

令和5年度季節予報

技術資料

週間から1か月予報の改善／
エルニーニョ・ラニーニャ現象と天候の特徴

(気候情報課)

令和6年3月

March 2024

気象庁 大気海洋部

週間から1か月予報の改善／ エルニーニョ・ラニーニャ現象と天候の特徴

目次

1	はじめに	1
2	週間から1か月予報の改善	
2.1	全球アンサンブル予報システムの更新	2
2.2	2週間予報から1か月予報までのガイダンスの予測精度の改善	5
3	エルニーニョ・ラニーニャ現象と天候の特徴	
3.1	概要	12
3.2	エルニーニョ・ラニーニャ現象と世界の天候の特徴	15
3.3	エルニーニョ・ラニーニャ現象と日本の天候の特徴	39

1 はじめに¹

週間天気予報や1か月予報等に用いる全球アンサンブル予報システム(Global Ensemble Prediction System; 以降 GEPS)が2022年と2023年に更新され、それぞれ予測精度が向上した。本紙では、更新の概要や試験の結果等を簡潔に紹介し、また数値予報開発センターより提供され、他の刊行物等で公開されていない予測精度の資料についても述べる。

この GEPS 更新に伴う、週間天気予報のガイダンスや1か月予報等のガイダンスの予測精度について、2022年と2023年の比較を本紙で述べる。2022年の GEPS の更新時に季節アンサンブル予報システムによる「2段階海面水温(Sea Surface Temperature; 以降 SST)法」が用いられ、2023年の更新時にこの適用範囲が拡大された。これにより日本近海の SST の予測精度も向上した。この「2段階 SST 法」は 5.5 日(132 時間)先以降に対して用いられており、その効果は 2 週目以降に発揮されている。よって、週間天気予報の各ガイダンスの予測精度は中立となった一方、1か月予報等では全ての季節の 2 週目以降の気温のガイダンスに明らかな改善傾向がみられ、冬の降雪量、春の降水量や日照時間のガイダンスの予測精度にも改善傾向が見られた。

また気象庁では、平成 4 年よりエルニーニョ監視速報²においてエルニーニョ/ラニーニャ現象の実況と見通しを、これに加えて平成 21 年より西太平洋熱帯域やインド洋熱帯域の海面水温の実況と見通しを発表してきた。エルニーニョ/ラニーニャ現象は中・東部太平洋熱帯域の大気海洋の変動であるが、その影響は大気大循環を介して全球へと伝わり、日本を含む世界各地の天候にも影響をもたらす。西太平洋熱帯域やインド洋熱帯域の海面水温の変動も、日本の天候に関係するとともにエルニーニョ/ラニーニャ現象との関わりも深い。そのため、これらの現象の監視や予測等は、異常天候の分析や季節予報等にとって重要な要素のひとつとなっている。令和4年度季節予報研修テキストでは、最新の大気や海洋のデータセットを用

いて統計をとったエルニーニョ/ラニーニャ現象、西太平洋熱帯域やインド洋熱帯域の海面水温の特徴等について述べた。今年度は、これらの成果をエルニーニョ監視速報等に反映し、また日本や世界の天候(気温、降水量等)との関わりについて調査したので本紙で詳細を述べる。なお、従前にも同様の調査を行い、平成 27 年度季節予報研修テキストで報告した。この調査結果との違いは、統計資料の年数や地点数の増加によるものが多く、世界や日本の天候との関わりについて、空白地帯の解消や統計的な有意性の変化が見られた。

なお、本「季節予報技術資料」は昨年度まで刊行していた「季節予報研修テキスト」から名称を変更したものである。本資料は、季節予報に関する最新の技術や運用に関する専門的な情報を掲載することにより、季節予報業務を担当する気象庁職員が業務へ活用することを目的としている。また、本資料の気象庁HPでの公開を通して、季節予報や関連する事業を行う民間事業者等にも幅広く利用していただくことも想定しており、ご活用いただければ幸いである。

¹ 中三川 浩

²

https://www.data.jma.go.jp/cpd/elnino/kanshi_joho/kanshi_joho1.html

2 週間から1か月予報の改善

2.1 全球アンサンブル予報システムの更新¹

気象庁情報基盤部数値予報課数値予報開発センター(以下、数値予報開発センター)では、気象庁の数値予報システムの運用・開発を行っており、大気海洋部気候情報課(以下、気候情報課)では、その数値予報システムの実行結果などを基礎資料として週間天気予報を含む長期予報の発表を行っている。特に週間天気予報、2週間気温予報、1か月予報の作成には、数値予報開発センターで開発された全球アンサンブル予報システム(Global Ensemble Prediction System;以降 GEPS)の実行結果を基礎資料として用いている。本章では、近年のGEPS更新について簡単に紹介する。詳細については数値予報開発センター年報²や配信資料に関する技術情報³を参照していただきたい。

2.1.1 2022年3月の更新

2022年3月のGEPS更新の主な点は、水平高解像度化及びそれに関連する物理過程の変更と、2段階海面水温(Sea Surface Temperature;以降 SST)法ほかの改良である。第2.1-1表にGEPSの仕様変更の概要を示す。

(1) 数値予報開発センター年報等の案内

本更新の詳細な内容や試験結果等は以下の各資料で述べられている:

- 数値予報開発センター年報(令和3年)
 - ・第4.1節 全球モデルの水平解像度向上、物理過程改良に向けた開発(気象庁 2022a)

第2.1-1表 2022年3月のGEPS更新時の仕様変更
配信資料に関する技術情報 No.578より引用し、一部加工。

	変更前	変更後
水平解像度	18日予報まで:約40km それ以降:約55km	18日予報まで:約27km それ以降:約40km
SST	11日予報まで:海面水温解析による偏差固定 それ以降:熱帯・亜熱帯域にCPS2による5日ごとの予測結果を利用	6日予報まで:海面水温解析による偏差固定 それ以降:熱帯・亜熱帯域にCPS3による毎日の予測結果を利用

¹ 原口 慶子, 池田 友紀子

² https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-01.pdf

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-01.pdf

- 第4.3節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2022b)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r03/npdc_annual_report_r03_4-02.pdf

- 数値予報開発センター年報(令和4年)
 - ・第3.2節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2023a)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npdc/r04/npdc_annual_report_r04_3-01.pdf

- 配信資料に関する技術情報 No.578(気象庁情報基盤部 2022)

<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/578.pdf>

(2) 季節予報関連の指数の予測検証

ここでは数値予報開発センター提供の資料を用いて(1)の内容を補足する。検証仕様の詳細は数値予報開発センター年報を参照していただきたい。

気象庁では、夏のアジアモンスーンに伴う広域の対流活動の指標として、各種の指数を定義し、季節予報業務に用いている。第2.1-1図にアジアモンスーンの予測精度を示す。夏のアジアモンスーン外向き長波放射量(Outgoing Longwave Radiation;以降 OLR)インデックス(Summer Asian Monsoon OLR Index ;以降 SAMOI。ここで全体の活動度を示す SAMOI-A)

³ <https://www.data.jma.go.jp/suishin/cgi-bin/jyouhou/jyouhou.cgi>

(気象庁 1997)の相関係数は、5 月初期値は改善した一方、6 月と8 月初期値は改悪した。インドモンスーン指数(Convection Index 1 ;以降 CI1)(Wang and Fan 1999)の相関係数は5 月初期値において大きく改善、7 月初期値でも改善した。東南アジアモンスーン指数(Convection Index 2 ;以降、CI2)(Wang and Fan 1999)の相関係数は、6 月と8 月初期値は改善した一方、7 月初期値は改悪した。

2.1.2 2023 年 3 月の更新

2023 年 3 月の GEPS 更新の主な点は、モデルの非地形性重力波過程の改良、標高データセットの更新、2 段階 SST 法の適用範囲の拡大である。

(1) 数値予報開発センター年報等の案内

本更新の詳細な内容や試験結果等は以下の各資料で述べられている：

- 数値予報開発センター年報(令和4年)
 - ・第 4.1 節 全球モデルの物理過程改良(気象庁 2023b)
 - ・第 4.2 節 全球アンサンブル予報システムの改良(気象庁 2023c)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/npsc/r04/npsc_annual_report_r04_4-01.pdf

- 配信資料に関する技術情報 No.606(気象庁情報基盤部 2023)
<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/606.pdf>

(2) 季節予報関連の要素の予測検証

ここでは数値予報開発センター提供の資料を用いて(1)の内容を補足する。検証の仕様の詳細は数値予報開発センター年報を参照していただきたい。

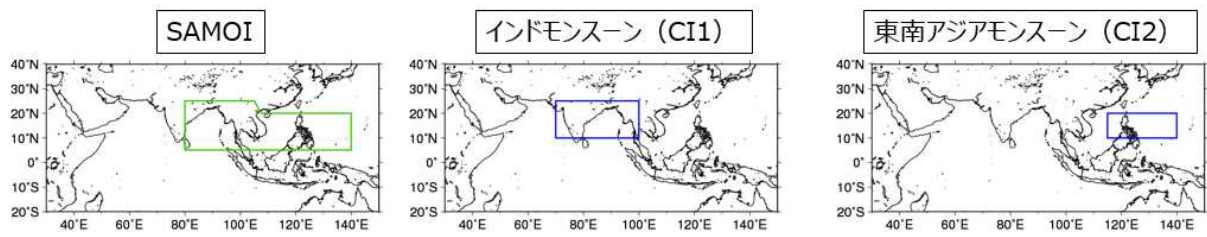
循環場の変動は日本の天候に大きな影響を及ぼす。第 2.1-2 図に 850hPa 気温、地上気温との、予測 2 週目の日本周辺のアノマリー相関の差(TEST-CNTL)を示す。いずれも、日本付近は各季節で改善を示す領域が広がり、特に夏季の地上気温は大きな改善を示している。

参考文献

- 気象庁, 1997: 夏のアジアモンスーン OLR インデックス. 気候系監視報告, 平成9年6月号, 44-45.
- 気象庁, 2022a: 全球モデルの水平解像度向上、物理過程改良に向けた開発. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁 数値予報開発センター, 66-75.
- 気象庁, 2022b: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁 数値予報開発センター, 84-91.
- 気象庁, 2023a: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 17-20.
- 気象庁, 2023b: 全球モデルの物理過程改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 62-70.
- 気象庁, 2023c: 全球アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁 数値予報開発センター, 71-75.
- 気象庁情報基盤部, 2022: 配信資料に関する技術情報 No.578, 気象庁.
- 気象庁情報基盤部, 2023: 配信資料に関する技術情報 No.606, 気象庁.
- Wang, B. and Z. Fan, 1999: Choice of South Asian Summer Monsoon Indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 629-638.

謝辞

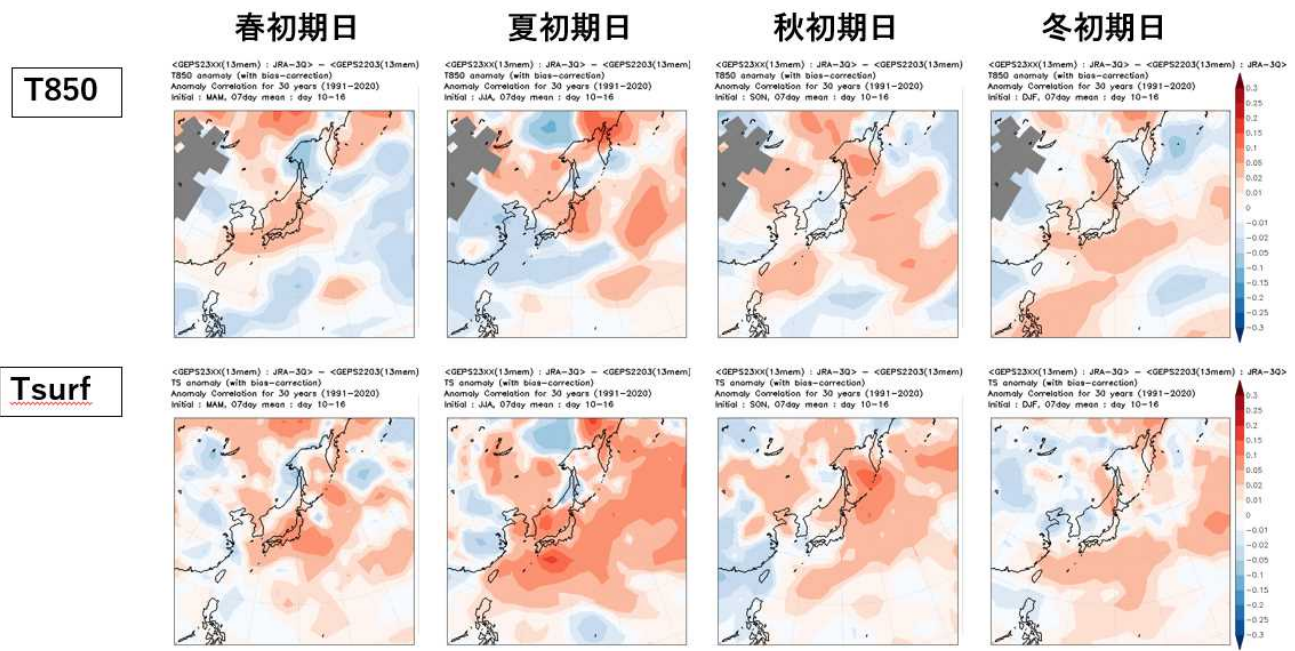
本節作成にあたり、数値予報開発センターより多数の資料や助言をいただいたこと、お礼申し上げます。



初期月	相関		初期月	相関		初期月	相関	
	CNTL	TEST		CNTL	TEST		CNTL	TEST
5月	0.39	0.47	5月	0.32	0.45	5月	0.57	0.56
6月	0.36	0.24	6月	0.20	0.20	6月	0.62	0.67
7月	0.34	0.31	7月	0.45	0.50	7月	0.46	0.28
8月	0.52	0.44	8月	0.50	0.46	8月	0.52	0.57

系統誤差補正あり

第 2.1-1 図 アジアモンスーンの予測精度の比較
 上はアジアモンスーン指数の領域図で、左から SAMOI、CI1、CI2。下は 5～8 月の各初期月の相関係数の比較一覧表で、TEST 列の青字は改善、黒字は同値、赤字は改善。系統誤差補正あり。(数値予報開発センター提供の資料を一部加工)



第 2.1-2 図 日本周辺のアンマリー相関の差の分布図
 予測 2 週目(10 日～16 日先)の 7 日間平均のアンマリー相関の差(TEST-CNTL。赤色が濃いほど改善、青色が濃いほど改善)。要素は上から 850hPa 気温、地上気温。初期日は左から春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)、冬(12-2 月)。系統誤差補正あり。(数値予報開発センター提供)

2.2 週間予報から1か月予報までのガイダンスの予測精度の改善¹

2.2.1 はじめに

ガイダンスとは、客観的手法を用いて、数値予報モデルの出力結果に含まれる誤差を軽減し、数値予報モデルの出力にはない要素へ翻訳するなどして、予報の作成を支援するものである。週間予報や2週間気温予報では、アンサンブル予報の各メンバーを利用して、予測の誤差範囲や信頼度に翻訳しており、1か月予報では予測確率に翻訳している。このような翻訳を客観的に行うため、ガイダンスでは直近の予報データや過去の予報データ(再予報データ)等を用いて、予測に必要なパラメータの推定を行う。このパラメータの学習方法については大きく分けて2つの型がある。ひとつは直近の予報データを用いてパラメータを随時更新していくもの(逐次学習型)、もうひとつはパラメータを固定するもの(一括学習型)である。

週間予報のための多くのガイダンスは逐次学習型が採用されている一方で、2週間から1か月予報のためのガイダンスには再予報データと観測データの統計的關係から事前に予測式を一括で求める一括学習型を採用している。これは、予報期間が長く、逐次学習による最適化のタイミングが遅れてしまうためである。

本節では、第 2.1 節で述べた全球アンサンブル予報システム(GEPS)のバージョン GEP2203 から GEP2303 への更新に伴う逐次学習による週間予報ガイダンスの予測精度、及び、一括学習型の2週間から1か月予報のガイダンスの再学習による予測精度の評価結果について述べる。

