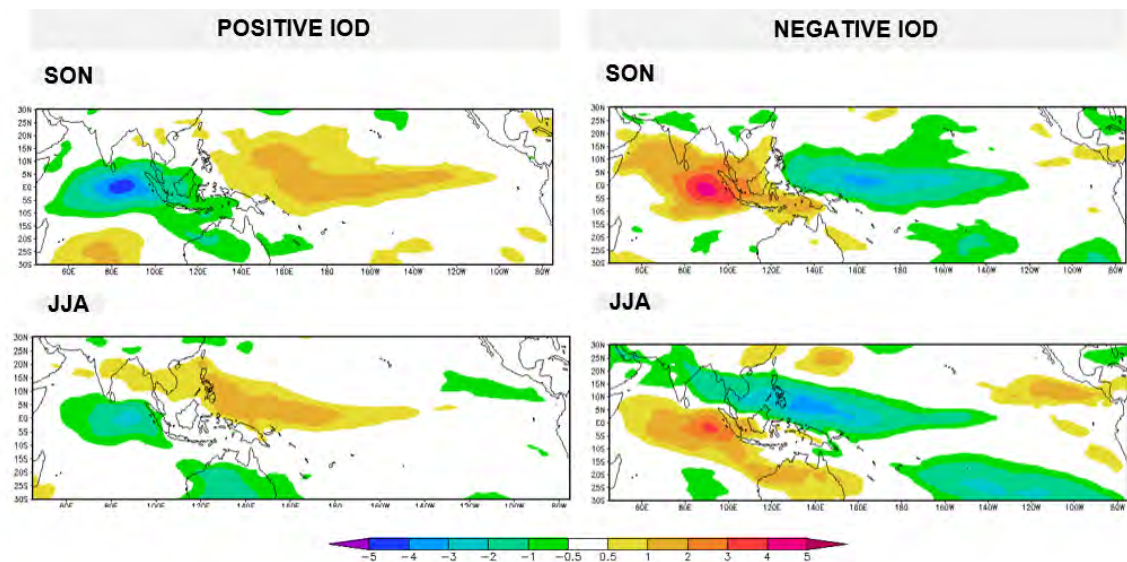


Figure12. Zonal Wind Anomaly During IOD Event

During positive IOD, the zonal wind anomaly in the SON and JJA periods is generally negative, meaning the easterly wind is stronger than the climatology. Meanwhile, during negative IOD, zonal wind anomaly in the SON and JJA periods are generally positive, meaning that the westerly winds are stronger than the climatology.

