熱帯・亜熱帯の対流活動を指標とした季節予報ガイダンスによる 2023 年夏の予測精度評価 *小越久美(日本気象協会) 鈴木はるか(日本気象協会)

1. はじめに

2023 年夏は近年の気温上昇トレンドを大きく上 回る異常高温となったが、各国の大気海洋結合モ デルによる日本付近の予測気温は観測値と大きく 乖離していた。2023 年夏に限らず、季節予報にお ける中緯度の予測精度は低く、定量的な予測数値 が求められる産業への活用は進んでいない。また、 近年は機械学習を用いたアプローチが進展してい るが(Gibson et al. 2021, Cohen et al. 2019)、アジ アモンスーンの影響を複雑に受ける日本域の予測 精度については整理されていない。

一方で、大気海洋結合モデルにおける ENSO を はじめとした熱帯域の予測精度は高く、テレコネクシ ョンの分野では、SST よりも海盆間相互作用の結果 である積雲対流活動を指標とすることで、東アジア の天候や気温と高い相関が得られることが分かって いる(Ueda et al. 2015, Kuramochi et al. 2021)。

そこで本研究では、予測精度が高く、日本の天候 と相関の高い熱帯・亜熱帯域の対流活動を指標とし た機械学習による日本域の季節予報ガイダンスを 構築した。その予測精度について報告し、2023年 夏の予測結果について考察する。

2 ガイダンスの構築

2.1 初期分析(説明変数の検討)

多重共線性による予測精度の低下を防ぐために、 対流活動と海面水温のどちらが変数として有効かを 検討する目的で、日本の月平均気温との相関分析 を実施した。対流活動の指標として OLR(Outgoing Longwave Radiation)を用い、データは ERA5 より OLR(Top net thermal radiation W m-2)と SST (Sea surface temperature K)の月平均値、気象庁 より日本の月平均気温(℃)を利用した。

例として 7 月の結果を図1に示す。OLR のほうが 月平均気温と有意な相関を示すエリアが多く、アジ アモンスーン域を中心に SST よりも高い相関が得ら れた。これは Ueda et al. 2015 の報告とも整合的で あり、OLRを指標として複数エリアを組み合せること で、予測精度の向上が期待できる。変数に用いる OLR は、相関分析により日本の平均気温と相関の 高いエリアを、解釈をしやすくするため既往研究を 参考に区切って抽出し、エリア平均した(表 1)。以降、 指数名として表1のエリア名を用いる。



図 1 日本の7月の平均気温と0LR(上段)・SST(下段)の アノマリ相関 期間:1979-2020年 線形トレンド偏差 ハッチは P<=0.05 で有意 四角枠は北緯20度~南緯20度で有意なエリア 0LRの符号は正が対流活発、負が対流不活発

表 1 指標とする 0LR を抽出したエリア

カテゴリ	エリア名	緯度(北)	緯度(南)	経度(西)	経度(東)
	NINO_12	0	-10	-90	-80
	NINO_3	5	-5	-150	-90
ENSO監視海域	NINO_34	5	-5	-170	-120
	NINO_4	5	-5	160	-150
	NINO_WEST	15	0	130	150
フィリピン付近	PH	20	10	110	140
フィリピンの北	PH_N	25	10	110	130
アジアモンスーン	N	30	15	70	140
域	S	10	0	70	140
(北・南・西・	w	25	5	80	105
東)	E	20	5	105	140
海洋大陸	MC	5	-5	110	135
インド洋	IOBW	20	-20	40	100
(全体・東・西)	SETIO	0	-10	90	110
	WTIO	10	-10	50	70
IOD	WTIO-SETIO	-	_	-	-
アラビア海	WTIO_N	30	10	40	80
日付変更線の西	DATEW	10	-10	130	180
日付変更線付近	DL	5	-5	170	-170
対流ジャンプ付近	JUMP	30	10	130	180
十五洋 (北,南)	TNA	25	5	-55	-15
入口/干(北・用)	TSA	0	-20	-30	10

表 2	日本の7月平均気温と	各エリア平均 OLR のラグ相関	期間:1979-2020年	※線形トレンド偏差	色塗りは p<=0.05 で有意
-----	------------	------------------	---------------	-----------	------------------