2.2.2 週間予報ガイダンスの予測精度改善

本項では、逐次学習型ガイダンスである週間予報ガイダンスの精度評価について述べる。

(1) 評価方法

逐次学習型ガイダンスの予測精度の評価には、現業運用される数値予報モデルと同等の毎日の出力データが必要である。このため、今回は GEP2 開発段階

で作成された性能評価試験(夏季は 2021 年 6 月～10 月、冬季は 2021 年 12 月～2022 年 3 月)の日本域出力データ(水平解像度 0.375 度, 3 時間間隔)を入力として同期間の機械学習を行い、平均気温の平方根平均二乗誤差(RSME)や平均誤差(ME)、降水確率の F1 スコア、捕捉率や適合率について確認した。なお、F1 スコアや捕捉率、適合率の算出方法については、令和 2 年度季節予報研修テキストの第 1.6 節(伊藤ほか(2020))の通りである。

(2) 評価結果(気温)

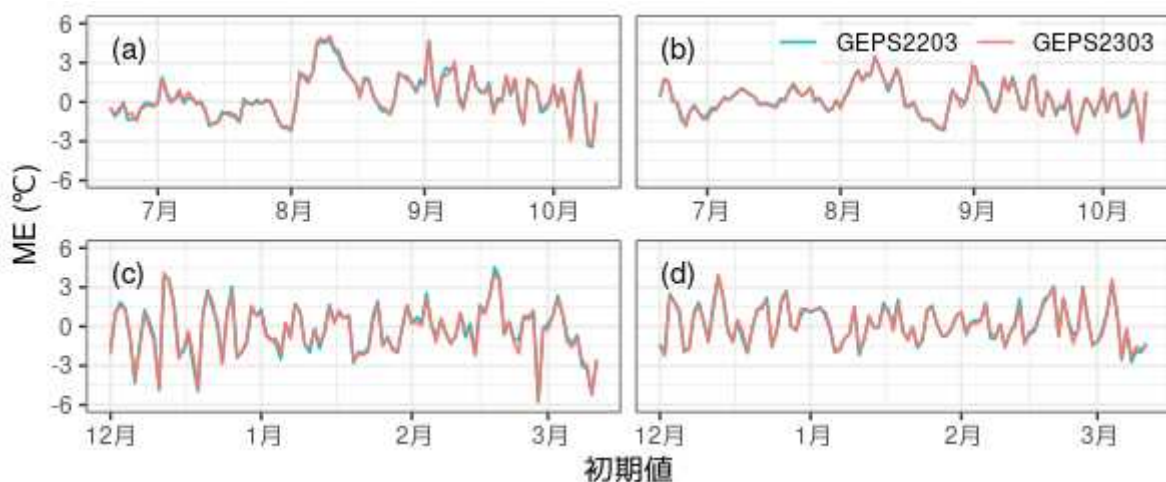
第 2.2-1 図は GEP2 の夏季と冬季の最高気温と最低気温に関する週間予報ガイダンスの初期日ごとの 6 日予報の ME について、第 2.2-2 図は第 2.2-1 図と同様の要素の RSME について、GEP2203 と GEP2303 との比較を示したものである。

夏季と冬季の最高気温と最低気温ともに、ME や RMSE に大きな変化は見られない。GEP2 では大気海洋結合モデルをベースとする季節アンサンブル予報システム(季節 EPS)が予測した海面水温(SST)を用いて、予測に利用する SST を変化させながら予測を行う「2段階 SST 法」を採用している。GEP2303 では、この「2段階 SST 法」の適用範囲が、従来の熱帯・亜熱帯域(30° N～30° S)から全球域に拡大され、中緯度帯の SST 変化の予測が改善したものの、「2段階 SST 法」は 5.5 日先(132 時間先)以降の予測に対して用いられているため、週間予報の予測期間では改善効果が小さく、真価を発揮するのは 2 週目以降の予測であるためと考えられる。

(3) 評価結果(降水)

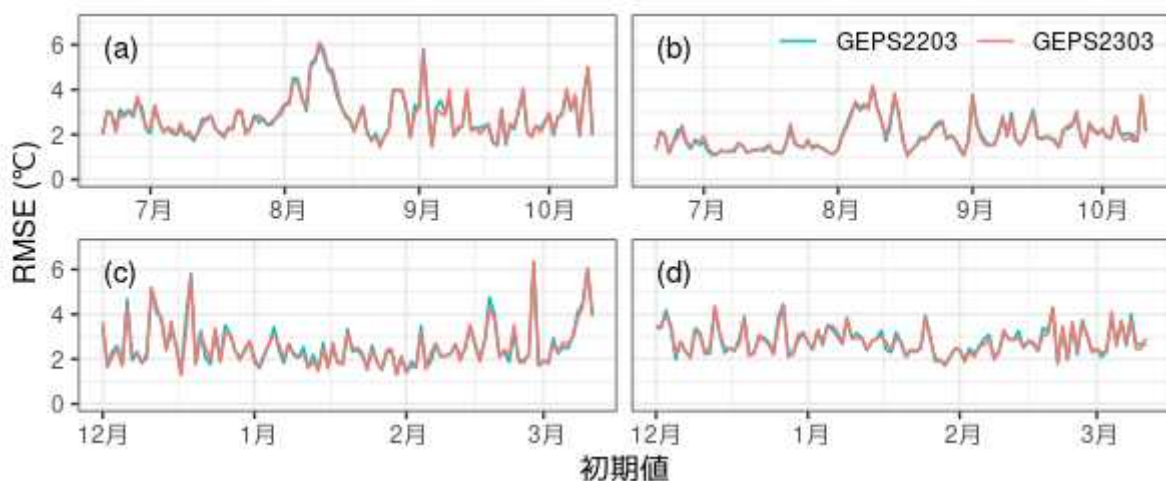
第 2.2-3 図は、降水に関するスコア、捕捉率と適合率の評価結果を示しているが、GEP2203 と GEP2303 で有意な違いは見られなかった。

¹ 山田 崇, 伊藤 晋悟, 山田 賢



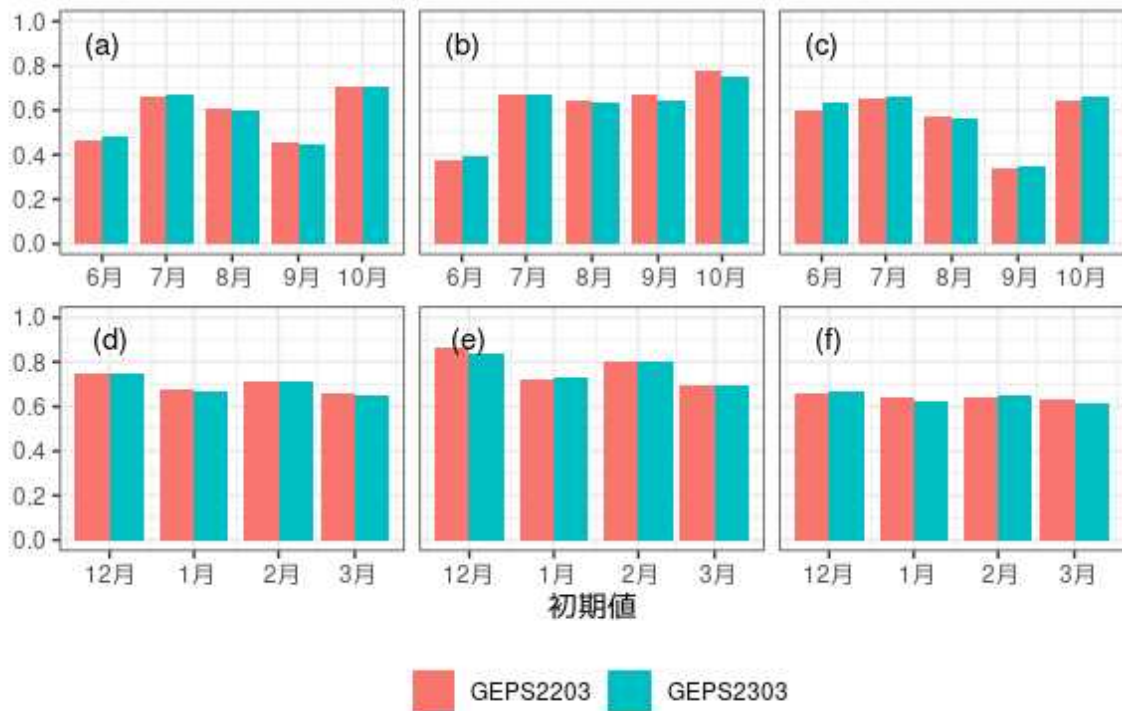
第 2.2-1 図 気温に関する週間予報ガイダンスの平均誤差

夏季(上段)と冬季(下段)の最高気温(左図)と最低気温(右図)に関する週間予報ガイダンスの 6 日予報の平均誤差 (ME)。橙色は GEPS2203 ガイダンス、青色は GEPS2303 の性能評価試験データによるガイダンスを示す。



第 2.2-2 図 気温に関する週間予報ガイダンスの平方根平均二乗誤差

第 2.2-1 図と同様。ただし、検証指標は平方根平均二乗誤差 (RMSE)。



第 2.2-3 図 降水確率に関する週間予報ガイダンスの各種スコア

夏季(上段)と冬季(下段)の降水確率に関する週間予報ガイダンスの 6 日予報の F1 スコア(左図)、捕捉率(中図)、適合率(右図)。朱色は GEPS2203 ガイダンス、青緑色は GEPS2303 の性能評価試験データによるガイダンスを示す。

2.2.3 2週間・1か月予報ガイダンスの予測精度改善

本項では、一括学習型ガイダンスである2週間・1か月予報ガイダンスの評価結果について述べる。

(1) 評価方法

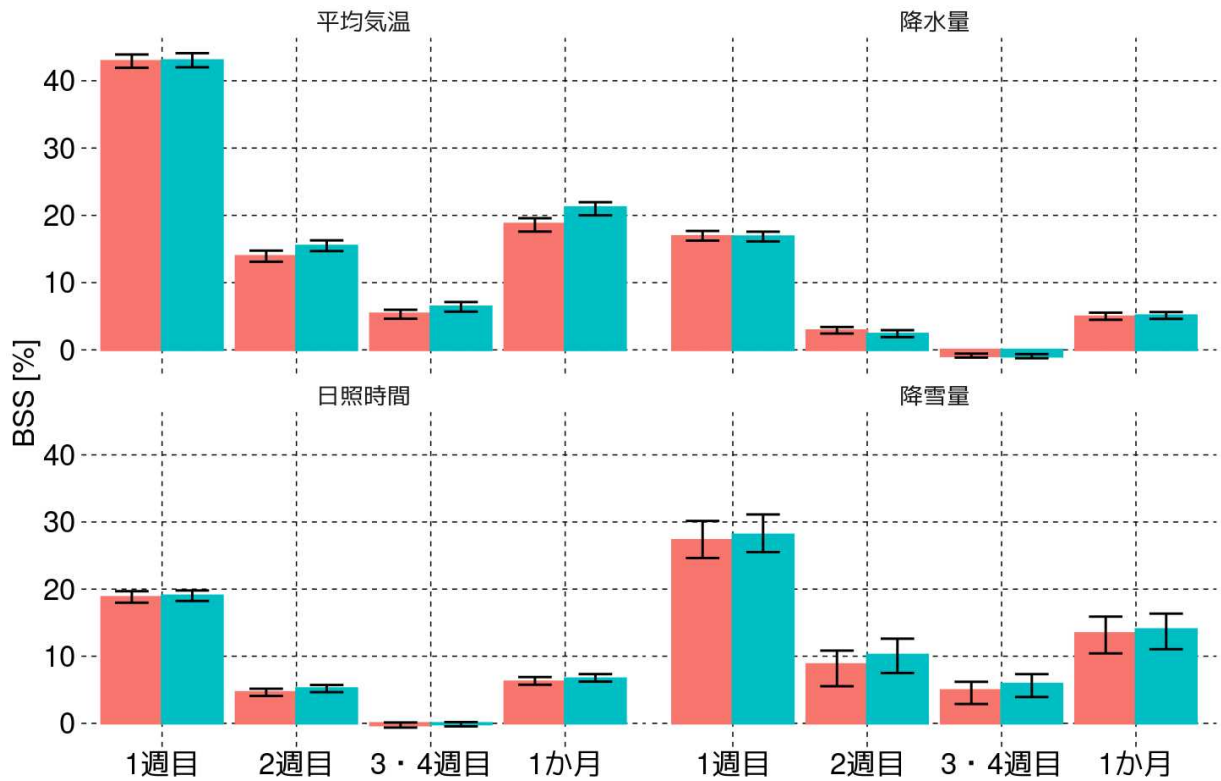
GEPS は予測精度の評価や平年値の作成、系統誤差の補正等を目的に、月あたり 2 回(15 日と月末の 12UTC 初期値)の気象庁第 3 次長期再解析(JRA-3Q)を初期値とする過去 30 年間(1991~2020 年)の再予報を実施している。一括学習型のガイダンスは、この再予報データを用いて係数を作成する(詳細は「令和 2 年度季節予報研修テキスト」第 1.6 節(伊藤ほか(2020))を参照)ため、この日本域データ(水平解像度 0.5625 度, 6 時間間隔)を用いて係数の再作成を行い、1 か月予報で発表している平均気温、降水量、日照時間、降雪量の各要素について、ブライアスキルスコア(BSS)や信頼度曲線による評価を行った。また、早期天候情報ガイダンスについて、F1

スコア、適合率や捕捉率による評価を行った。F1 スコアや捕捉率、適合率の算出方法については、2.2.2 項(1)と同じく、令和 2 年度季節予報研修テキスト(伊藤ほか(2020))の第 1.6 節のとおりである。

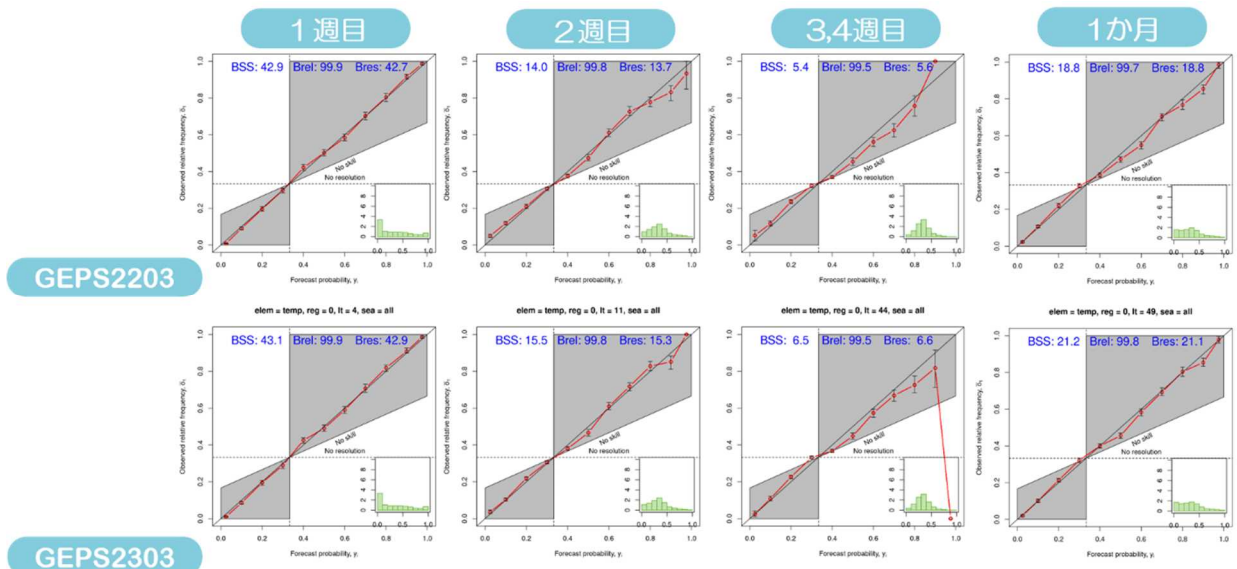
(2) 評価結果

第 2.2-4 図は、1 か月予報ガイダンスの予測時間ごとの各要素の予測精度について、GEPS2203 と GEPS2303 の BSS を比較したものである。降水量や日照時間の予測は、予測時間によらず概ね中立であったが、平均気温は 2 週目以降で明らかな改善傾向が確認できる。また、降雪量は全ての予測時間を通じて予測精度の改善傾向が表れている。

第 2.2-5 図は、1 か月予報ガイダンスの予測時間ごとの平均気温の予測精度について、信頼度曲線を比較したものである。分離度(Bres)の改善が大きいことが分かる。この様な平均気温や降雪量の予測精度の改善については、「2段階 SST 法」の全球域への拡大