4. Zonal Wind Anomaly (850mb) During Pure IOD Events.

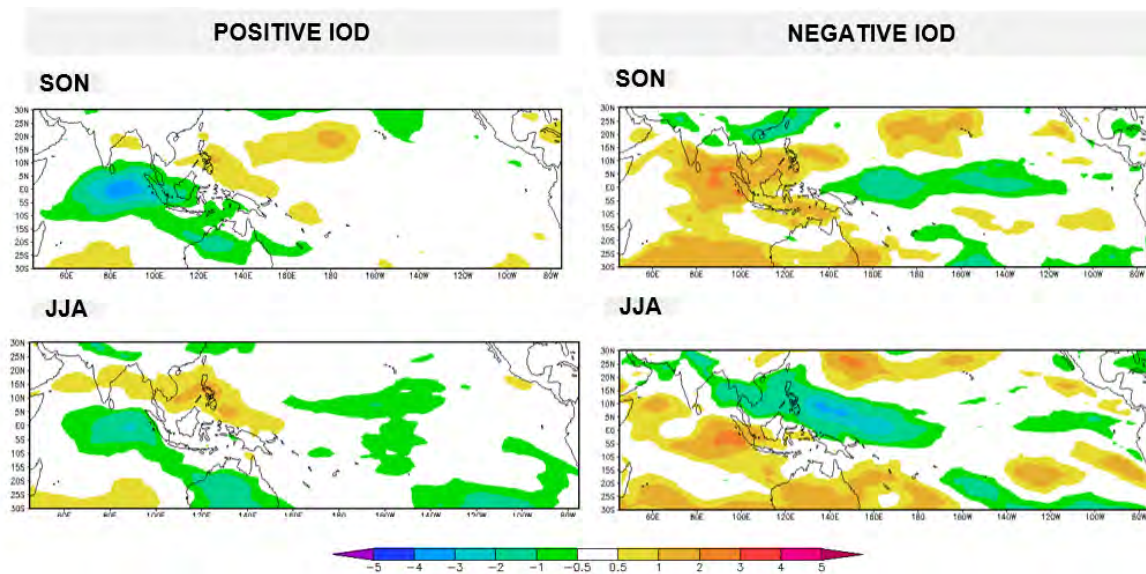


Figure13. Zonal Wind Anomaly During IOD Event

During pure positive IOD, the zonal wind anomaly in the SON and JJA periods is generally negative, meaning the easterly wind is stronger than the climatology. Meanwhile, during negative IOD, zonal wind anomaly in the SON and JJA periods are generally positive, meaning that the westerly winds are stronger than the climatology.

(3) Results and Future Tasks

A. Results

1. IOD Prediction issued by JMA generally has a good prediction on forecasting 1 to 3 months ahead, and Positive MSSS are the dominant result..
2. In general, Indonesia's rainfall during the positive IOD decreased and vice versa. However, some regions experienced different impacts.

B. Future Tasks

In the next project, we could evaluate the six months IOD and ENSO forecasts issued by JMA. This information will assist the BMKG forecaster in predicting seasonal rainfall and the season onset.

(4) Reference

Aldrian, E., & Djamil, Y.S. (2008). Spatio-temporal climatic change of rainfall in East Java Indonesia. *International Journal of Climatology*, 28, 435-448. doi:10.1002/joc.1543.

<https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/model/map/1mE/index.html>

Supari et al. (2017). Observed changes in extreme temperature and precipitation over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 37, 1979-1997

Japan Meteorological Agency. (2020, February 10). Japan Meteorological Agency. Retrieved from Japan Meteorological Agency : https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/gpv/model/CPS2/3-mon/MGPV/YYYYMM/surf_Pss_mb/YYYYMM

World Meteorological Organization. (2012). *Manual on the Global Data-processing and Forecasting System*. Geneva: World Meteorological Organization.

V One Year Forecast Study

One Year Outlook Study in Indonesia (Case Study Climate Outlook 2023)

Amsari M. Setiawan and Adi Ripaldi

1. Introduction

The Indonesia Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG) regularly disseminate several publications related to climate information such as analysis and prediction of ten days accumulation (decade) rainfall, monthly rainfall, Rain/Dry Season Predictions, and other publications. Start in 2020, the BMKG published Climate Outlook which contains climate prediction information until the end of next year.

One year climate outlook is a special request from the government through the Ministry of National Development Planning of the Republic of Indonesia. This information also requested by other ministries such as the Ministry of Public Works and Public Housing of the Republic of Indonesia, Ministry of Environment and Forestry of The Republic of Indonesia and the Ministry of Agriculture of the Republic of Indonesia.

Climate outlook made to be used as a reference and consideration in designing plans for next year by several sectors in planning, early warning, and early adaptation of national development activities. This outlook also used to provide stakeholders with a general picture of climate conditions in next year as early as possible which can be used as a basis for making policies. Climate outlook information will be supplemented with updated information by the BMKG on the Monthly Prediction and Rain/Dry Season Prediction. The purpose of this study is to describe all the process taken to produce the BMKG one year climate outlook.