カテゴリ	領域	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14
	NINO_12	0.06	-0.09	0.05	0.01	0.07	0.17	0.14	0.09	0.09	-0.06	0.20	0.17	0.28	0.37	0.25
	NINO_3	-0.04	-0.10	-0.05	0.01	0.03	-0.02	-0.13	-0.14	-0.14	-0.22	0.04	0.03	-0.04	0.06	0.00
ENSO監視海域	NINO_34	0.01	-0.08	-0.06	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.22	-0.19	-0.21	-0.16	-0.19	-0.12	-0.13	-0.02
	NINO_4	-0.14	-0.10	-0.15	-0.14	-0.18	-0.31	-0.28	-0.30	-0.36	-0.24	-0.29	-0.29	-0.04	-0.24	-0.02
	NINO_WEST	-0.03	0.32	0.13	0.15	0.05	0.10	0.10	0.33	0.25	0.16	0.18	-0.06	0.03	-0.35	0.09
フィリピン付近	PH	0.41	0.38	0.19	0.09	0.36	0.19	0.17	0.24	0.09	0.33	0.15	0.04	-0.19	-0.18	0.10
フィリピンの北	PH_N	0.56	0.36	0.16	-0.03	0.29	0.25	0.20	0.17	0.02	0.33	0.10	0.02	-0.19	-0.24	0.17
	N	0.57	0.54	0.28	-0.17	0.11	-0.04	-0.09	-0.08	-0.44	0.43	0.39	0.06	-0.02	-0.01	0.23
アジアモンスーン域	S	-0.25	0.11	0.19	0.29	0.15	0.32	0.27	0.16	0.20	0.27	0.33	0.20	0.47	-0.17	0.30
(北・南・西・東)	w	0.16	0.43	0.17	0.12	0.13	0.28	0.22	0.08	-0.25	0.37	0.37	-0.16	0.14	-0.11	0.25
	E	0.33	0.43	0.19	0.14	0.28	0.20	0.21	0.27	0.13	0.32	0.16	0.05	-0.09	-0.22	0.17
海洋大陸	MC	-0.02	0.13	0.39	0.29	0.16	0.15	0.24	0.23	0.27	0.36	0.29	0.35	0.38	0.16	0.18
インド洋	IOBW	-0.26	-0.25	0.19	-0.12	-0.07	0.24	0.13	-0.22	-0.27	-0.15	0.25	0.04	0.35	-0.14	-0.02
(全体・東・西)	SETIO	0.14	0.21	-0.09	0.09	-0.02	0.35	0.37	0.10	0.26	0.35	0.16	0.23	0.06	0.04	0.38
	WTIO	-0.35	-0.42	0.21	-0.07	-0.03	0.30	-0.15	-0.24	-0.22	-0.36	0.16	0.04	0.22	-0.12	-0.07
アラビア海	WTIO_N	-0.11	-0.13	0.22	-0.29	-0.08	-0.30	-0.30	-0.27	-0.23	-0.17	0.04	-0.07	0.36	0.12	-0.26
日付変更線の西	DATEW	-0.24	0.04	0.04	-0.06	-0.14	-0.27	-0.22	0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.24	0.09	-0.32	0.04
日付変更線付近	DL	-0.21	-0.12	-0.18	-0.15	-0.17	-0.39	-0.33	-0.34	-0.37	-0.22	-0.31	-0.31	0.03	-0.24	0.03
対流ジャンプ付近	JUMP	0.33	0.25	0.11	0.24	0.19	0.06	0.06	0.05	0.15	0.16	-0.03	0.01	-0.08	0.03	-0.09
十一次(北・市)	TNA	-0.30	-0.30	-0.12	0.17	0.13	0.02	0.11	0.16	0.09	0.13	-0.17	0.18	-0.08	-0.18	-0.01
	TSA	0.43	-0.04	0.04	0.15	-0.16	-0.22	-0.25	0.00	-0.06	0.02	0.03	-0.05	-0.30	0.13	0.05

さらに、日本の月平均気温と指数のラグ相関を計 算した 7 月の例を表 2 に示す。月平均気温に対し て、当月や1ヶ月前だけでなく、半年から1年前にも 相関のある期間が見られる。またこれは SST のラ グ相関よりもやや高い値であった。このラグ相関は、 予測期間を延長できる可能性を示唆する。

2.2 ガイダンスのデータセット

説明変数の検討で得られた結果をもとに、日本の 天候を予測する季節予報ガイダンスを構築する。説 明変数である OLR は、数値予報モデルのハインド キャストを利用する。

【説明変数】

要素:OLR(Top net thermal radiation W m-2)アン サンブル平均,モデル:ECMWF(Set V - SEAS) Forecast time: 0~6month