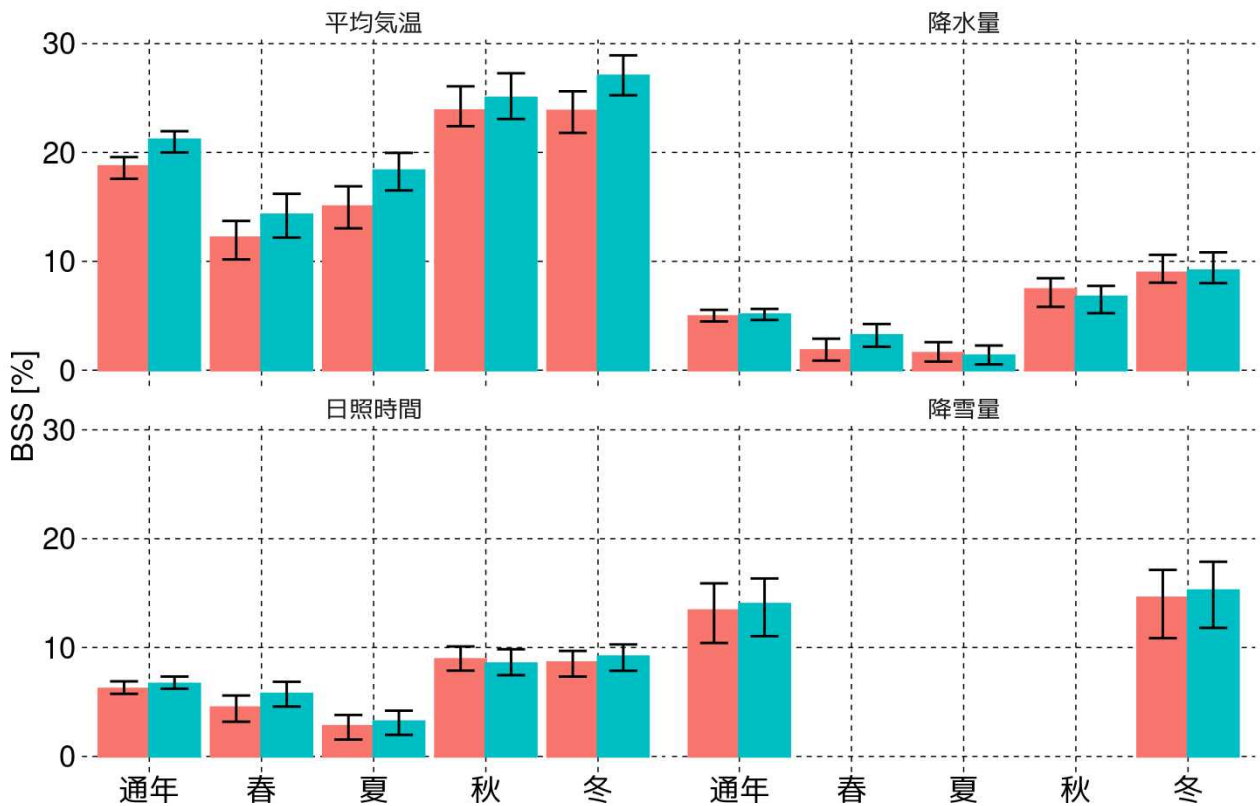


第 2.2-4 図 再予報による予測時間(週)ごとの GEPS2203(朱色)と GEPS2303(青緑色)のブライアスキルスコア(BSS)の比較。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。



第 2.2-5 図 再予報による予測時間(週)ごとの平均気温に関する GEPS2203(上段)と GEPS2303(下段)の信頼度曲線の比較。

赤線が信頼度曲線、黒点線が気候値予報、図中右下の緑の棒グラフが予測頻度を示す。灰色領域は BSS に正の寄与を持つ。ブートストラップ法で見積もった 95%信頼区間をエラーバーで表記している。BSS は Brier Skill Score、Brel は信頼度、Bres は分離度で、それぞれのスコアの 100 倍値を示す。



第 2.2-6 図 再予報による季節ごとの GEPS2203(朱色)と GEPS2303(青緑色)のブライアスキルスコア(BSS)の比較。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。

に伴い、日本近海の SST の変化が精度良く予測されるようになったことから、海洋から大気への顕熱・潜熱輸送量の表現が改善したことによるものと考えられる。

第 2.2-6 図は、1か月予報ガイドンスにおける1か月平均の各要素の予測精度について、GEPS2203 と GEPS2303 の BSS を季節ごとに比較したものである。平均気温の改善は全ての季節で見られる。一方、通年の評価では改善が見られなかった降水量や日照時間は、春の予測精度が改善傾向であることが分かる。

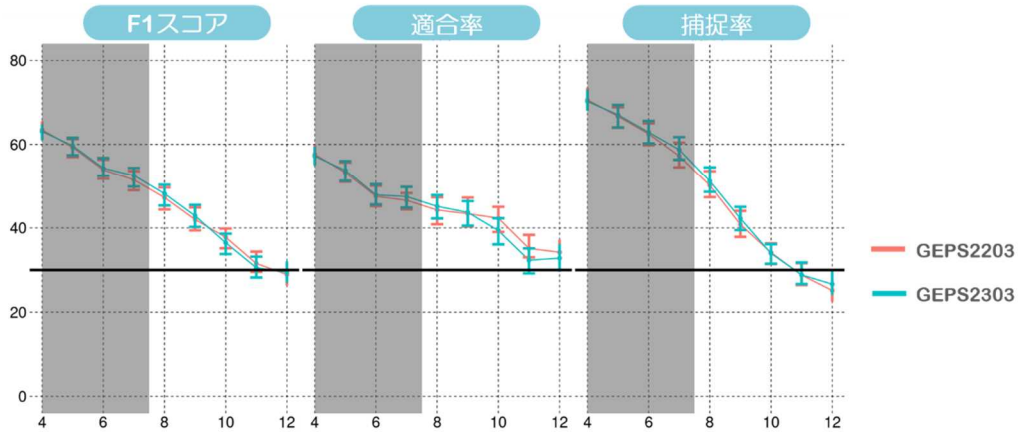
第 2.2-7 図は、早期天候情報ガイドンスの F1 スコア、適合率、捕捉率の比較を示しているが、顕著な高温や低温、大雪を対象とする早期天候情報ガイドンスについては、GEPS2203と GEPS2303 で大きな変化は見られなかった。「2段階 SST 法」による海面水温の改善

効果は気温の変動成分よりも、系統誤差成分の改善に効果が高いためではないかと推察される。

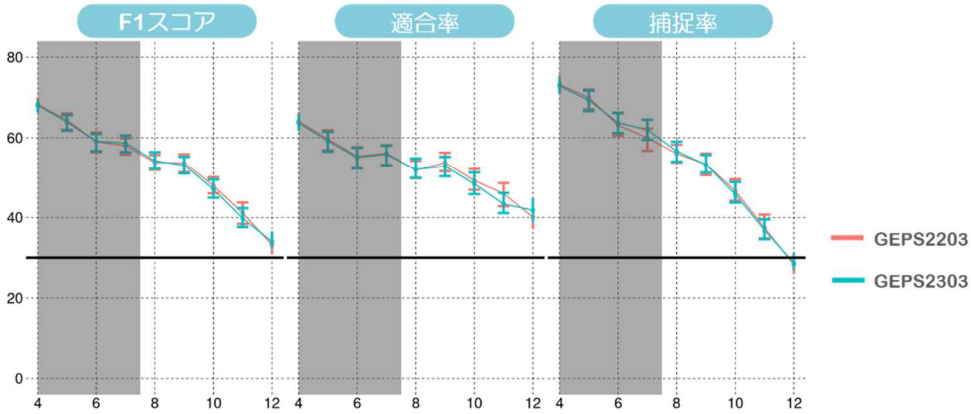
2.2.4 まとめ

本節では、GEPS 更新に伴う逐次学習型の週間予報ガイドンス、及び一括学習型の2週間・1か月予報ガイドンスの予測精度の変化を確認した。その結果、気温や降雪量の 5.5 日先(132 時間先)以降の予測について、「2段階 SST 法」の適用範囲が拡大されたことによる平均気温や降雪量の予測精度の改善効果が確認できた。気象庁では令和 5 年度末から新たなスーパーコンピュータシステムを導入し、更なる予測精度の向上を図っていく計画である。

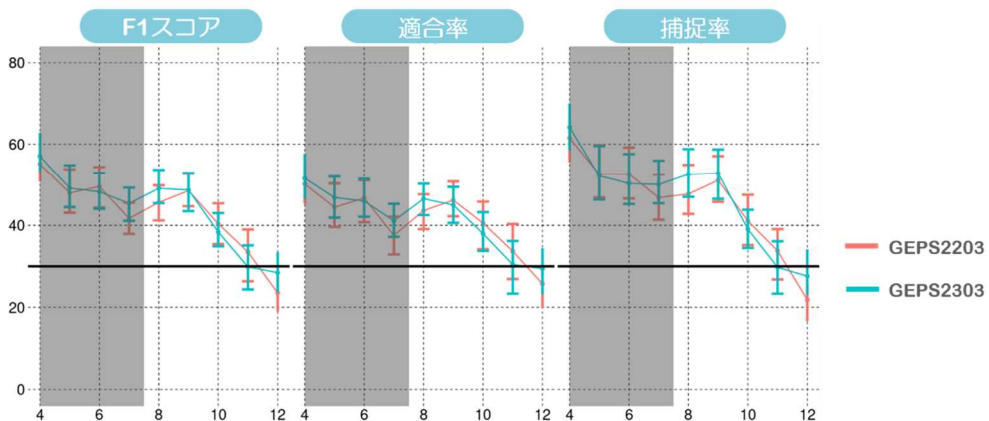
高温に関する早期天候情報



低温に関する早期天候情報



大雪に関する早期天候情報



第 2.2-7 図 再予報による GEPS2203(赤線)と GEPS2303(緑線)の早期天候情報の F1 スコア(左)、適合率(中央)、捕捉率(右)の比較。

上から順に、高温、低温、大雪に関する早期天候情報の検証結果を示している。高温はかなり高い、低温はかなり低い確率、大雪はかなり多い確率 30%以上を発生としたときの F1 スコア、適合率、捕捉率。横軸はリードタイムで、発表日を 0 日とした 5 日間平均の中日を示す。陰影は2週間気温予報対象期間外。エラーバーはブートストラップ法で見積もった 90%信頼区間を表記している。

参考文献

伊藤 晋悟, 住友 雅司, 伊藤 明, 2020: 1.6 2 週間気温予報、早期天候情報及び1か月予報のためのガイダンスの更新, 令和 2 年度季節予報研修テキスト, p22-34.

3 エルニーニョ・ラニーニャ現象と天候の特徴

3.1 概要¹

気象庁は、エルニーニョ・南方振動(ENSO; El Niño Southern Oscillation)など熱帯域の大気・海洋の変動を監視している。エルニーニョ現象等の発生は、太平洋赤道域に設けたエルニーニョ監視海域などの海面水温データに基づき、特定を行っている(第 3.1-1 図及び第 3.1-1 表)。また、監視海域の水温変動をもとに、過去のイベント発生時の天候の特徴を統計資料としてまとめ、実況の解説や季節予報に利用している。

令和 5 年 6 月より、監視海域の海面水温データセットとして MGDSST(Merged Satellite and In-situ Data Global Daily SST; 栗原ほか, 2006)を利用している。MGDSST は、現場観測に加えて衛星観測も活用することで水平分解能が高く、品質の高い海面水温データセットである。同時に、大気の変動(貿易風等)の監視には、海面水温として MGDSST を使用して解析された高精度な大気データ(気象庁第 3 次長期再解析(JRA-3Q); 気象庁, 2021; 2022; 2023)を利用する。大気と海洋で物理的に整合性のあるデータを用いることで、大気と海洋それぞれ相互に影響しあって発生・発達するエルニーニョ現象等をより的確に監視することが可能になった。これらのデータセットの切り替えに伴い、過去の統計資料についても更新した。

エルニーニョ現象等の特定に必要な基準値の計算に前 30 年間のデータを必要とするため、監視海域の水温変動の推移については、2015 年 6 月以降は MGDSST、それ以前は COBE-SST2(Hirahara et al., 2014)を利用する(南ほか, 2022)。これらの海面水温データを過去に遡って適用することで、過去のエルニーニョ現象等について発生期間を特定し直した。海面水温データ更新前後で比較すると、1979 年秋～1979/80 年冬及び 1993 年春～1993 年秋がエルニーニョ現象の発生期間に追加となり、2005 年秋～2006 年

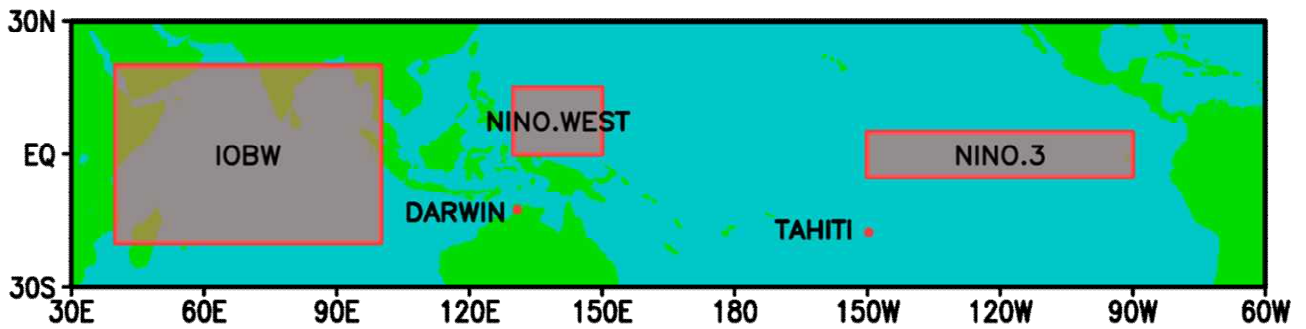
春がラニーニャ現象の発生期間ではなくなった。その他のエルニーニョ現象等についても、発生開始・終了時期が一部変更となった(第 3.1-2 図)。これは、海面水温データの変更により、エルニーニョ現象等に特定される基準をわずかに超えるかどうかという違いに基づくものであり、エルニーニョ現象等が日本の天候に与えた影響についてこれまでの見解を変更するものではない。

過去のエルニーニョ現象等について発生期間を特定し直したことに伴い、エルニーニョ現象等発生時の世界及び日本の天候の統計的な特徴など過去の統計資料も更新した。以下の節では新資料での世界と日本の天候の特徴について説明する。

参考文献

- 気象庁, 2021: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和2年), 気象庁数値予報開発センター, 115–124.
- 気象庁, 2022: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁数値予報開発センター, 133–138.
- 気象庁, 2023: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗と品質評価. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁数値予報開発センター, 120–127.
- 栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 衛星マイクロ波放射計, 衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析. 測候時報, 73, S1–S18.
- Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-Scale Sea Surface Temperature Analysis and Its Uncertainty, *J. Climate*, 27, 57–75.
- 南敦, 西村明希生, 佐藤大卓, 2022: 海面水温データの特徴. 令和4年度季節予報研修テキスト, 気象庁大気海洋部, 41–57.