2. Data and Method

2.1 Data

Monthly Nino 3.4 and Indian Ocean Dipole (IOD) index from Interactive Tool for Analysis of the Climate System/ iTacs, Japan Meteorological Agency/JMA (<https://extreme.kishou.go.jp/tool/itacs-tcc2015/>) during January 1991 to August 2022 are applied in Singular Spectrum Analysis (SSA) method (Supari et al, 2019). This data used to produce statistical model prediction, combined with another predictions output provided by various global climate service centers (<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>). Sea Surface Temperature (SST) outlook over Indonesia waters is produced using dynamical model prediction by North American Multi Model Ensembles (NMME) output (Kirtman et. al., 2014). Rainfall dynamical model prediction from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Bias Corrected Prediction Output Model (ECMWFcorr). Rainfall statistical model predictions are produced based on blended rainfall observation data (BMKG, 2021) from Dasarian or Decade I January 1991 – Dasarian or Decade III August 2022 using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), WAVELET - Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) and WAVELET-ARIMA (Sonjaya et.al., 2009).

2.2 Method

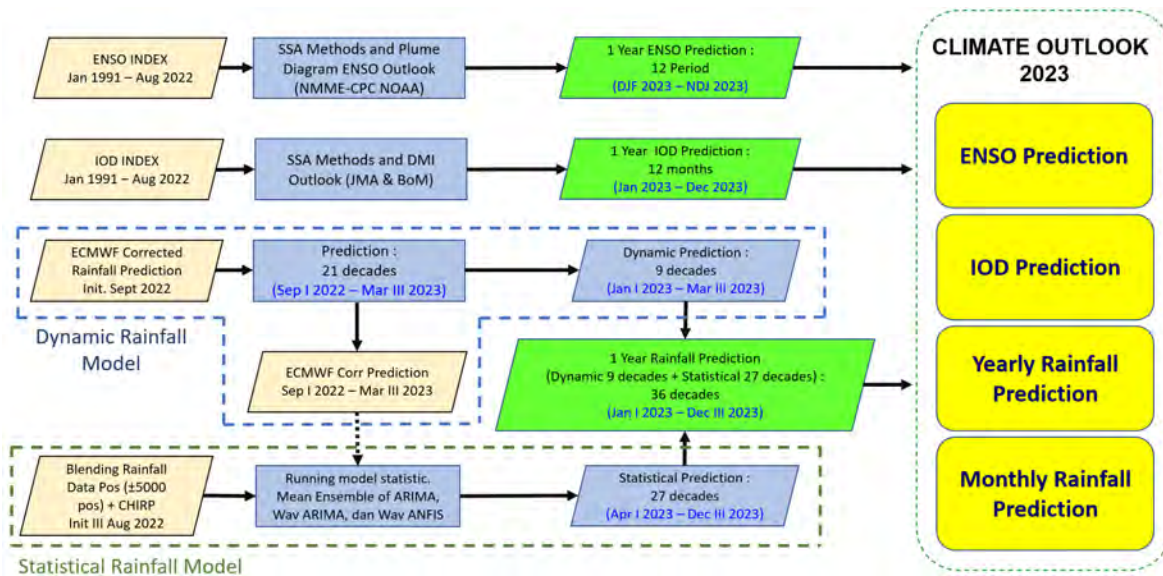


Figure 1. General flowchart to generate climate outlook information

Nino 3.4 and IOD index decade I January 1991 to decade III August 2022 used as input for SSA model to predict Nino 3.4 and IOD index up to 12-month lead time, seasonal (DJF 2022/23 – NDJ 2023) and Monthly value (Jan 2023 – Dec 2023). This statistical approach was used for ENSO and IOD Prediction in climate outlook. Dynamical rainfall model utilization for one year climate outlook used ECMWF raw output model (initial September III 2022) and bias correction factor (based on 1991–2020 hindcast and blended rainfall observation data). Linier scaling bias correction (Crochemore et. al., 2016) applied on ECMWF output to generate ECMWFcorr rainfall prediction over 21 decades lead time for January I 2023 – March III 2023. While September I 2022 – March III 2023 rainfall prediction used for statistical model input. Statistical rainfall model for extended monthly precipitation outlook provided from blended rainfall observation data from I January 1991 – III August 2022 combined with ECMWFcorr decadal prediction September I 2022 – March III 2023 (output from 2) and processing with ARIMA, Wavelet ARIMA and Wavelet ANFIS. The output from this process is Monthly Rainfall Prediction (27 decades lead time), April I 2023 – December III 2023; and Annual Rainfall for 2023. The general information about these processes can be seen on Figure 1.