【目的変数】

要素:月平均気温(平年差℃)・月降水量(平年 比%)・月日照時間(平年比%)※線形トレンド偏差 参照:気象庁,エリア:(北日本・東日本・西日本)× (日本海側・太平洋側)計6エリア

【データ期間】1994-2016年

2.3 ガイダンスの構築手法

ガイダンスの構築には LASSO 回帰(Tibshirani, 1996)を用い、クロスバリデーションにより、テスト期 間の誤差が最も小さくなる評価関数の正則化パラメ ータλと、説明変数の OLR 指標としてイニシャル月 から予測対象月までの予測値に加え、2 年前までの 各月のイニシャル値から、最大 2 変数を選択した。

表 3 予測と実績のアノマリ相関(線形トレンド偏差) 1994-2016年、6ェリア集計

-15 0.16 0.02 -0.04 -0.15 0.06 0.12 0.11 0.06 0.11 -0.02 0.15 0.17 -0.05 0.15 -0.19 0.12 -0.13 -0.11 -0.02 -0.09 -0.01

OLR ガイダンス:テストサンプル、直上ガイダンス:学習サンプル

要素: 月平均气温 12 8 7 6 5 0.72 0.15 0.15 0.20 0.28 0.22 0.29 2 OLR 0.74 0.76 0.77 0.77 0.77 0.76 0.76 0.76 0.76 0.76 0.76 0.76 0.77 0.34 0.28 0.32 0.24 0.20 0.21 0.75 3 0.78 0.79 0.80 0.80 0.80 0.79 0.79 0.17 0.16 0.80 0.80 0.80 0.80 0.20 4 0.82 0.82 0.83 0.85 0.85 0.26 0.28 0.82 0.83 0.84 OLR 0.85 0.84 0.18 0.28
0.84
0.12
0.74 0.23 0.84 0.10 0.74 OLR 0.82 0.84 0.83 0.84 0.81 0.84 0.84 0.84 6 OLR 0.73 0.74 0.73 0.74 0.74 0.74 0.73 0.73 0.08 0.76 0.16 0.80 -0.02 0.11 0.75 0.16 直上 OLR 7 0.76 直上 OLR 8 0.75 0.78 0.81 0.81 0.11 0.81 0.79 0.81 0.81 9 OLR 0.85 0.86 0.83 0.83 0.45 0.84 0.85 0.85 0.85 0.86 0.87 0.60 10 0.81 OL R 0.80 0.80 0.80 0.83 0.83 0.84 0.84 0.84 0.85 0.85 0.16 0.15 0.25 0.34 0.33 0.71 0.07 0.81 11 0.77 0.78 0.81)I R 0.82 0.82 0.83 0.83 0.82 0.82 0.82 0.21 0.19 0.33 直上 OLR 12 0.82 0.77 0.80 0.82 0.85 0.11 0.15 0.27 0.25 0.10 0.39 0.83 日日昭時間 0.82 0.19 0.31 0.27 0.29 0.26 0.37 0.29 0.81 0.33 0.80 0.19 0.87 0.18 0.31 0.79 0.07 0.81 0.76 0.77 0.80 3 0.81 0.81 0.81 0.81 0.81 0.81 0.81 0.82 0.14 0.87 0.25 0.05 0.87 0.34 0.15 0.87 0.14 0.27 0.87 0.34 0.80 0.59 4 0.81 0.82 直上 OLR 5 0.78 0.78 0.79 0.80 0.80 0.80 0.79 0.16 0.20 0.81 0.80 0.81 0.26 0.27 6 OLR 0.74 0.73 0.76 0.79 0.79 0.80 0.80 0.80 0.17 0.16 0.81 0.81 0.81 0.81 0.19 0.21 0.15 7 OLR 0.68 0.66 0.67 0.67 0.68 0.68 0.69 0.70 0.70 0.11 0.23 0.14 0.71 0.71 0.74 0.74 0.24 0.32 0.64 8 0.80 0.81 OLR 0.80 0.80 0.81 0.80 0.80 0.80 0.81 0.81 0.80 0.80 0.09 0.18 0.16 0.13 0.14 0.67 0.77 9 0.74 0.73 0.73 0.73 10 0.81 0.82 0.83 0.83 0.84 0.85 0.78 0.78 0.79 0.85 0.85 0.44 0.76 0.76 0.76 0.76 0.74 0.73 0.75 0.76 0.76 0.76 12 LR 0.71 0.71 0.72 0.73 0.75 0.75 0.78 0.26 0.77 0.78 月降水量 12 0 1 0.37 0.53 0.37 0.42 0.45 0.61 直上 OLR 0.38 2 0.75 0.79 0.74 0.75 0.77 0.80 0.80 0.81 0.80 0.80 0.80 0.80 0.38 0.20 0.02 0.37 0.20 0.19 0.60 3 0,78 0.79 0.80 0.81 0.81 0.81 0.81 0.82 0.82 0.82 OLR 直上 0.30 0.21 4 0.77 0.79 0.84 0.84 0.83 0.84 DLR 0.83 0.83 0.84 0.83 直上 OLR 0.78 0.78 0.34 0.17 0.75 0.75 0.35 0.38 0.79 0.80 0.26 0.18 0.76 0.77 5 0.76 0.77 0.78 0.78 0.79 0.11 0.76 0.17 0.75 0.22 0.81 0.77 0.77 直上 OLR 0.09 0.52 0.79 0.79 0.78 直上 OLR 0.22 0.73 0.12 0.73 0.23 0.25 0.73 0.25 0.73 0.15 0.13 0.77 0.58 0.74 0.54 0.74 0.70 0.70 0.71 回上 OLR 直上 0.71 0.70 0.71 0.72 0.70 0.70 0.71 0.75 0.76 0.80 OLR 0.73 0.76 0.77 0.08 0.20 0.79 0.80 0.81 0.81 0.19 0.49 10 OLR 0.65 0.66 0.66 0.67 0.71 0.73 0.75 0.76 0.77 0.77 0.78 0.78 0.79 0.46 0.20 0.12 0.81 0.82 0.83 0.20 0.31 0.10 0.84 直上 OLR 0.39 0.80 11 0.75 0.76 0.77 0.78 0.79 0.83 0.84 0.35 0.78 0.13 0.20 0.31 0.24 0.17 0.24 0.57 直上 OLR 12 0.75 0.77 0.77 0.78 0.78 0.79 0.78 0.78 0.78 0.78 0.78 0.78 0.16 0.26 0.19 0.19 0.37