¹ 中村 哲



第 3.1-1 図 エルニーニョ現象に関係した海面水温を監視するために設定された監視海域

エルニーニョ監視海域(NINO.3)、西太平洋熱帯域(NINO.WEST)、及びインド洋熱帯域(IOBW)の位置を示す。DARWINとTAHITIは南方振動指数の算出で使用する地上気圧観測点。

第 3.1-1 表 監視海域とエルニーニョ等のイベント発生の定義

監視海域	監視指数	イベント発生の定義
エルニーニョ監視海域 (5°S-5°N, 150°W-90°W)	NINO.3	月別に前年までの 30 年間の海面水温を平均した値を基準値として、監視指数(実況値-基準値)の 5 か月移動平均値が 6 か月以上続けて+0.5°C以上(-0.5°C以下)となった場合を、エルニーニョ現象(ラニーニャ現象)と定義する。
西太平洋熱帯域 (Eq.-15°N, 130°E-150°E)	NINO.WEST	月別に前年までの 30 年間の海面水温のトレンドを直線で近似し、その直線を延長して得られた値を NINO.WEST の基準値として、実況値と基準値との差の 5 か月移動平均値が 6 か月以上続けて+0.15°C 以上(-0.15°C以下)の場合、高い(低い)と定義する。
インド洋熱帯域 (20°S-20°N, 40°E-100°E)	IOBW	月別に前年までの 30 年間の海面水温のトレンドを直線で近似し、その直線を延長して得られた値を IOBW の基準値として、実況値と基準値との差の 5 か月移動平均値が 6 か月以上続けて+0.15°C 以上(-0.15°C以下)の場合、高い(低い)と定義する。

更新前

エルニーニョ現象			ラニーニャ現象		
発生期間	季節数	差の標準偏差 (月平均)	発生期間	季節数	差の標準偏差 (月平均)
			1949年夏～1950年夏	5	-1.4
1951年春～1951/52年冬	4	+1.2			
1953年春～1953年秋	3	+0.8	1954年春～1955/56年冬	8	-1.7
1957年春～1958年春	5	+1.6			
1963年夏～1963/64年冬	3	+1.2	1964年春～1964/65年冬	4	-1.2
1965年春～1965/66年冬	4	+1.7	1967年秋～1968年春	3	-1.3
1968年秋～1969/70年冬	6	+1.3	1970年春～1971/72年冬	8	-1.5
1972年春～1973年春	5	+2.7	1973年夏～1974年春	4	-1.5
			1975年春～1976年春	5	-1.3
1976年夏～1977年春	4	+1.5			
1982年春～1983年夏	6	+3.3	1984年夏～1985年秋	6	-1.1
1986年秋～1987/88年冬	6	+1.7	1988年春～1989年春	5	-2.0
1991年春～1992年夏	6	+1.6	1995年夏～1995/96年冬	3	-1.0
1997年春～1998年春	5	+3.6	1998年夏～2000年春	8	-1.8
2002年夏～2002/03年冬	3	+1.4	2005年秋～2006年春	3	-1.2
			2007年春～2008年春	5	-1.7
2009年夏～2010年春	4	+1.4	2010年夏～2011年春	4	-1.6
2014年夏～2016年春	8	+3.0	2017年秋～2018年春	3	-1.2
2018年秋～2019年春	3	+1.1	2020年夏～2021年春	4	-1.2
			2021年秋～2022/23年冬	6	-1.2

更新後

エルニーニョ現象			ラニーニャ現象		
発生期間	季節数	差の標準偏差 (月平均)	発生期間	季節数	差の標準偏差 (月平均)
			1949年秋～1950/51年冬	6	-1.0
1951年夏～1951/52年冬	3	+1.7			
1953年春～1953年秋	3	+1.0	1954年春～1956年夏	10	-1.6
1957年春～1958年夏	6	+1.8			
1963年夏～1963/64年冬	3	+1.3	1964年春～1964/65年冬	4	-1.2
1965年春～1965/66年冬	4	+1.7	1967年夏～1968年春	4	-1.0
1968年秋～1969/70年冬	6	+1.2	1970年春～1971/72年冬	8	-1.5
1972年春～1973年春	5	+2.6	1973年夏～1974年春	4	-1.6
			1975年春～1976年春	5	-1.4
1976年夏～1977年春	4	+1.3			
1979年秋～1979/80年春	2	+0.8			
1982年春～1983年秋	7	+3.2	1984年夏～1985年夏	5	-0.9
1986年秋～1987/88年冬	6	+1.8	1988年春～1989年春	5	-1.8
1991年春～1992年夏	6	+1.6			
1993年春～1993年秋	3	+1.3	1995年秋～1996年春	3	-1.2
1997年春～1998年夏	6	+3.6	1998年秋～1999年春	3	-1.2
			1999年夏～2000年春	4	-1.6
2002年春～2002/03年冬	4	+1.4	2007年夏～2008年春	4	-2.0
2009年夏～2010年春	4	+1.4	2010年夏～2011年春	4	-1.7
2014年春～2016年春	9	+3.1	2017年秋～2018年春	3	-1.3
2018年秋～2019年春	3	+1.1	2020年夏～2021年春	4	-1.3
			2021年秋～2022/23年冬	6	-1.3

第 3.1-2 図 エルニーニョ現象及びラニーニャ現象の発生期間

気象庁ホームページに掲載している「エルニーニョ現象及びラニーニャ現象の発生期間」

(https://www.data.jma.go.jp/cpd/data/elnino/learning/faq/elnino_table.html)を、海面水温データ更新前(左)と更新後(右)と比較したもの。赤丸はデータ更新後、エルニーニョ現象の発生に追加された期間。青丸はデータ更新後、ラニーニャ現象の発生ではなくなった期間。

3.2 エルニーニョ・ラニーニャ現象と世界の天候の特徴¹

3.2.1 はじめに

熱帯域の海面水温の変動は、大気の大規模な循環を通じて、世界の天候へ大きな影響を及ぼす。これまでも気象庁では、中部～東部太平洋赤道域(NINO.3)の海面水温変動として同定されるエルニーニョ・ラニーニャ現象をはじめ、西太平洋熱帯域(NINO.WEST)及びインド洋熱帯域(IOBW)の海面水温変動に伴う世界の天候への影響について調査を行ってきた(竹内, 2006; 福田, 2009; 佐藤ほか, 2016)。ここで、NINO.3、NINO.WEST 及び IOBW は気象庁で定義される監視海域である(第 3.1-1 図及び第 3.1-1 表)。

気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)(気象庁, 2021; 2022; 2023)が2023年に整備されたこと、並びに監視指数に使用する海面水温データを全球日別海面水温解析値(MGDSST; 栗原ほか, 2006)及びCOBE-SST2(Hirahara *et al.*, 2014)としたことを踏まえ、熱帯域の海面水温変動に伴う世界の天候(気温及び降水量)への影響について、統計期間を過去に延長するなどの変更を加え、再度調査を行った。

本調査は、世界各地の時系列観測データについて、エルニーニョ現象等のイベント発生時に発生しやすい三分位階級を統計的に抽出し、世界各地のどの地域にどのような影響が見られるかを把握するものである(佐藤ほか, 2016)。

NINO.3、NINO.WEST 及びIOBW の海面水温変動はお互いに密接に関連している。以下の結果は、各海域の海面水温変動と世界の天候との関連を統計的に抽出したものであり、必ずしも両者の直接の因果関係が示されているとは限らないことに注意を要する。

3.2.2 統計期間と使用データ

統計期間については、佐藤ほか(2016)の調査では1958年～2012年(冬は1958/59年～2012/13年)の

55年間を対象としていたが、今回の調査では1948年～2021年(冬は1947/48年～2020/21年)の74年間とし、より長期間のデータを用いて調査を行った。

用いた気温及び降水量の地上観測データは、1982年6月以降の地上月気候値気象通報(CLIMAT報)データ及び米国海洋大気庁(NOAA)が整備した1947年以降のGHCN(Global Historical Climatology Network; Peterson and Vose, 1997; Manne *et al.*, 2018)データである。これらはいずれも、世界各地の地上観測地点の月統計値であり、日本国外の地上観測データを用いた平年値の作成(奥中ほか, 2021)で使用したものに準拠している。CLIMAT報データは、各国から毎月送信される電文を基に、異常値を除くなど気象庁において品質管理を施したものを使用している。GHCNの気温データは、最新版のver. 4に更新されており、佐藤ほか(2016)の調査よりも観測地点数が大幅に増加している。CLIMAT報データ及びGHCNデータの両方が利用可能な場合は、CLIMAT報データを優先して利用した。

大洋上については、地上観測データから得られた結果を補完する目的でJRA-3Qの2m気温及び降水量、MGDSST及びCOBE-SST2の海面水温データ並びにNOAAが提供する外向き長波放射量(OLR)データを用いた。解析期間は地上観測データと同様の74年間であるが、OLRについては1979年～2021年(冬は1979/80年～2020/21年)の43年間である。

3.2.3 調査方法

(1) エルニーニョ・ラニーニャ現象等の発生期間

NINO.3海域における海面水温の基準値²との差の5か月移動平均値が6か月以上続けて+0.5°C以上(-0.5°C以下)となった期間をエルニーニョ現象(ラニーニャ現象)発生期間とした。また、西太平洋熱帯域(NINO.WEST)及びインド洋熱帯域(IOBW)の海面水温の基準値³との差の5か月移動平均値が6か月以上続けて+0.15°C以上(-0.15°C以下)となった期間を、

¹ 中村 哲

² NINO.3 の海面水温基準値は、月別に前年までの30年間の海面水温を平均した値。

³ NINO.WEST と IOBW の海面水温基準値は、月別に前年までの30年間の海面水温のトレンドを直線で近似し、その直線を延長して得られた値。

高温(低温)であるとした。各イベントの発生期間を第3.2-1図に示す。以下では、エルニーニョ現象発生時、NINO.WEST 高温時、IOBW 高温時をそれぞれ「NINO.3(+）」、「NINO.WEST(+）」、「IOBW(+）」とし、海域に関わらず各イベントを表現する場合には「監視指数(+）」と表記する。一方、ラニーニャ現象発生時、NINO.WEST 低温時、IOBW 低温時をそれぞれ「NINO.3(-）」、「NINO.WEST(-）」、「IOBW(-）」とし、海域に関わらず各イベントを表現する場合には「監視指数(-）」と表記する。同様に、平常時は「NINO.3(0）」、「NINO.WEST(0）」、「IOBW(0）」、「監視指数(0）」と表記する。

(2) 観測地点ごとの気温規格化偏差と降水量基準比の算出

統計値の算出にあたり、CLIMAT 報は現業で実施した品質管理後のデータを使用した。GHCNデータに対する品質管理として以下に合致するデータを棄却した(奥中ほか, 2021)。

- ・観測、通報時の誤りとみられるような極端な値
- ・観測地点の移転が疑われるステップ状の変化
- ・近傍地点の観測値とかけ離れた値
- ・該当データを用いて作成した平年値に不自然な季節進行がみられる場合

品質管理後のデータを用いて、各地点の3か月平均気温/3か月降水量の時系列を計算した。ただし、もし連続する3か月のうち1か月でも欠測があった場合には、計算しないこととした(例えば、ある年の3月が欠測であれば、その年の1月～3月、2月～4月、3月～5月の値を欠測扱いとした)。

続いて、観測地点ごとに統計期間(1948年～2021年)の平均値を基準値とし、各3か月の平均気温規格化偏差(統計期間内の年々変動に伴う標準偏差で規格化した基準値からの偏差)と降水量基準比(各3か月降水量をその基準値で割ったもの)をそれぞれ求めた。このとき、観測データ数が統計年数(74年)の5割以上ある地点のみを利用した。5割以上としたのは、解析結果の信頼性を高める観点からは、より欠測の少ない時系列データを使うのが望ましいものの、その一方で、データ数の割合を厳しくすると、利用できる観測地

点数が減ってしまうためであり、解析結果の信頼性と解析できる地点数のバランスを考慮した結果である。

観測データ数が少ない場合には、観測値の存在する期間が監視指数(+)あるいは監視指数(-)の期間に偏ってしまい、統計期間の気温及び降水量の基準値そのものが偏ってしまうことが考えられる。これを避けるため、観測データ数が統計期間の5割以上かつ8割未満の場合には、以下で定義する「偏りの割合」が20%以下の地点のみを利用した。

偏りの割合(%)

$$= \frac{|\text{監視指数(+)の年数} - \text{監視指数(-)の年数}|}{\text{監視指数(0)の年数}} \times 100$$

(3) 格子データへの変換と線形トレンドの除去

計算された観測地点ごとの気温規格化偏差/降水量基準比を緯度5度×経度5度の格子ごとに平均した。その際、格子内に1地点でも観測データがあれば格子点平均値を算出した。

各格子で使用された総データ数とその年々推移を第3.2-2図に示す。ここでは夏のエルニーニョ発生時の例のみ示すが、以下に述べる傾向はどの季節・イベントでも同様である。GHCNデータの更新に伴い、気温は陸上のほとんどの地域で統計量が算出可能である。一方、降水量はユーラシア、アフリカ、南米などの内陸部で空白地域が多い。元々のデータ数の少なさに加えて、品質管理でも半数近くが棄却されていることがわかる。

各観測点のデータには、熱帯域の海面水温変動の影響のほか、地球温暖化等による長期的な変化傾向(トレンド)が含まれている。後者による解析結果への影響を除くため、気温データについては線形トレンドを除去した。降水量についてはトレンドが明瞭ではないため、特にトレンド除去を行っていない。

(4) 格子点データの階級分け

前項で求めた格子点データについて、統計期間全体の出現率が等しくなるよう「低い(少ない)」「並」「高い(多い)」の3階級に分けた。階級区分値の算出方法は、「気象観測統計指針」(気象庁, 2005)に示される、

平年の階級区分値の求め方を参考に、各格子点の時系列データを値の小さい順に並びかえた上で、

・「低い(少ない)」と「並」の階級区分値

$$\frac{1}{3} \times 74 \times \frac{N}{74} \text{ 個目の値と、}$$

$$\left(\frac{1}{3} \times 74 + 1 \right) \times \frac{N}{74} \text{ 個目の値の平均}$$

・「並」と「高い(多い)」の階級区分値

$$\frac{2}{3} \times 74 \times \frac{N}{74} \text{ 個目の値と、}$$

$$\left(\frac{2}{3} \times 74 + 1 \right) \times \frac{N}{74} \text{ 個目の値の平均}$$

とした。ここで、 N は資料年数である。

「気象観測統計指針」(気象庁, 2005)に基づいて、観測値が同じ値を持つ年が複数ある、あるいは、区分値付近に同じ値の観測値が集まる場合に、階級区分値を修正した。本調査では、このようにして求めた各階級に含まれるデータの割合を「気候的出現率」と呼び、多くの場合で33%に近い値をとる。ただし、例外的に、砂漠などの雨のほとんど降らない地域では、データのほとんどが降水量0mmで同じ順位となり、「少ない」階級の気候的出現率が33%を大きく超える場合があることに注意を要する。

(5) 有意性の検定

各格子における気温及び降水量の各階級の出現率が、エルニーニョ現象等のイベント発生時に、気候的出現率と比べて有意に大きいかどうかを統計的に検定する。これは統計学の「母比率の検定」に相当するものである。

まず、母集団での比率(母比率)を以下に示す p とする。

$$p = \frac{\text{ある階級となる年数}}{\text{イベント発生年数}}$$

気候的出現率を p_0 とし、帰無仮説を

$$H_0 : p = p_0$$

片側対立仮説を

$$H_1 : p > p_0$$

とする。そして、帰無仮説の下では標本から得られた検定統計量の実現される確率(P値)が(あらかじめ設

定された信頼度水準を基に)十分低いことを示し、帰無仮説を棄却するという評価を行う。ここで、帰無仮説の下での確率分布は以下に示すように二項分布で表される。

統計期間において、イベント発生時の合計年数が n 、そのうちある階級(例えば「高い」となる年数が x であったとすると、その出現率は x/n である。つまり、出現率は、合計年数 n からある階級を x 年選ぶことに置き換えて考えることができる。帰無仮説が正しいとした場合、ある階級の出現率は p_0 (一定)で、その確率分布 $f(x)$ は次式に示す二項分布で与えられる。

$$f(x) = {}_n C_x p_0^x (1 - p_0)^{n-x}$$

ここで、

$${}_n C_x = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

である。

一般的に、二項分布とは、結果が成功か失敗かのいずれかの場合、1回の試行における生起確率が p_0 で一定として、 n 回の独立な試行を行ったときの成功数(x)を変数として表される離散確率分布である。本調査の場合は、「成功」・「失敗」を例えば「高い」・「高くない」と置き換えて考えることにより、二項分布が利用できる。

一般に、サンプル数が大きい場合には正規分布等で近似して検定することもあるが、二項分布を直接計算すれば、近似することなく、サンプル数が小さい場合でも検定ができる。そのため、本調査でも二項分布を用いた検定方法を採用した。

3.2.4 結果

(1) 格子ごとの分布図

格子ごとに、エルニーニョ現象等のイベント発生時に気温(降水量)が「高い(多い)」、「並」又は「低い(少ない)」傾向となるかを、第3.2-3図～第3.2-8図に示した。ここで格子点上に示されている階級は、P値が最小、すなわち信頼度((1-P値)×100)が最大となる階級である。P値が小さいほど、その階級の出現率が気候的出現率より大きくなる確率が高いことを示す。単純に出現率が一番大きい階級を示すことをしないのは、第3.2.3項(4)に述べたように、気候的出現率が

33%を大きく超える階級がある格子(砂漠など)では、ある階級のP値が最小の場合でも、その階級の出現率が最大とは限らないためである。図中では、特に「少ない」降水量の気候的出現率が50%を超える格子には背景に四角枠を表示してある。気候的出現率が階級によって変わらない格子では、最も出現率の大きい階級で最小のP値が見出されるので、出現率の大きさを基に表示した場合と同じになる。P値が全く同じとなる階級が2つ以上ある場合には、「階級不定」として示した。

図中で何も示されていない格子点は、データ数が十分でないか、観測点が存在しないため計算が行われなかったことを意味している。大洋上を除くと、アフリカ、ブラジル、極域で空白となる領域が見られるが、前述のように最新版のGHCNデータを使用したことで、特に気温に関しては陸上の大部分で評価が可能となっている。