3. Result

The Climate Outlook 2023 (BMKG, 2022) was made based on the analysis of climate and global atmospheric dynamics during January-August 2022. The Climate Outlook 2023 consists of three parts:

- The first part contains predictions for the El-Nino Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Oscillation Dipole (IOD) until the end of 2023, along with the outlook for sea surface temperature until May 2023 (Figure 2).
- The second part contains predictions of 2023 rainfall and its comparison to normal and to 2022 rainfall. This part consists of Annual Rainfall Prediction (Figure 3 left); Annual Rainfall

Anomaly Prediction (Figure 3 right); Monthly Rainfall Prediction (Figure 4); and Monthly Rainfall Anomaly Prediction (Figure 5) for One Year Climate Outlook 2023.

- c. The third part, discusses general suggestions for anticipating the 2023 climate impact on development activities in sectors that are closely related and affected by the climate, including the agricultural, forestry, disaster, health, water resources, marine and coastal, and socio-economic sectors.

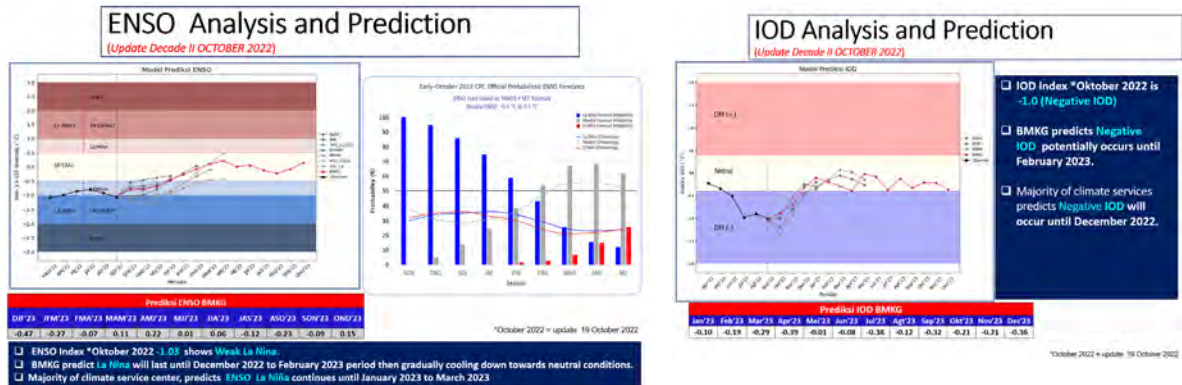


Figure 2. ENSO Analysis and Prediction (left) compared with Probabilistic ENSO Forecast (middle); IOD Analysis and Prediction for One Year Climate Outlook 2023 (right)

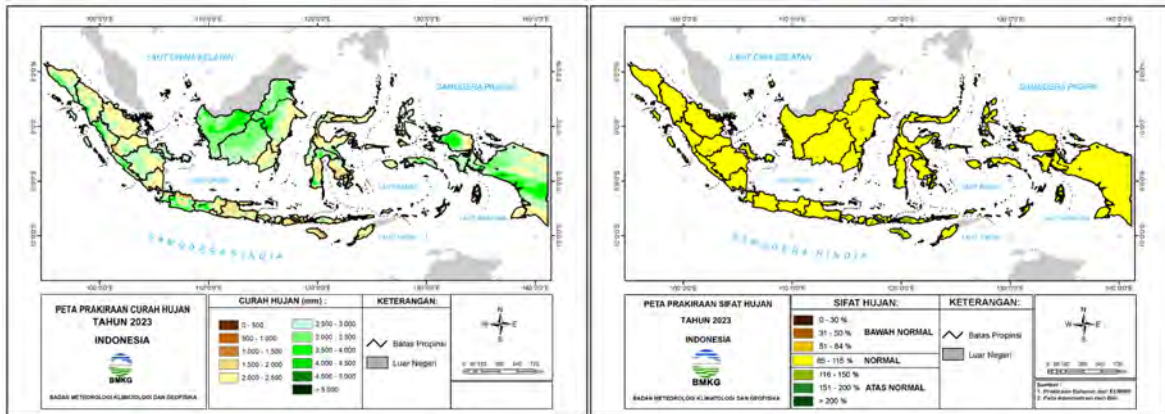


Figure 3. Annual Rainfall Prediction (left) and Rainfall Anomaly Prediction (right) for One Year Climate Outlook 2023