2.4 ガイダンスの予測精度

比較対象として説明変数に同数値予報モデルに よる日本の直上格子点アンサンブル平均値を用い た単回帰によるガイダンスを作成した。目的変数の 月日照時間、月降水量、月平均気温に対しそれぞ れ Surface solarradiation downwards(J/m**2), Total precipitation(m),2mTemperature(°C)を説明 変数として比較する。以下、OLR ガイダンスに対 し、直上ガイダンスと呼ぶ。表3にて、予測と実績の アノマリ相関を比較する。いずれの要素においても OLR ガイダンスのほうが高い相関が得られ、12ヶ 月前イニシャルでも0.7 前後の高い相関を示した。

2.5 2023 年夏の予測結果

2023 年夏の日本の平均気温は7月から9月の 3 ケ月連続で観測史上1位の高温となった。図2 は、東日本における2023年月平均気温の実績と、 OLR・直上ガイダンスによる6ヶ月前予測、OLRガ イダンスによる12ヶ月前予測の時系列を示し、表 4 は誤差を示す。年間を通して12ヶ月前イニシャ ルでもOLRガイダンスほうが誤差が小さい一方で、 夏は8月9月に相対的に大きな誤差が生じた。



図 2 東日本における 2023 年月平均気温の観測と予測 いずれもテスト結果

表4 東日本における 2023 年月平均気温予測の誤差(予測値-観測)

Fct Month	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
観測	0.3	1.0	3.4	1.6	0.4	1.0	2.0	2.1	3.1	0.0	1.3	1.2
OLRガイダンス 6 ヶ月前誤差	0.7	-0.7	-1.2	-1.2	0.2	0.0	-0.5	-1.2	-1.5	0.2	-0.1	-1.1
OLRガイダンス12ヶ月前誤差	0.7	-0.7	-1.5	-1.2	0.5	0.0	-0.2	-0.8	-1.4	-0.1	0.2	-0.5
直上ガイダンス6ヶ月前誤差	0.3	-0.6	-2.7	-1.5	0.2	-0.2	-1.1	-1.6	-2.8	0.7	-0.3	-0.7