参考として第3.2-9図に、エルニーニョ現象及びラニーニャ現象発生時の夏と冬の統計資料について、本調査による更新前後の変化を示す。気温についてはユーラシア大陸北部、東南アジア、中東、アフリカ、中米、南米北部、ポリネシアで評価可能になった地域が多い(図中紫□)。階級信頼度の変化を見ると、熱帯域では、エルニーニョ時の高温傾向、ラニーニャ時の低温傾向がより明らかになった(図中色付き■)。

降水量については、アフリカや中米の一部で新たに評価可能となった地点があり(図中紫□)、東南アジア、南米、ポリネシアではむしろ新たに評価不可能となった地点がある(図中緑□)。一方で、階級信頼度の変化を見ると、熱帯域及びオーストラリアでエルニーニョ時の少雨傾向、ラニーニャ時の多雨傾向がより明らかになった(図中色付き■)。

今回の検定で有意な関係が見出されなかった格子について、直ちに「イベントの発生との関連がない」と結論できるわけではないことに注意されたい。今回の調査では、いわゆる検出力を考慮して必要な資料数を求めることは行っていない。本来、帰無仮説(母比率が気候的出現率と等しい)が正しくないにもかかわらず、資料数が少なかつたために今回の検定ではそれを否定できなかったことも考えられる。

補足資料として、品質管理がなされた観測値(GHCNデータ)と監視指数がともに整備されている1901年以降を統計期間として作成した分布図を第3.2-10図に示す。分布図は概ね本調査の資料と同様であり、特に熱帯域については結果が頑強であることを示唆する。一方、夏のラニーニャ時の東アジアで高温傾向、冬のエルニーニョ時のヨーロッパ北部の低温傾向が、長期統計の結果として現れている。中高緯度では大気の内変動が大きいいため、得られた結果の信頼性には依然注意が必要であるという統計学的な示唆と同時に、気候学的な長期変動による変調の可能性も示唆される。

(2) 領域図

第3.2.4項(1)で求めた格子点ごとの分布図から、信頼度水準90%以上で統計的に有意な「高い(多い)」及び「低い(少ない)」の階級がある程度まとまっている領域を実線で囲った(第3.2-11図～第3.2-13図。以下「領域図」という)。

領域図の作成において、気温についてはJRA-3Qの2m気温と、MGDSST並びにCOBE-SST2のエルニーニョ現象等イベント発生時における合成図、降水量についてはJRA-3Qの降水量と衛星データのOLRの合成図を補助資料として用いた。例えば、観測地点がまばらな大洋上でも、信頼度水準90%以上で統計的に有意な領域が広がっていれば領域として囲うこととした。

領域図を基に、エルニーニョ現象等イベント発生時における世界の天候の特徴を第3.2-1表～第3.2-6表にまとめた。佐藤ほか(2016)の調査と比較して、統計期間の延長や観測地点の増加などにより、エルニーニョ現象等イベント発生時の特徴として挙げられる領域は全体的に増えた傾向にある。

3.2.5 まとめ

JRA-3Qの公開を踏まえ、エルニーニョ・ラニーニャ現象等発生時の世界の気温及び降水量の傾向について、再調査を行った。本調査で得られた結果と従前の調査との差異には次の影響が含まれると考えられる。

- ① 統計期間を1948年～2021年(冬は1947/48年～2020/21年)の74年間に延長
- ② 監視指数の算出に用いる海面水温データの変更による、イベント発生期間の変更
- ③ GHCNデータの最新版を使用したことによる観測地点数の大幅な増加

本調査では、熱帯の海面水温変動と世界の天候との関連を統計的に抽出するため、気温については線形トレンドを除去した。ただし実際の気温の出現頻度は、この線形トレンドに、本調査で得られた熱帯の海面水温変動による影響や、十年から数十年程度の時間スケールの自然変動の影響などが重なったものとして実現されることに留意する必要がある。

また、本調査では、CLIMAT報のデータが無い期間にはGHCNデータを利用し、気温については最新版(ver. 4)を使うことでデータの空白域が大幅に減少した。一方で降水量データについては依然としてデータのない地点や、データ品質が低いために利用できない地点が多い。今後は降水量について、データマイニングなど様々なアプローチから過去データを整備することが重要であろう。

参考文献

奥中裕佳, 西村明希生, 田巻優子, 岡部裕己, 2021: 日本国外の地上観測データを用いた平年値. 令和3年度季節予報研修テキスト, 気象庁大気海洋部, 10–19.

気象庁, 2005: 気象観測統計指針, 121–124.

気象庁, 2021: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和2年), 気象庁数値予報開発センター, 115–124.

気象庁, 2022: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁数値予報開発センター, 133–138.

気象庁, 2023: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗と品質評価. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁数値予報開発センター, 120–127.

栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 衛星マイクロ波放射計, 衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析. 測候時報, 73, S1–S18.

佐藤大卓, 桜井敏之, 竹内綾子, 2016: エルニーニョ/ラニーニャ現象等発生時における世界の天候の特徴. 平成28年度季節予報研修テキスト, 気象庁大気海洋部, 122–151.

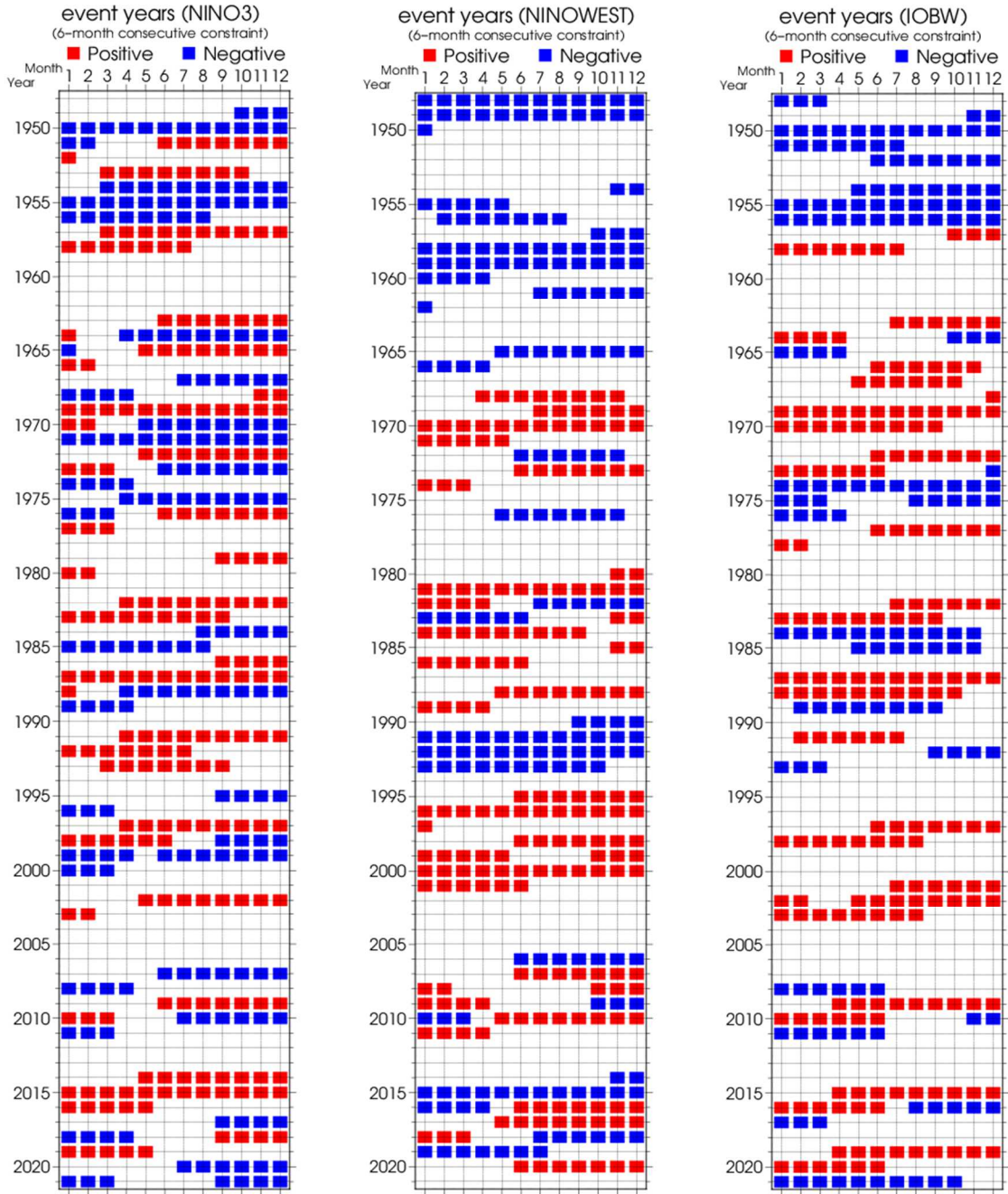
竹内綾子, 2006: エルニーニョ/ラニーニャ現象と世界の天候. 平成18年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 26–36.

福田義和, 2009: 熱帯域の海面水温と世界の天候. 平成21年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 66–81.

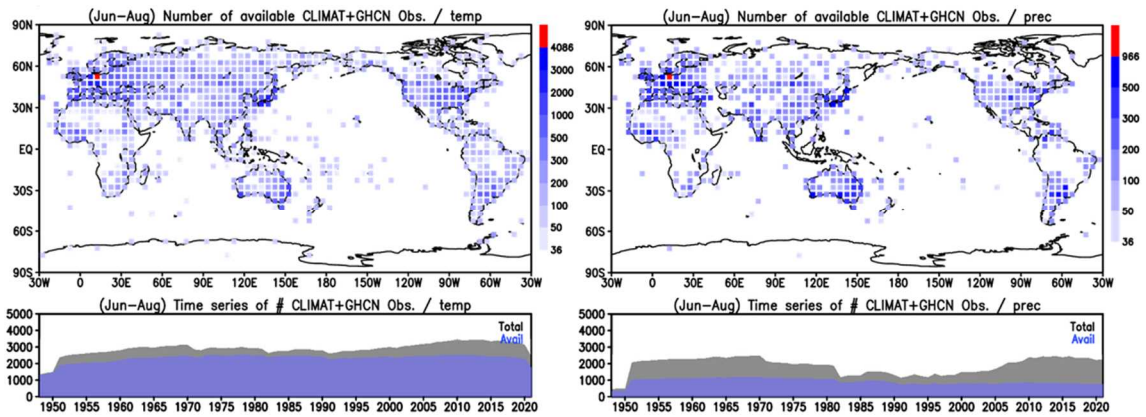
Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-Scale Sea Surface Temperature Analysis and Its Uncertainty, *J. Climate*, 27, 57–75.

Manne, M. J., C. N. Williams, B. E. Gleason, J. J. Rennie, and J. H. Lawrimore, 2018: The Global Historical Climatology Network Monthly Temperature Dataset, Version 4. *J. Climate*, 31, 9835–9854.

Peterson, T. C. and R. S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2837–2848.

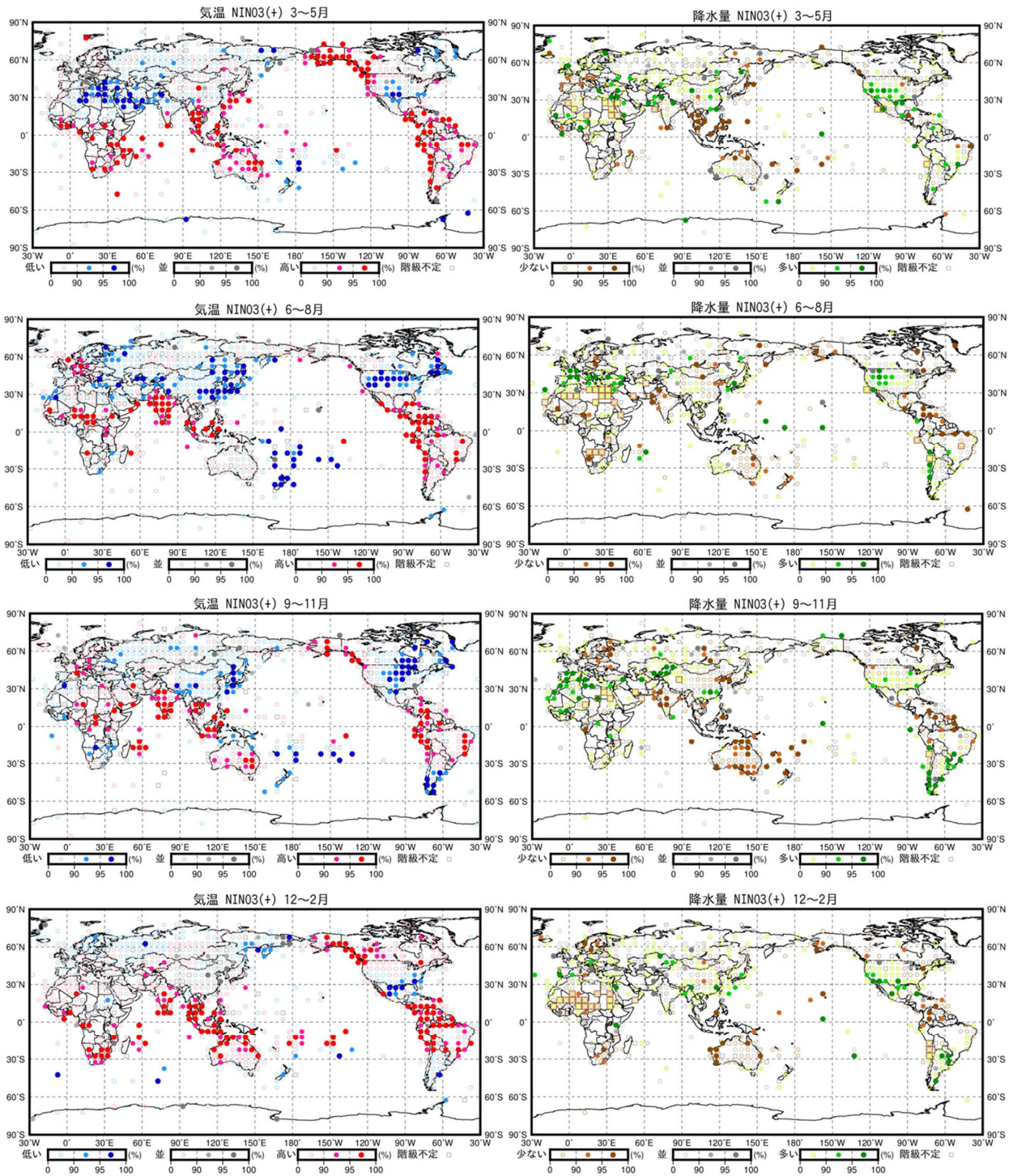


第 3.2-1 図 NINO.3(左)、NINO.WEST(中央)、及び IOBW(右)の各海域における監視指数(+)及び(-)の発生期間
 1948~2021 年の期間において、NINO.3(左)、NINO.WEST(中央)及び IOBW(右)の各海域について、監視指数(+)と
 なった期間を赤色で、監視指数(-)となった期間を青色で示す。