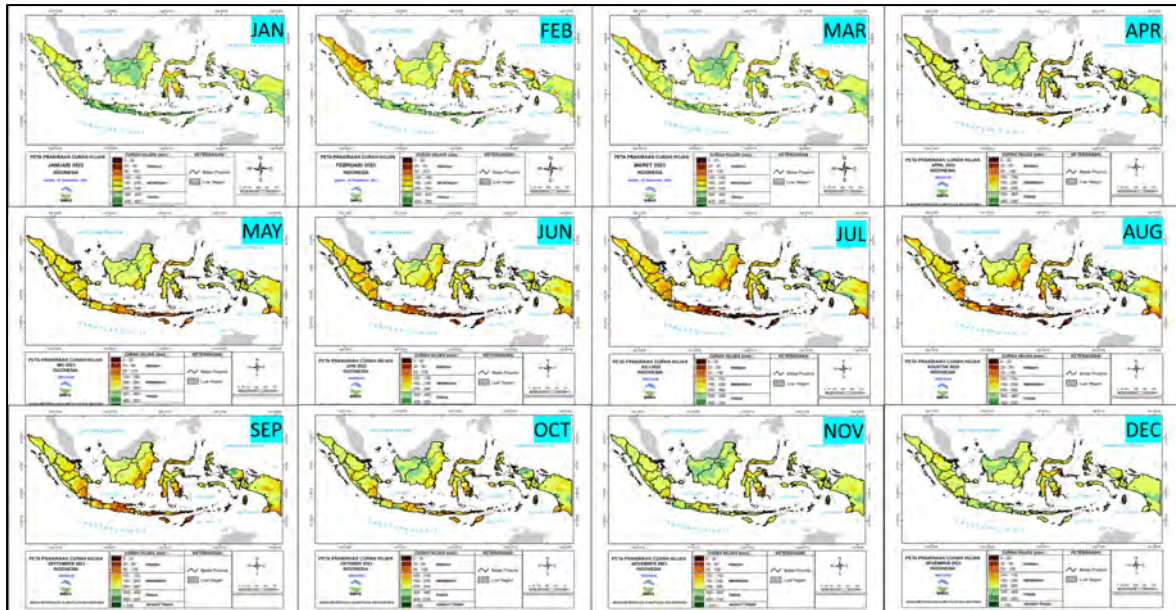


Figure 4. Monthly Rainfall Prediction

The annual rainfall prediction in 2023 are generally will have similar value than its normal. The annual rainfall more than 2500 mm/year potentially occur in Sumatra, especially around the mountainous Bukit Barisan region, Bangka Belitung Islands, South Sumatra, several parts of Banten, West Java, Central Java, few part of Kalimantan, several part of West Sulawesi, South Sulawesi, and Papua. Areas that are predicted to experience rainfall above normal are Jambi, West Java, Java East, few part of East Kalimantan, Bali, West Nusa Tenggara, and few part of Central Sulawesi. On the other side, several areas predicted to experience annual rainfall below normal are located in part of West Papua and a small part of Papua.