表5 東日本日本海側の月平均気温 12 ヶ月前予測の説明変数

Fct Month	FCT		変数の月	変数名	変数の説明	Coef	P値	acorr
7月	12		前年6月	DATEW	日付変更線の西	-0.45	0.18	0.51
Fct Month	FCT		変数の月	変数名	変数の説明	Coef	P値	acorr
0 H		12	前々年9月	JAMP	対流ジャンプ付近	-0.47	0.01	0.67
ол		12	前年3月	IOD	インド洋(WTIO-SETIO)	-0.37	0.03	0.07
Fct Month	FCT		変数の月	変数名	変数の説明	Coef	P值	acorr
		10	前年1月	Ν	アジアモンスーン域_北	0.56	0.01	0.00
эн		12	前年8月	S	アジアモンスーン域_南	-0.54	0.01	0.69

3 2023 年夏の予測結果について考察

3.1 ガイダンスの指標と循環場の確認

表5は、12ヶ月前イニシャルで選択された東日本 日海側の7月、8月、9月の月平均気温の説明変 数である。例えば7月の気温予測式は、前年6月 の指数 DATEW(日付変更線の西)が対流不活発 (活発)であるほど翌年7月の気温が高く(低く)なる と解釈できる。6月の指数 DATEW は図 3fig.aより ENSOと相関がある。図 3fig.d,fig.gより 2022年6 月はラニーニャ現象の発生に伴い日付変更線の西 の対流活動が不活発であり、これが 2023年7月の 高温予測に寄与していた。

8月の気温予測式は、前々年9月の指数 JUMP (対流ジャンプ領域 Ueda et al. 1995)が不活発(活 発)で、前年3月の指数 IOD(WTIO-SETIO, Saji et al. 1999)が負(正)であるほど翌年8月の気温 が高く(低く)なると解釈できる。このうち3月の指数 IOD は図3fig.bよりインド洋の SLP の東西分布と 相関がある。図3fig.hより2022年3月はインド洋 の対流活動が負の IOD 的分布になっており、2023 年8月の高温予測に寄与していた。

9月の気温予測式は前年1月の指数N(アジア モンスーン域北)が活発(不活発)で前年8月の指 数S(アジアモンスーン域南)が不活発(活発)なほ ど翌年9月の気温が高い(低い)と解釈できる。この うち前年1月の指数Nは図3fig.cより西太平洋赤 道域のSLPと正相関が、SSTと負相関がある。fig.f より2022年1月はラニーニャ現象に伴う赤道付近 の低SSTが太平洋中央まで伸び、fig.iより西太平 洋の対流が抑えられている一方、フィリピン付近か らアジアモンスーン域北まで対流が活発になってお り、この指標が2023年9月の高温予測に寄与して いた。

日本の夏の天候には ENSO に遅れて変動するインド洋の SST が影響することが分かっている(Xie et al. 2009)。OLR ガイダンスでは ENSO や IOD の 推移を捉える指標を効果的に取り込むことで、1年 先の予測を実現しているものと思われる。

図 4 は、12 ヶ月前イニシャルの東日本日本海側 の月平均気温予測と、予測対象月の SST,SLP との 相関図(上段)と、2023 年各月の SST,OLR の平年 偏差(下段)を示す。7 月の実績は、フィリピン付近 の対流活動と日本付近の高気圧偏差が概ね相関 図と一致している。8 月の実績は、大陸での低気圧 偏差(アジアモンスーンの北偏)と日本付近の高気 圧偏差は相関図と一致しているが、日本の南海上 の低気圧偏差は相関図には見られず、予測誤差の 一因になっていると考えられる。9 月の実績は、イン



図 3 (上段)東日本日本海側7月・8月・9月平均気温予測における 12 ケ月前イニシャルの変数と変数月の SST, SLP の相関図

データ:ERA5.SST:陰影, SLP:等値線、ハッチは p<0.05 で有意(中段)実際の月平均 SST 平年偏差(℃)※気象庁、

(下段) 実際の月平均 OLR (W/m*) & 200hPa velocity potential (0.5x106 m*/s) 平年偏差※気象庁

Fig. a:6 月の指数 DATEW(日付変更線の西、翌年7月の気温を予測する指数)とSST, SLPとの相関図, fig. d, fig. g:2022 年6月実績 Fig. b:3 月の指数 IOD(WTIO-SETIO、翌年8月の気温を予測する指数)とSST, SLPとの相関図, fig. e, fig. h:2022 年3月実績 Fig. c:1 月の指数 N(アジアモンスーン域北、翌年9月の気温を予測する指数)とSST, SLP との相関図, fig. h, fig. i:2022 年1月実