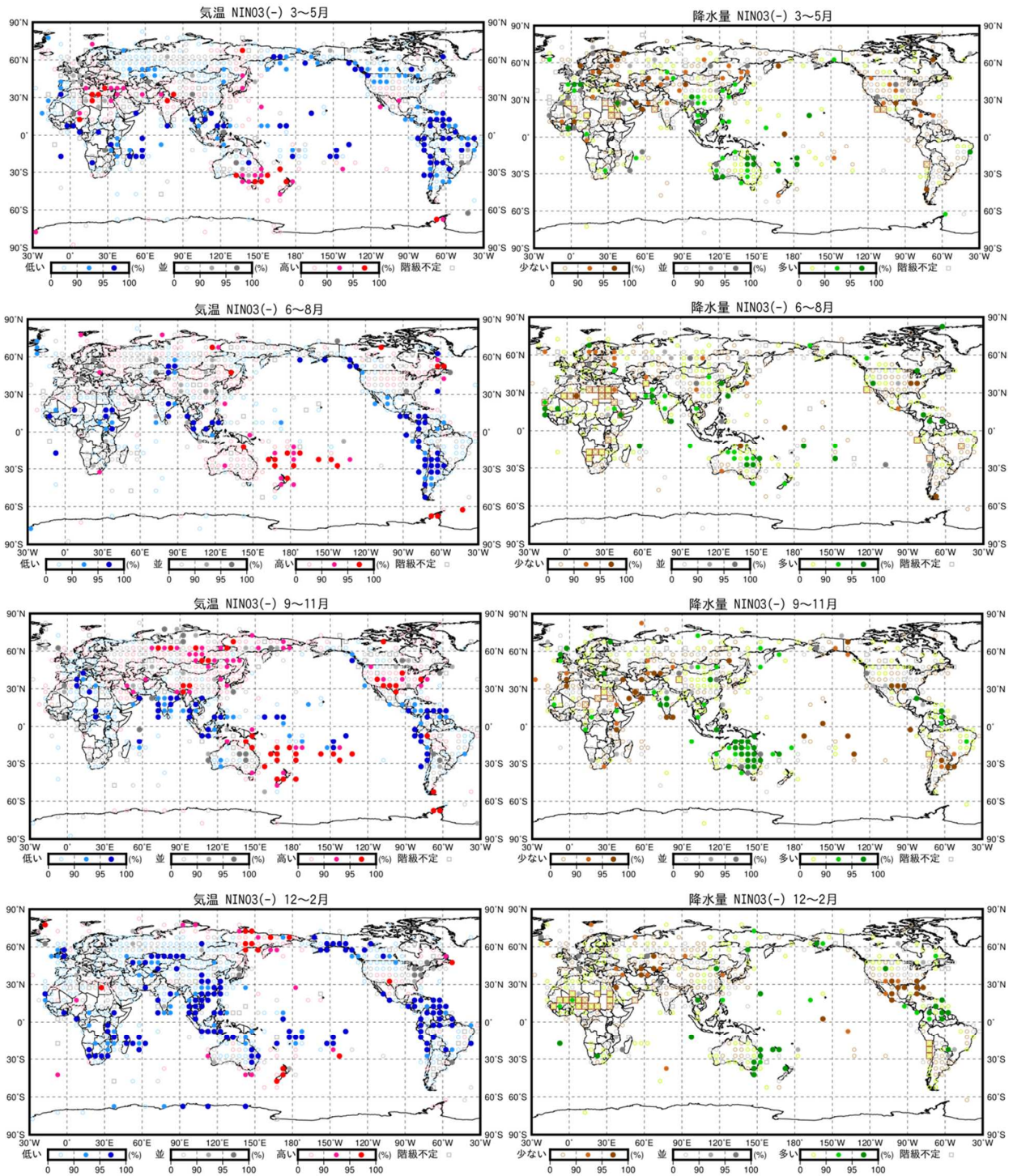
第 3.2-2 図 統計量の算出に使用した観測データ数

夏(6~8月)のエルニーニョ発生時の3か月平均気温(左)と3か月降水量(右)の統計量の算出にあたり、統計期間(1948~2021年)において緯度5度×経度5度の格子内で使用された観測データ数(上段)、及び全球積算データ数の年々の推移(下段)。灰色が品質管理前のデータ数、青色が品質管理後のデータ数で、後者が上段の分布図に対応する。

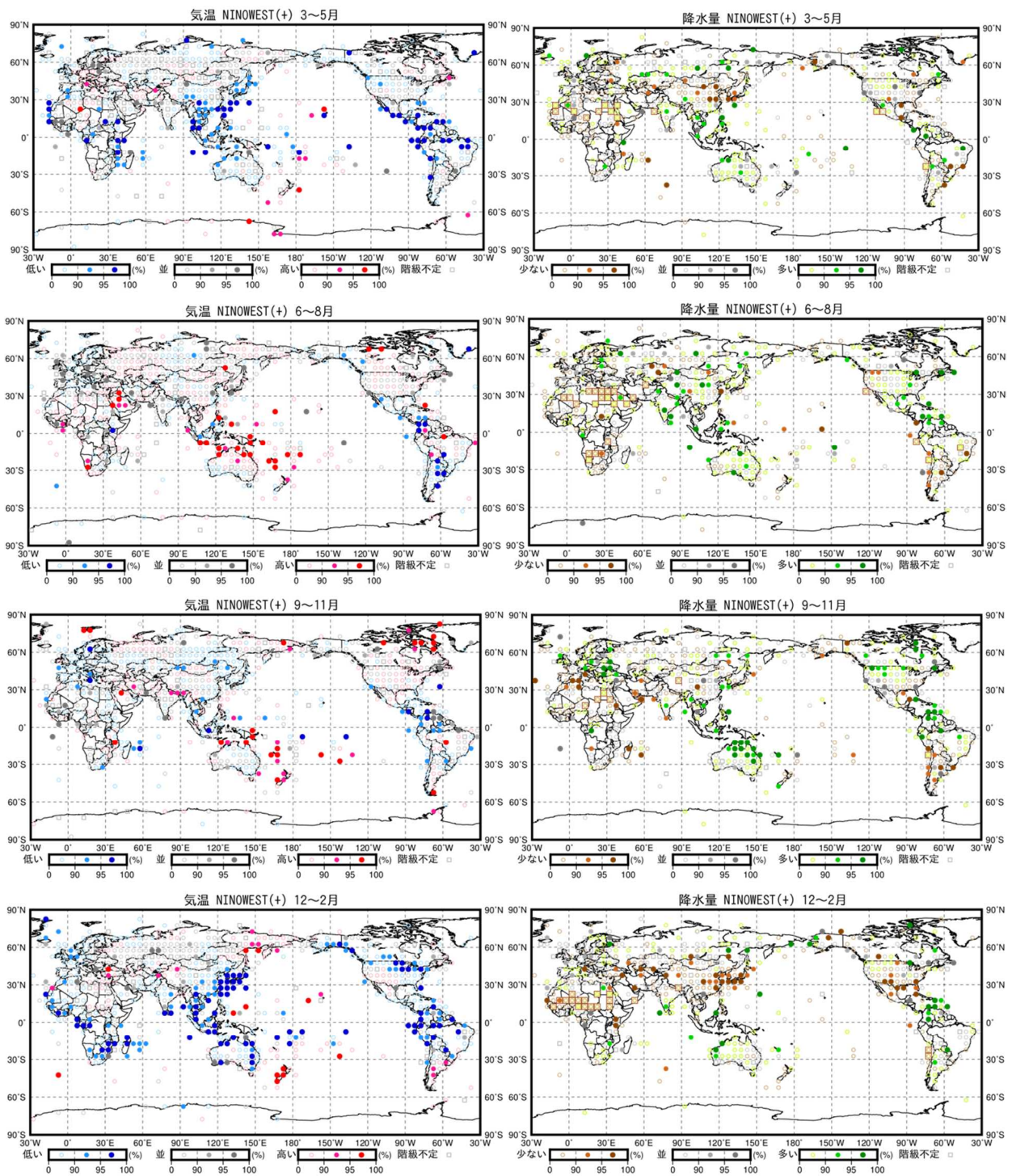


第 3.2-3 図 エルニーニョ現象発生時の世界の天候の特徴(格子点版)

上段から3～5月(上段)、6～8月(中上段)、9～11月(中下段)、及び12～翌年2月(下段)の気温(左)並びに降水量(右)の分布図。緯度5度・経度5度ごとの格子内の平均的な気温、降水量について、統計期間中(1948～2021年)のイベント発生時の出現率が気候的出現率より大きくなる信頼度 $((1-P \text{ 値}) \times 100)$ が最大となる階級を示したものを、図の下側にある凡例の数字は、信頼度を表している。同一格子で、信頼度が2つ以上の階級で同じ場合、最も現れやすい階級を1つに決定できないため「階級不定」とし、灰色の四角いマークで示している。降水量について「少ない」階級の気候的出現率が50%を超える格子には、背景に四角枠を示した。マークが無い格子は統計解析を行うのに十分な資料がない格子である。

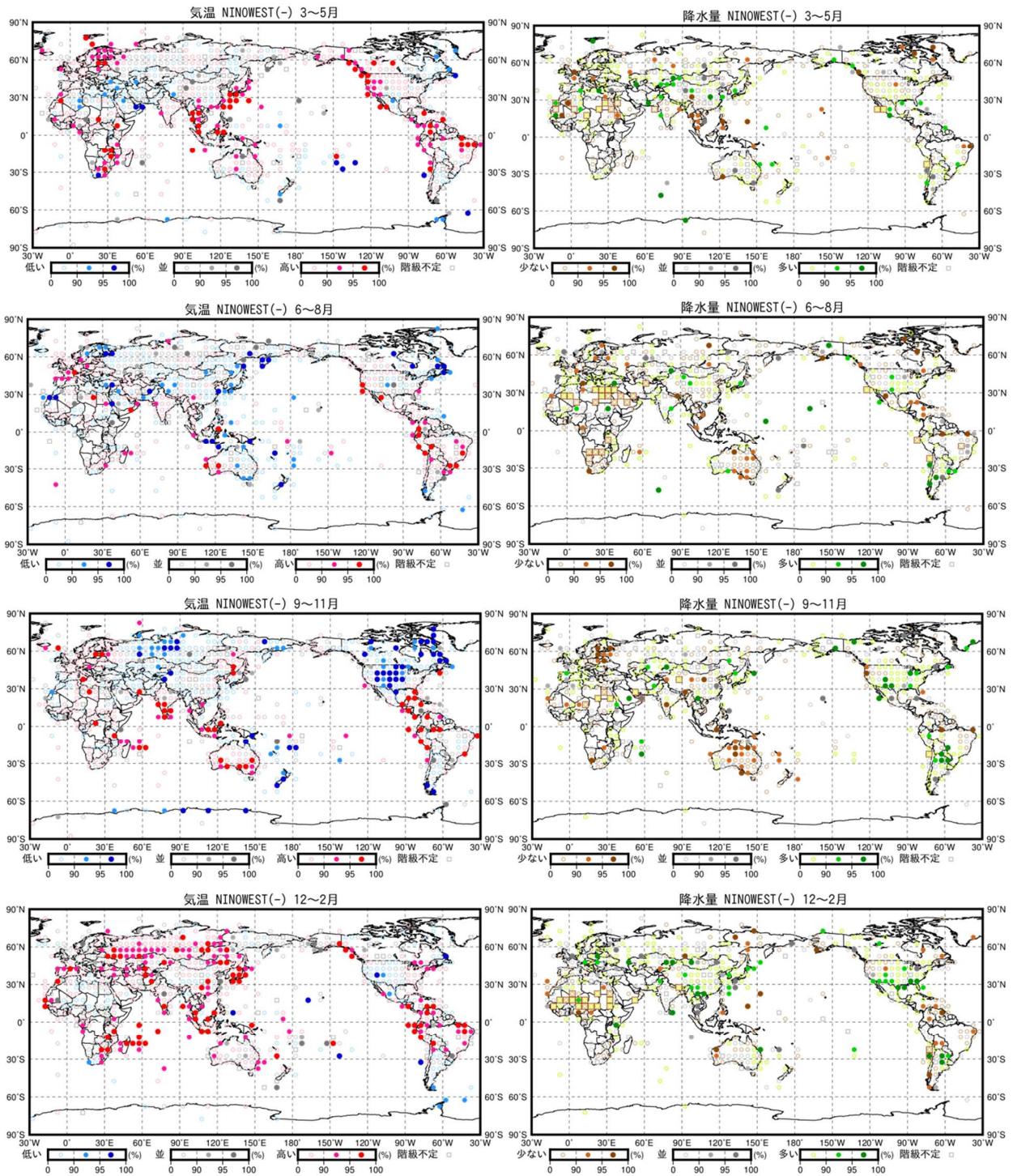


第 3.2-4 図 ラニーニャ現象発生時の世界の天候の特徴 (格子点版)
 第 3.2-3 図と同じ。ただしラニーニャ現象発生時の分布図。



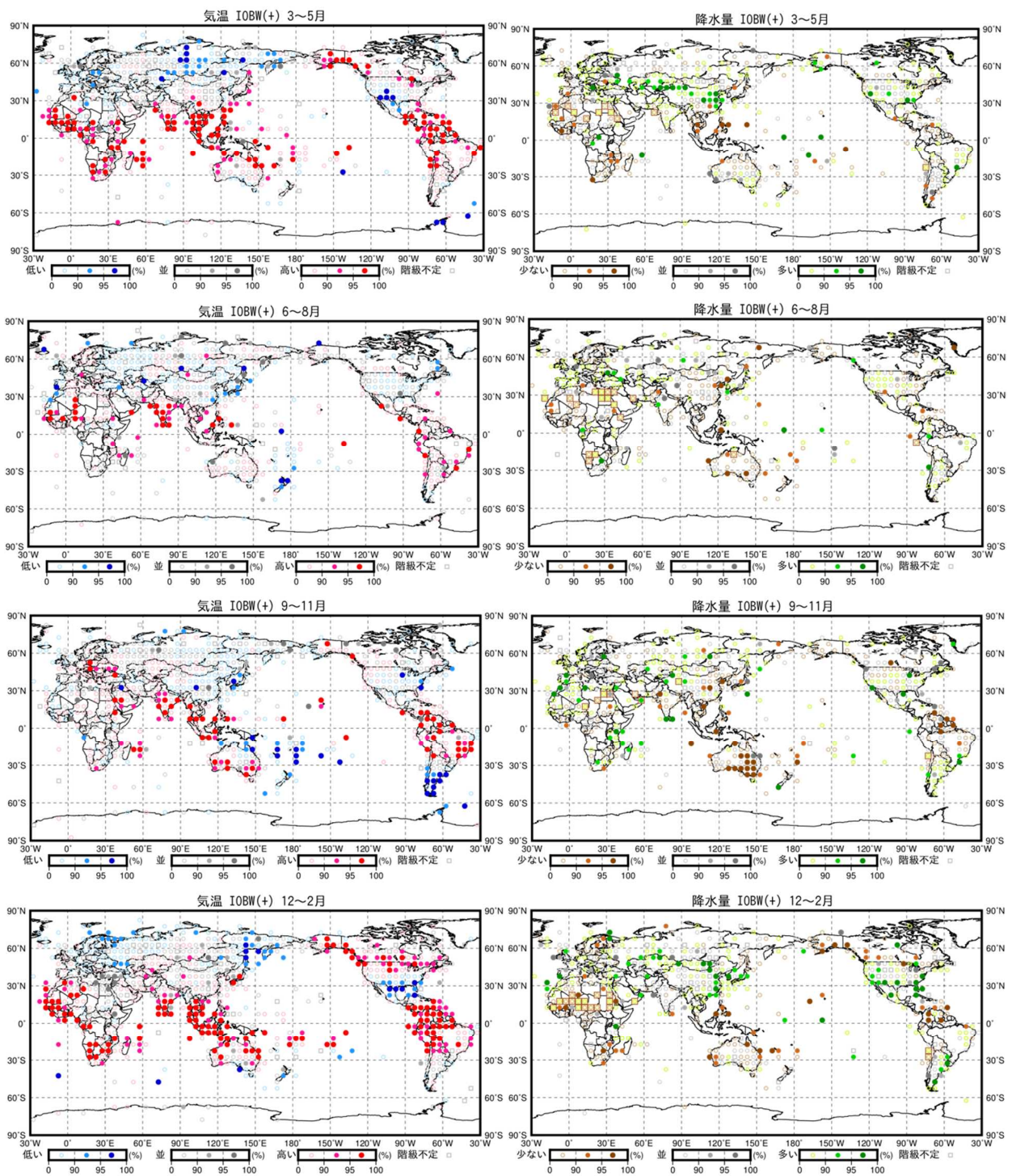
第 3.2-5 図 西太平洋熱帯域の海面水温が高温時の世界の天候の特徴(格子点版)