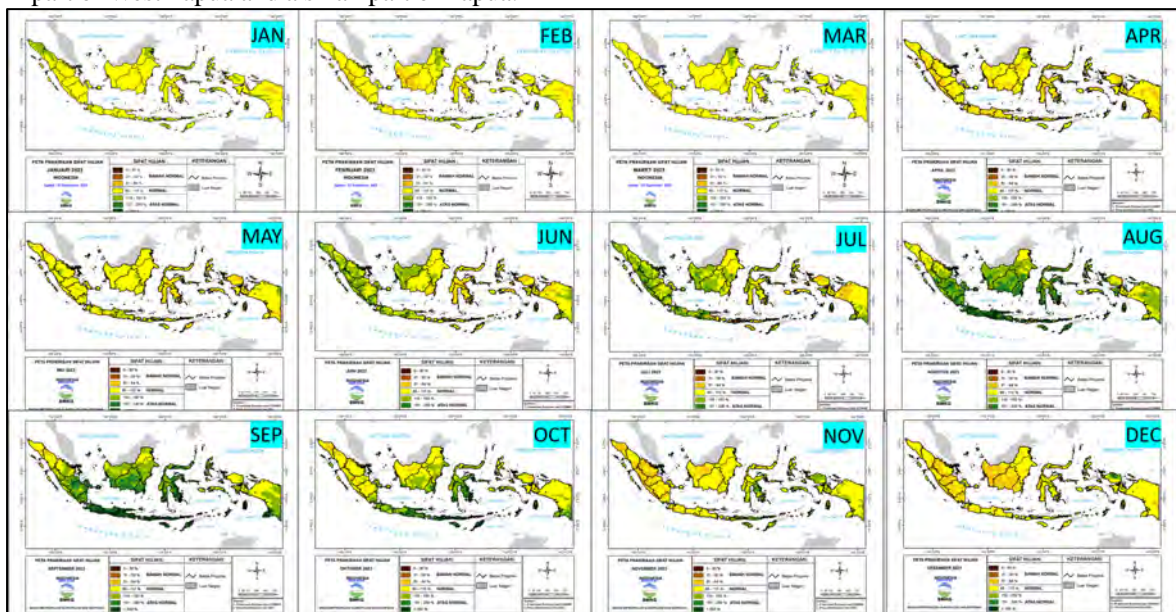


Figure 5. Monthly Rainfall Anomaly Prediction

Monthly rainfall over Indonesia predicted varies from above normal to below normal. Near normal rainfall predicted to be occurs on January to June and October to December 2023. Nevertheless, several areas are predicted to experience rainfall above normal during July to September 2023.

Table 1. Monthly precipitation accumulation prediction value compared with its normal (1991-2020)