図4 (上段)東日本日本海側の月平均気温の12 ケ月前予測値と予測対象月の SST, SLP との相関図 データ: ERA5, SST: 陰影、SLP:等値線

(下段) 2023 年各月の SLP (hPa), 0LR (W/m²) 平年偏差※気象庁 SLP:等値線、0LR: 陰影



図 5 12 ヶ月前イニシャルの月平均気温予測誤差と SST の線形トレンド偏差におけるアノマリ相関 SST データ: ERA5

ド洋北部での低気圧偏差や日本付近での高気圧偏 差が相関図と似ているが、インド洋北西部の低気圧 偏差が顕著であり、予測誤差の一因になっている可 能性がある。以上のことから、とくに誤差の大きい 8 月や9月の高温は熱帯以外の要因の寄与が大きい と考えられる。

3.2 2023 年夏の予測誤差の要因

2023 年夏の異常高温については、気象庁異常 気象分析検討会より①熱帯の対流活動、②亜熱帯 ジェット気流の蛇行、③上層の高気圧の強化、④地 球温暖化、⑤日本近海の高い海面水温が主な要因 としてまとめられている。本ガイダンスおいて、①は 説明変数として、④は線形トレンドとして取り込んで いる。②や③などの大気の内部変動に起因するも のは、予測のリードタイムに限界があることからここ では考察対象とせず、事前に取り込める可能性が ある要素として⑤について分析した。

OLR ガイダンスの 12 ケ月前イニシャルの予測誤 差と予測対象月の 1ヶ月前の日本近海の海面水温 とのラグ相関を計算した(図 5)。三陸沖や関東の東 の SST においては、9 月の北日本や東日本太平洋 側の誤差と有意な相関が得られた一方で、それ以 外は有意な相関が得られなかった。9 月の誤差は 日本近海のSSTを取り込むことで改善されると思わ れるが、8 月の予測誤差は大気の内部変動による ②や③の影響が大きいと思われる。

4 まとめ

季節予報ガイダンスは、大気海洋結合モデルに よる熱帯・亜熱帯の対流活動をラグも含めて指標と することで、直上格子点値を用いたガイダンスよりも 精度が上がり、2023年夏の異常高温の予測誤差も 大幅に改善することができた。一方で2023年は8 月から9月を中心に大きな誤差が生じており、日本 近海のSSTを考慮することで改善できる部分がある 一方、大気の内部変動に起因する部分に予測限界 があることが示唆された。

※図は気象庁 IP

今後は、SSTの取り込みや力学的メカニズム、対 流活動指標の非対称性などの考慮により、誤差の 改善を試みる。

参考文献

- Gibson, P. B., Chapman, W. E., Altinok, A., Delle Monache, L., DeFlorio, M. J., & Waliser, D. E. (2021). Training machine learning models on climate model output yields skillful interpretable seasonal precipitation forecasts. *Communications Earth & Environment, 2*(1), 159.
- Cohen, J., Coumou, D., Hwang, J., Mackey, L., Orenstein, P., Totz, S., & Tziperman, E.
 (2019). S2S reboot: An argument for greater inclusion of machine learning in subseasonal to seasonal forecasts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *10*(2), e00567.
- Ueda, H., Kamae, Y., Hayasaki, M., Kitoh, A., Watanabe, S., Miki, Y., & Kumai, A. (2015). Combined effects of recent Pacific cooling and

Indian Ocean warming on the Asian monsoon. *Nature Communications*, *6*(1), 8854.

- Kuramochi, M., Ueda, H., Kobayashi, C., Kamae, Y., & Takaya, K. (2021). Anomalous warm winter 2019/2020 over East Asia associated with trans-basin Indo-Pacific connections. *SOLA*, 17B-001.
- Ueda, H., Yasunari, T., & Kawamura, R. (1995). Abrupt seasonal change of large-scale convective activity over the western Pacific in the northern summer. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 73(4), 795-809.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, *401*(6751), 360-363.
- Tibshirani, Robert. "Regression shrinkage and selection via the lasso." *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology* 58.1 (1996): 267-288.
- Xie, S. P., Hu, K., Hafner, J., Tokinaga, H., Du, Y., Huang, G., & Sampe, T. (2009). Indian Ocean capacitor effect on Indo–western Pacific climate during the summer following El Niño. *Journal of climate*, *22*(3), 730-747.

気象庁:

https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/clim ate/knowledge/ind/ind_doc.html(2023.12.01 閲 覧

気象庁: Climate System Monitoring / TCC (jma.go.jp) (2023.12.01 閲覧)

気象庁:

https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/28a/ke ntoukai20230828.html(2023.12.01 閲覧)