第 3.2-3 図と同じ。ただし西太平洋熱帯域の海面水温が高温時の分布図。

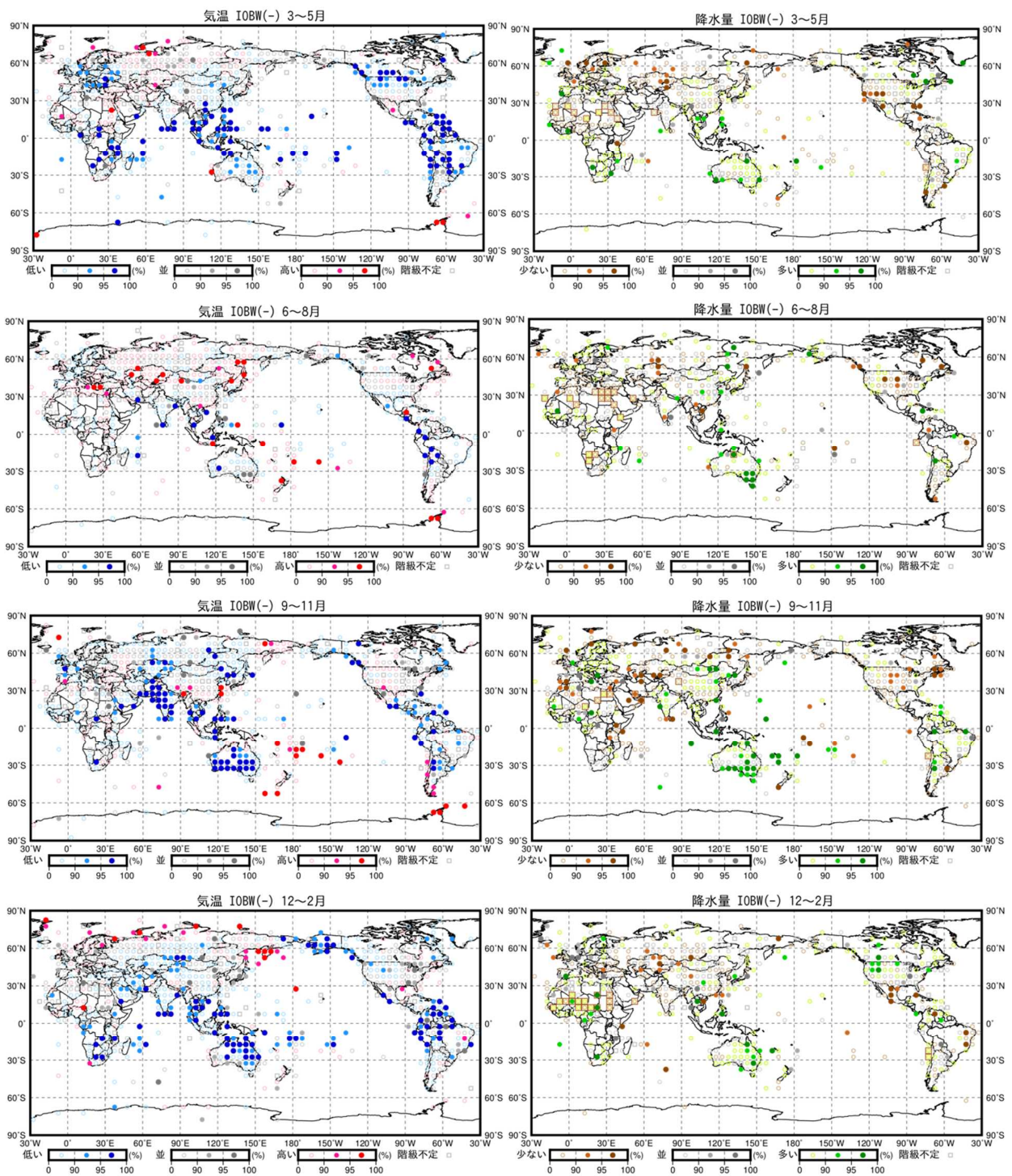


第 3.2-6 図 西太平洋熱帯域の海面水温が低温時の世界の天候の特徴(格子点版)

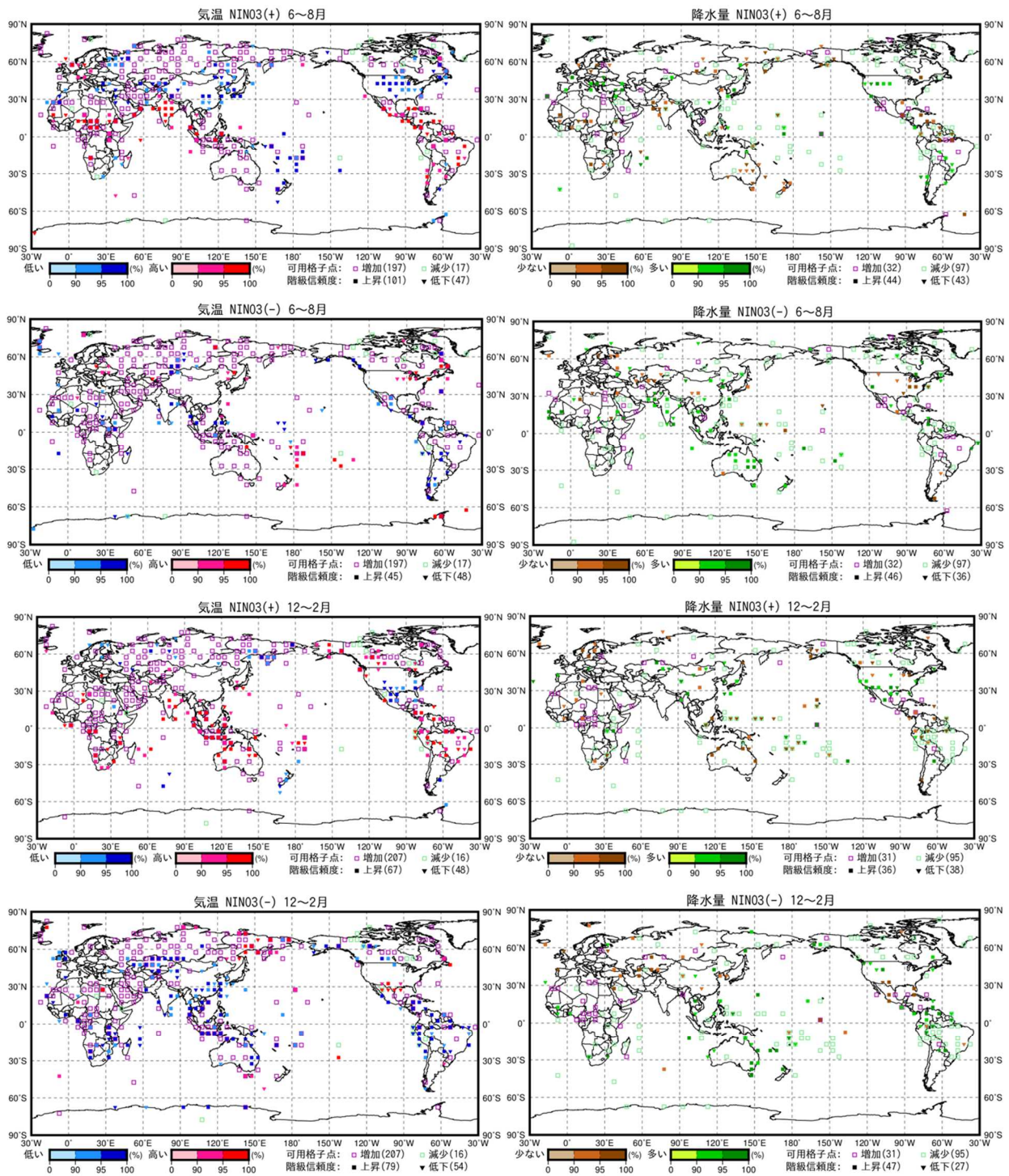
第 3.2.3 図と同じ。ただし西太平洋熱帯域の海面水温が低温時の分布図。



第 3.2-7 図 インド洋熱帯域の海面水温が高温時の世界の天候の特徴(格子点版)
 第 3.2-3 図と同じ。ただしインド洋熱帯域の海面水温が高温時の分布図。

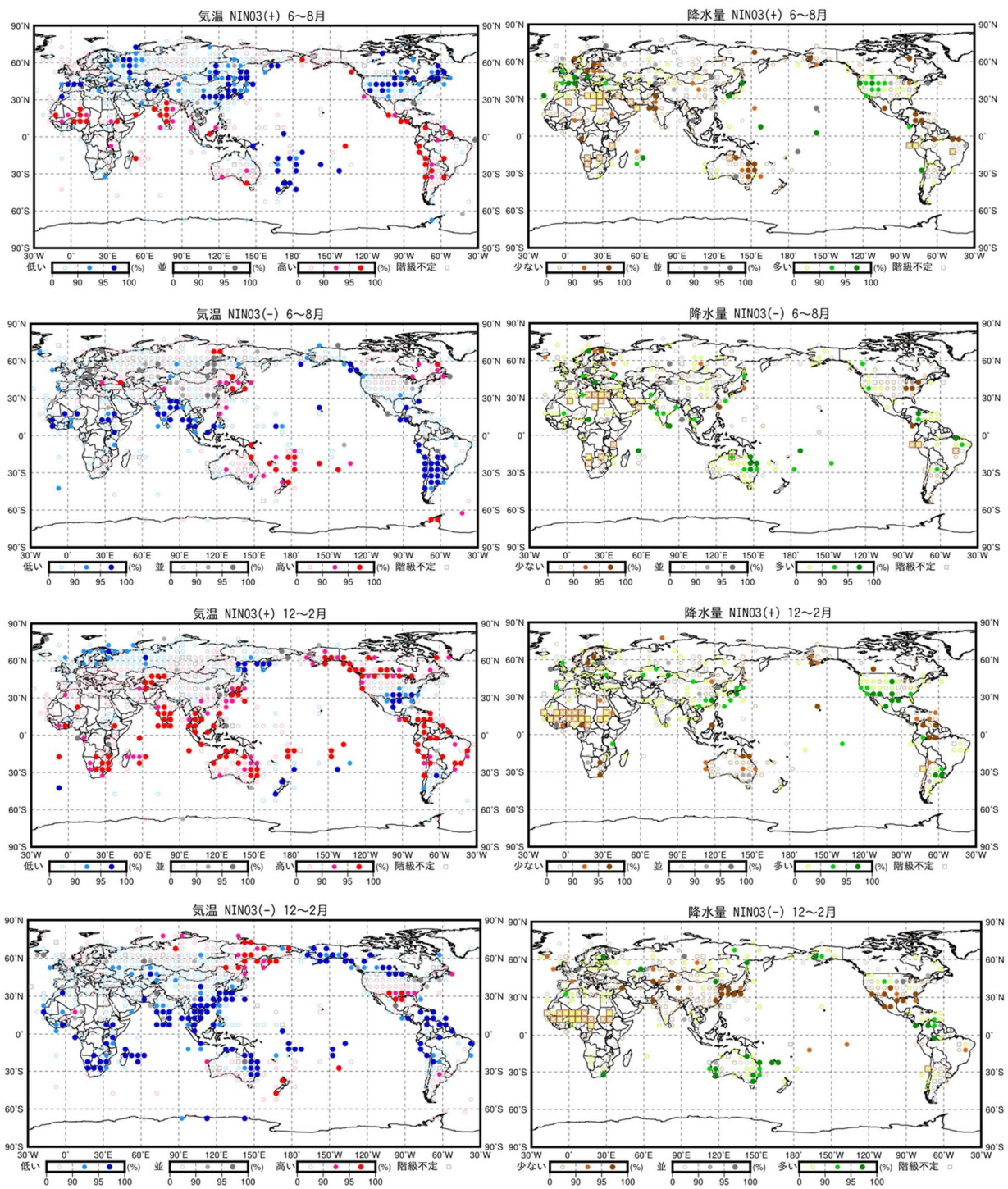


第 3.2-8 図 インド洋熱帯域の海面水温が低温時の世界の天候の特徴(格子点版)
 第 3.2-3 図と同じ。ただしインド洋熱帯域の海面水温が低温時の分布図。



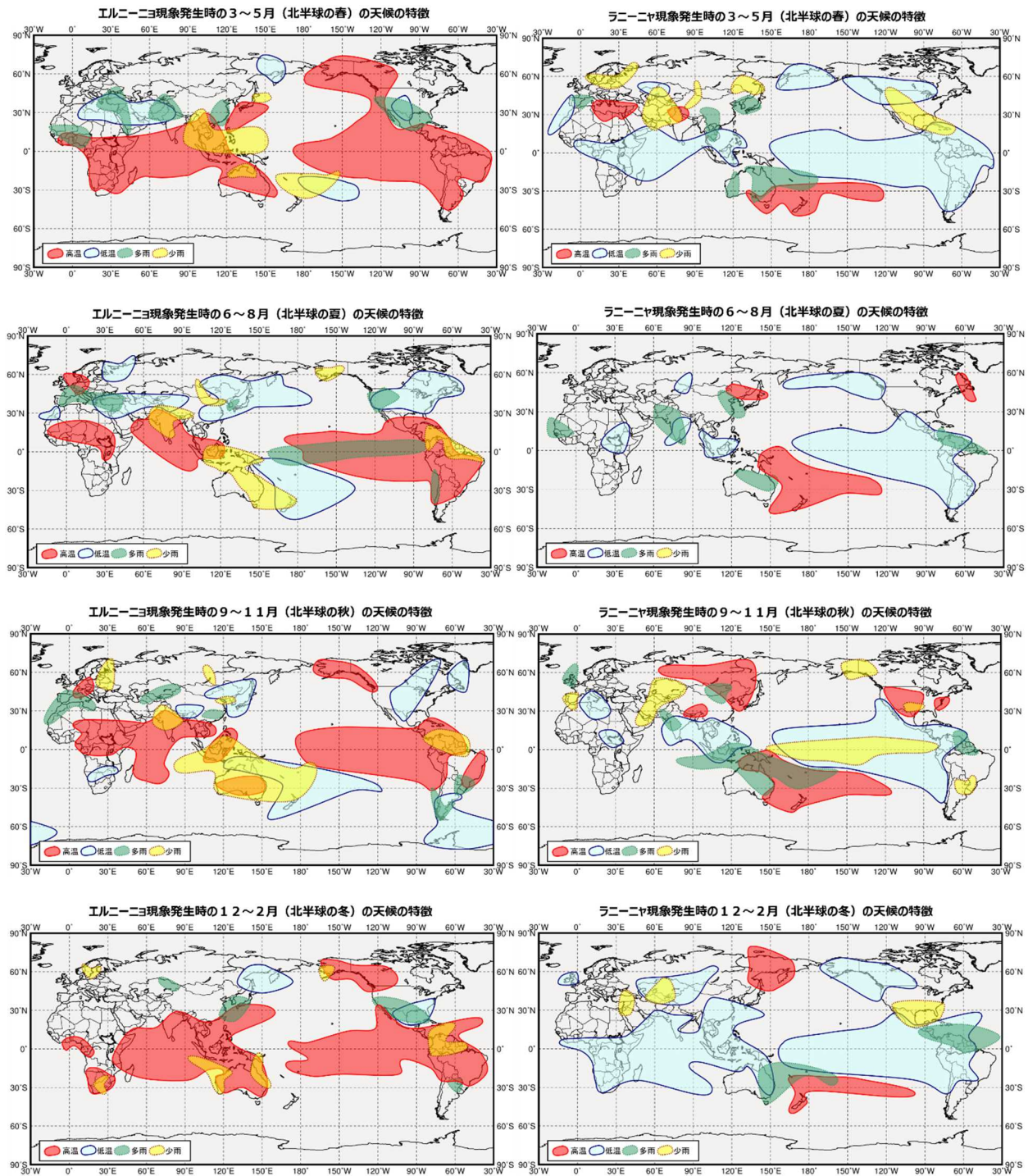
第 3.2-9 図 本調査での更新による統計資料の変化

上段から 6～8 月のエルニーニョ発生時(上段)、6～8 月のラニーニャ発生時(中上段)、12～翌年 2 月のエルニーニョ発生時(中下段)、及び 12～翌年 2 月のラニーニャ発生時(下段)の気温(左)並びに降水量(右)分布図の旧統計資料からの変化。本調査で新たに統計評価可能となった点を紫口、新たに評価不可能となった点を緑口で表示する。階級の統計的有意水準が本調査で上昇、低下した点をそれぞれの符号に応じた色付きの■、▼で示す。