PROVINSI	JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AGT		SEP		OKT		NOV		DES	
	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL	2023	NOR MAL
	ACEH	260	213	160	163	228	220	233	249	198	202	191	147	182	151	185	180	198	212	241	293	265	329	258
SUMATERA UTARA	225	198	145	159	202	200	207	225	187	195	176	141	185	154	204	198	229	241	256	286	268	303	248	281
RIAU	229	212	142	149	209	208	212	227	191	188	166	137	163	132	180	152	192	169	212	221	224	279	217	256
SUMATERA BARAT	282	271	175	211	243	259	230	281	216	208	206	158	206	152	227	172	252	208	259	268	274	333	279	325
KEPULAUAN RIAU	239	222	114	121	166	172	205	197	199	212	197	182	191	173	182	158	175	162	208	221	242	287	246	307
JAMBI	261	253	196	215	234	251	217	251	174	180	156	122	155	120	174	118	185	128	200	193	224	273	224	273
KEP.BANGKA BELITUNG	320	297	185	203	233	248	235	263	201	225	188	166	162	142	174	113	193	112	235	197	278	281	290	347
SUMATERA SELATAN	285	281	228	251	264	281	245	272	193	189	161	135	146	122	156	104	172	113	203	194	248	282	264	311
BENGKULU	304	304	211	248	219	260	221	273	214	218	214	165	218	159	226	176	244	193	267	270	274	347	277	337
LAMPUNG	302	306	245	270	250	277	206	214	166	160	148	110	131	100	125	78	133	87	157	133	191	208	235	286
BANTEN	403	361	349	328	243	269	192	236	183	174	156	115	121	93	121	65	152	84	219	157	258	271	295	344
DKI JAKARTA	369	342	388	375	179	205	153	172	120	117	105	83	110	69	92	48	106	61	149	115	151	156	191	197
JAWA BARAT	370	348	307	328	298	320	232	274	175	175	139	109	105	75	116	53	175	82	246	196	275	319	291	329
JAWA TENGAH	439	411	381	385	316	329	216	259	140	143	104	87	68	51	81	32	125	53	222	163	283	302	330	363
YOGYAKARTA	358	352	328	349	282	309	170	207	96	89	77	53	50	26	59	16	94	32	189	104	257	258	321	332
JAWA TIMUR	337	313	293	294	259	268	173	198	102	99	68	60	41	36	49	18	75	31	146	84	200	195	255	281
KALIMANTAN BARAT	337	329	240	278	286	300	273	291	263	257	262	210	230	188	233	176	260	203	291	303	307	360	308	379
KALIMANTAN TENGAH	304	306	247	279	303	315	274	305	242	243	209	196	182	151	186	127	220	145	278	239	295	313	276	333
KALIMANTAN UTARA	273	246	245	218	280	248	267	264	261	261	238	231	224	223	233	224	245	217	268	274	282	287	266	294
KALIMANTAN TIMUR	274	258	256	236	290	269	255	272	225	235	196	192	178	161	172	135	184	141	232	201	267	264	259	286
KALIMANTAN SELATAN	278	289	228	248	254	271	206	229	173	185	154	174	144	131	145	85	151	88	180	133	220	225	247	299
BALI	395	353	356	325	253	256	158	176	95	104	63	66	49	54	71	28	112	51	185	122	243	211	295	302
NTB	308	280	299	267	209	213	121	141	57	66	26	36	12	26	26	15	60	25	117	56	185	144	237	246
NTT	343	311	339	300	235	238	134	149	70	84	38	48	27	31	36	17	66	26	131	54	205	144	268	273
SULAWESI UTARA	306	260	232	200	221	201	184	193	177	203	179	212	170	160	149	106	150	101	184	148	216	212	229	228
GORONTALO	226	193	155	144	180	167	167	172	156	161	156	170	148	125	129	77	115	70	138	110	150	157	152	164
SULAWESI TENGAH	188	175	162	161	200	194	190	221	187	211	195	226	196	185	187	134	175	117	171	133	172	159	174	175
SULAWESI BARAT	265	246	182	198	216	233	240	261	235	235	214	217	197	156	188	123	185	132	224	187	226	264	221	279
SULAWESI SELATAN	290	273	243	242	271	269	245	309	230	271	207	241	173	171	148	98	153	94	194	130	242	203	252	274
SULAWESI TENGGARA	201	201	179	193	212	222	208	239	190	223	171	213	153	146	133	80	130	69	149	86	186	140	192	187
MALUKU UTARA	227	200	205	185	204	188	190	214	199	203	212	231	203	180	184	132	164	120	162	139	175	175	196	205
MALUKU	237	226	237	228	220	218	196	226	188	226	228	269	213	213	188	150	176	124	173	125	195	162	217	241
PAPUA BARAT	259	247	217	212	217	214	225	263	231	267	245	291	252	280	253	234	249	243	255	252	245	212	239	227
PAPUA	272	277	265	271	279	278	245	276	220	220	212	217	217	235	212	183	209	179	227	209	242	225	257	270

Furthermore, the Climate Outlook of 2023 also provide detailed rainfall prediction for each province in Indonesia, include its comparison with normal. Similar with Figure 4 and Figure 5, Table 1 show monthly rainfall prediction on 2023 which has relatively high spatial and temporal variability. This rainfall prediction and climate outlook information then forwarded using a formal letter from the Head of the BMKG to the president of the Republic of Indonesia and related ministries/institutions (Figure 6)

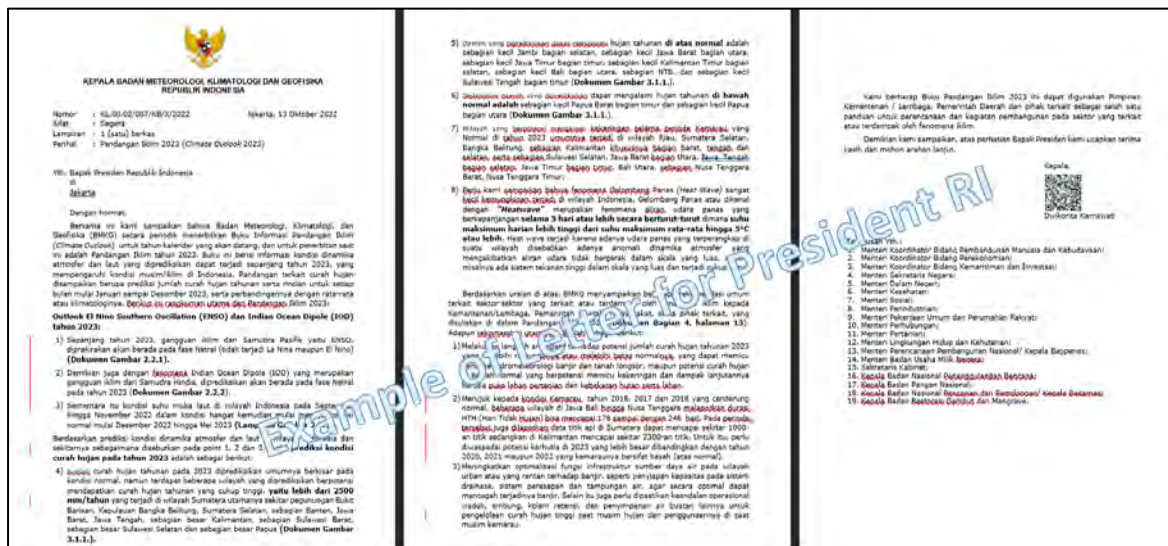


Figure 6. Example letter from BMKG to Republic of Indonesia President

4. Remark

Based on discussion in previous section, several conclusions can be made as follows:

1. One Year Climate Outlook is prepared to supply the request from the government through the Ministry of National Development Planning of the Republic of Indonesia and other sectoral ministries
2. Made based on combined dynamical and statistical methods to see the climate conditions (drier or wetter) in the next year
3. Used as a reference and consideration in designing plans for next year by several sectors, include letter for President
4. Long-term forecast challenge will be heavily dependent by the climate driver force that will dominate the next one year

Beside the conclusion, there are several actions that can be made for further improvement in the future, such as:

- a) Outlook Evaluation based on Hindcast and Verification;
- b) Collaboration with other agencies such as Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) for utilization of Sintex F output and Meteorological Research Institute (MRI) – Japan Meteorological Agency (JMA) for Multi Years/Decadal Climate Prediction, include post processing;
- c) Artificial Intelligence /Machine Learning approach for multi years climate outlook

5. Reference

BMKG. 2021. Peta Rata-Rata Curah Hujan dan Hari Hujan Periode 1991-2020 Indonesia. Pusat Informasi Perubahan Iklim (<https://iklim.bmkg.go.id/id/detail-buletin/?tahun=2021&id=48>)

BMKG. 2022. Pandangan Iklim 2023 (Climate Outlook). Pusat Informasi Perubahan Iklim. (<https://iklim.bmkg.go.id/id/detail-buletin/?tahun=2022&id=43>)

Crochemore, L., M. Ramos, and F. Pappenberger. 2016. Bias Correcting Precipitation Forecasts to Improve the Skill of Seasonal Streamflow Forecast. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 3601–3618, <https://doi.org/10.5194/hess-20-3601-2016>.

Kirtman, Ben P., and Coauthors, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; Phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585–601. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>

Sonjaya, I., Kurniawan, T., Munir, M., Wiratri, M., and Khairullah. 2009. Uji Aplikasi HyBMG Versi 2.0 Untuk Prakiraan Curah Hujan Pola Monsunal Ekuatorial dan Lokal. *Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. 5(3). pp. 323-339.

Supari, Ridha R., Ardhasena S., Amsari M.S., Diah A., et.al. 2019. An Ensemble ENSO Prediction using Singular Spectrum Analysis. The 6th International Symposium on LAPAN-IPB Satellite Program Book. CLI-LIS100-27.