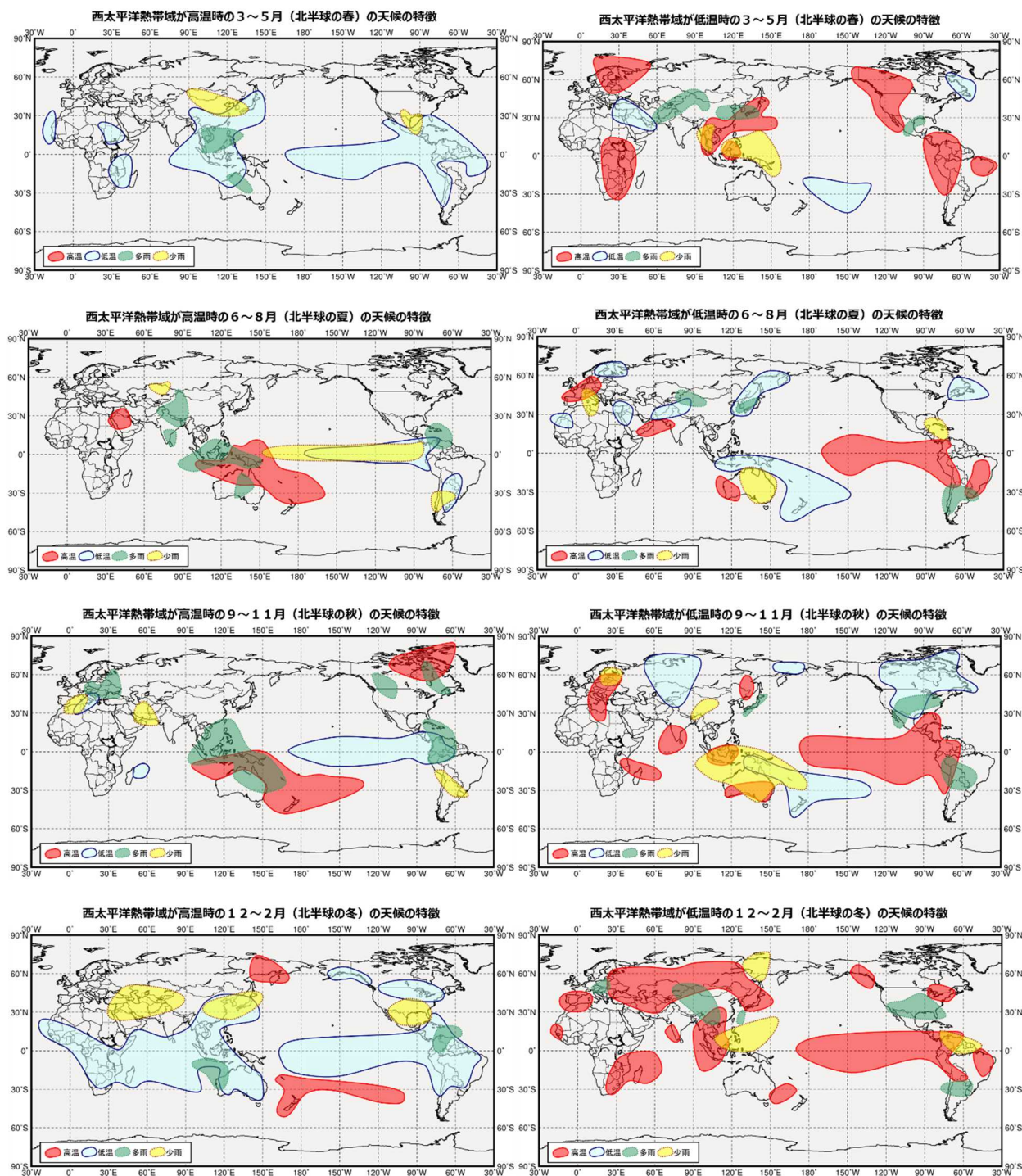
第 3.2-10 図 長期間データを用いた統計資料

統計期間を 121 年 (1901~2021 年) に拡張した分布図。上段から 6~8 月のエルニーニョ発生時 (上段)、6~8 月のラニーニャ発生時 (中上段)、12~翌年 2 月のエルニーニョ発生時 (中下段)、及び 12~翌年 2 月のラニーニャ発生時 (下段) の気温 (左) 並びに降水量 (右) 分布図を示す。



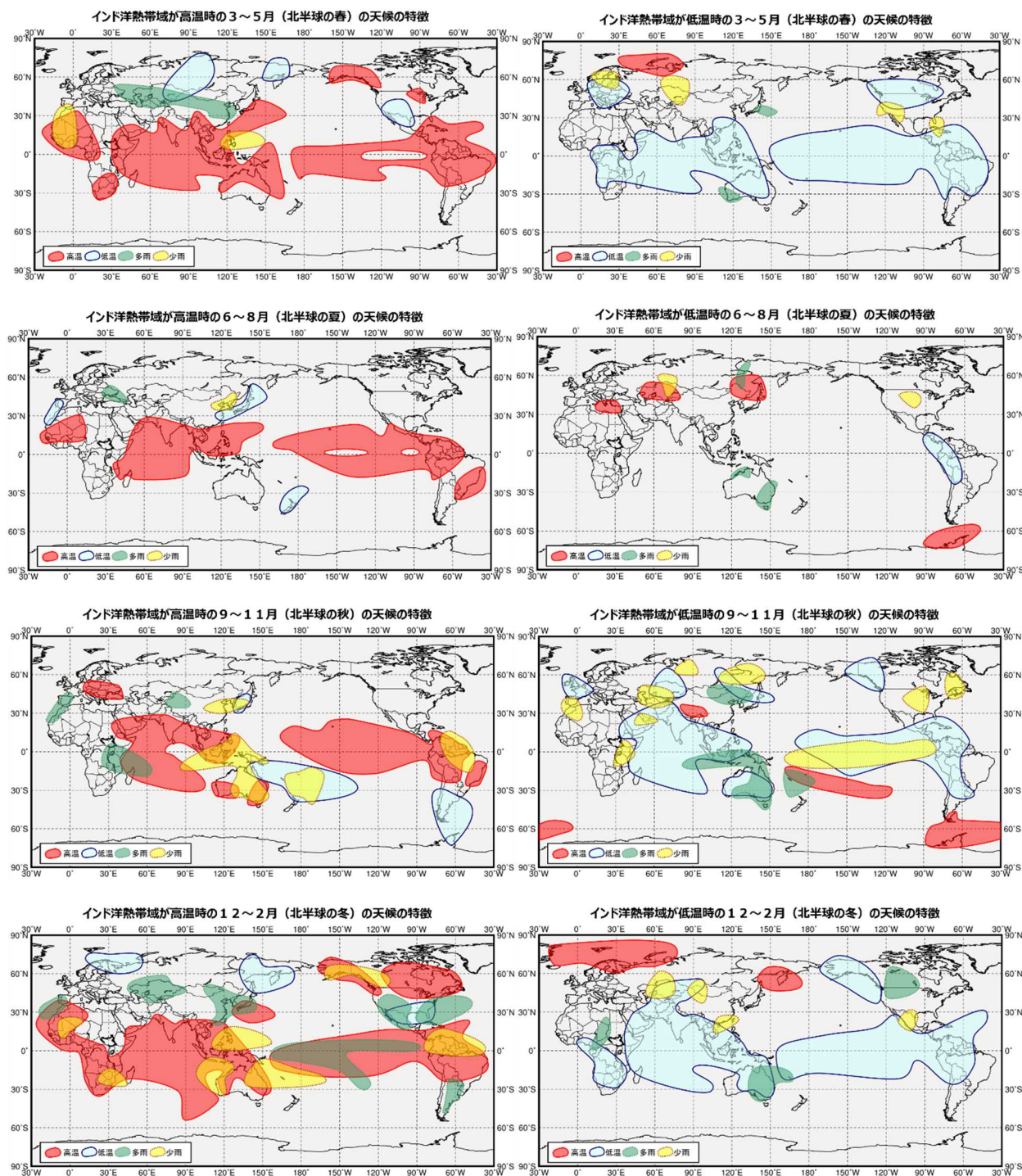
第 3.2-11 図 エルニーニョ及びラニーニャ現象発生時の世界の天候の特徴(領域図版)

上段から3～5月(上段)、6～8月(中上段)、9～11月(中下段)、及び12～翌年2月(下段)のエルニーニョ現象(左)並びにラニーニャ現象(右)発生時の領域図。



第 3.2-12 図 西太平洋熱帯域が高温時及び低温時の世界の天候の特徴(領域図版)

上段から3~5月(上段)、6~8月(中上段)、9~11月(中下段)、及び12~翌年2月(下段)の西太平洋熱帯域が高温時(左)並びに低温時(右)の領域図。



第 3.2-13 図 インド洋熱帯域が高温時及び低温時の世界の天候の特徴(領域図版)

上段から3~5月(上段)、6~8月(中上段)、9~11月(中下段)、及び12~翌年2月(下段)のインド洋熱帯域が高温時(左)並びに低温時(右)の領域図。

第 3.2-1 表 エルニーニョ現象発生時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	<p>(高温傾向) 東日本～フィリピン北部、オーストラリア東部～東南アジア～インド洋熱帯域～南部アフリカ～西アフリカ南部、南米～中米～中部太平洋熱帯域～カナダ西部～アラスカ</p> <p>(低温傾向) 東シベリア中部、インド北西部～北アフリカ北東部、米国中部及びその周辺、ポリネシア南部</p>	<p>(多雨傾向) 中国東部、インド北部～パキスタン、地中海東部～中東南西部、西アフリカ、米国南部～メキシコ</p> <p>(少雨傾向) 北日本及びその周辺、ミクロネシア西部～インドシナ半島、オーストラリア北部、メラネシア南部～ポリネシア南西部</p>
夏(6～8月)	<p>(高温傾向) カリマンタン島～南アジア～中東南東部、ヨーロッパ中部、東アフリカ西部～西アフリカ、南米～中米～中部太平洋熱帯域</p> <p>(低温傾向) 中央シベリア南東部～東アジア～カムチャツカ半島及びその周辺海域、中国西部～地中海東部、ロシア北西部、北アフリカ西部、カナダ東部～米国、メラネシア～ポリネシア南西部</p>	<p>(多雨傾向) 西日本～朝鮮半島南部、トルコ～ヨーロッパ西部、米国西部、太平洋熱帯域、ペルー南部～チリ中部</p> <p>(少雨傾向) 中央シベリア南部～中国東部、南アジア及びその周辺、アラスカ南部、南米北部及びその周辺、東南アジア南部～オーストラリア東部～ニュージーランド</p>
秋(9～11月)	<p>(高温傾向) フィリピン南部～ジャワ島、インドシナ半島北部～インド洋～中部アフリカ北部、ヨーロッパ中部、カナダ西部～アラスカ、南米北部～中部太平洋熱帯域、ブラジル東部、オーストラリア東部～南西部</p> <p>(低温傾向) 東シベリア南部～東アジア東部、中国南西部及びその周辺、東アフリカ南部～南部アフリカ北部、グリーンランド南西部～カナダ東部、カナダ北東部～メキシコ北部、南米南部～南極半島～南大西洋南部、ポリネシア南部～ニュージーランド～オーストラリア北部</p>	<p>(多雨傾向) 中国南東部、中央アジア東部～南部、地中海西部沿岸～北アフリカ西部、ブラジル南部及びその周辺、アルゼンチン南部及びその周辺</p> <p>(少雨傾向) 中央シベリア南部、中国東部～朝鮮半島、南アジア、ロシア西部～ヨーロッパ東部、南米北部及びその周辺、ポリネシア南西部～オーストラリア～東南アジア南部</p>
冬(12～翌2月)	<p>(高温傾向) 北西太平洋南部～東南アジア～南アジア南部～東アフリカ東部～インド洋～オーストラリア、中部アフリカ西部～西アフリカ南部、南部アフリカ、カナダ西部～アラスカ、南米中部～カリブ海諸国～中部太平洋熱帯域</p> <p>(低温傾向) ベーリング海西部～オホーツク海、米国南東部～メキシコ北部</p>	<p>(多雨傾向) 東アジア東部、カザフスタン東部、米国南部～メキシコ北部、アルゼンチン北部及びその周辺</p> <p>(少雨傾向) ヨーロッパ北部、南部アフリカ東部、アラスカ南西部、南米北部及びその周辺、メラネシア西部～オーストラリア東部、オーストラリア西部及びその周辺</p>

第 3.2-2 表 ラニーニャ現象発生時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	<p>(高温傾向) インド北部及びその周辺、地中海東部沿岸、ポリネシア南部～オーストラリア南部</p> <p>(低温傾向) 東シベリア東部～ベーリング海、東南アジア～北インド洋～西アフリカ南東部、中央アジア北西部及びその周辺、ヨーロッパ西部～北アフリカ西部、カナダ南部～北東太平洋沿岸、南米～中部太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) 東アジア東部、中国南部～インドシナ半島北部、ヨーロッパ南西部及びその周辺、メラネシア南部～オーストラリア中部、オーストラリア西部</p> <p>(少雨傾向) 東シベリア南部及びその周辺、中央シベリア南西部～中国西部、中央アジア西部～南アジア北西部、ロシア北西部～ヨーロッパ北部、米国北西部～カリブ海諸国</p>
夏(6～8月)	<p>(高温傾向) 北日本～中国北東部、カナダ東部、メラネシア～ニュージーランド～ポリネシア南部</p> <p>(低温傾向) 西シベリア南東部～中央アジア東部、インドネシア～インドシナ半島南部、インド東部及びその周辺、東アフリカ北西部及びその周辺、カナダ南西部～ベーリング海、南米南部～メキシコ～中部太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) 中国東部及びその周辺、南アジア及びその周辺、西アフリカ西部、南米北部及びその周辺、オーストラリア東部～北部</p> <p>(少雨傾向) 特になし</p>
秋(9～11月)	<p>(高温傾向) 東シベリア西部～中国北東部～西シベリア、中国南西部及びその周辺、米国東部、米国中部～西部、ポリネシア南部～オーストラリア北部</p> <p>(低温傾向) 東南アジア～南アジア南部、ヨーロッパ南部～北アフリカ中部、東アフリカ西部及びその周辺、南米西部沿岸～中部太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) モンゴル東部及びその周辺、インド西部～パキスタン南部、ヨーロッパ北西部、南米北東部及びその周辺、メラネシア南部～東南アジア南部～オーストラリア東部</p> <p>(少雨傾向) 中央アジア～中東東部、ヨーロッパ南西部及びその周辺、カナダ北西部～アラスカ東部、米国南部、アルゼンチン北部及びその周辺、太平洋熱帯域</p>
冬(12～翌2月)	<p>(高温傾向) 東シベリア中部及びその周辺、ポリネシア南部</p> <p>(低温傾向) 中央シベリア南西部～中央アジア、東アジア南部～東南アジア～オーストラリア東部～インド洋～西アフリカ南部、ヨーロッパ西部、カナダ西部～アラスカ、南米中部～カリブ海諸国～中部太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) 南米北部及びその周辺、メラネシア南部～オーストラリア東部</p> <p>(少雨傾向) 中央アジア中部及びその周辺、中東北西部及びその周辺、米国南部～メキシコ</p>

第 3.2-3 表 西太平洋熱帯域が高温時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	(高温傾向) 特になし	(多雨傾向) 東南アジア北部、オーストラリア北西部～中部
	(低温傾向) 東アジア東部～東南アジア～オーストラリア北西部、北アフリカ南部、東アフリカ南部、北アフリカ西部～西アフリカ西部、南米北部～中部太平洋熱帯域	(少雨傾向) 西日本～モンゴル、米国南部～メキシコ東部
夏(6～8月)	(高温傾向) サウジアラビア及びその周辺、ポリネシア南西部～東南アジア南部	(多雨傾向) 中国西部～インド北部、インド南東部及びその周辺、カリブ海諸国～南米北部、メラネシア西部～東南アジア南部、オーストラリア中部
	(低温傾向) 南米北西部沿岸～中部太平洋熱帯域、ブラジル南西部～アルゼンチン中部	(少雨傾向) カザフスタン北部及びその周辺、太平洋熱帯域、アルゼンチン中部～チリ中部
秋(9～11月)	(高温傾向) グリーンランド北西部～カナダ北部、ポリネシア南部～東南アジア南部	(多雨傾向) 東アジア南部～東南アジア～オーストラリア北東部、ヨーロッパ東部及びその周辺、カナダ東部、カナダ南西部～米国北西部、カリブ海諸国～南米北部
	(低温傾向) ヨーロッパ南部～アルジェリア北東部、マダガスカル北東、南米北西部～中部太平洋熱帯域	(少雨傾向) 中東東部及びその周辺、ヨーロッパ南部～アルジェリア北部、ペルー南部～ウルグアイ
冬(12～翌2月)	(高温傾向) 東シベリア中部及びその周辺、ニュージーランド～ポリネシア南東部	(多雨傾向) 東南アジア南部～オーストラリア北西部、カリブ海南部～コロンビア
	(低温傾向) 東アジア東部～東南アジア～オーストラリア～インド洋熱帯域～西アフリカ、米国北東部～カナダ南西部、アラスカ湾沿岸、南米中部～カリブ海諸国～中部太平洋熱帯域	(少雨傾向) 東アジア東部、中国西部～中東北部、米国南部及びその周辺

第 3.2-4 表 西太平洋熱帯域が低温時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	<p>(高温傾向) 日本～インドシナ半島、カリマンタン島及びその周辺、ロシア北西部～ヨーロッパ北東部、東アフリカ北西部～南部アフリカ東部、カナダ中部～北東太平洋沿岸、中米南部～チリ北部、ブラジル北東部</p> <p>(低温傾向) オマーン～トルコ、カナダ東部、ポリネシア南部</p>	<p>(多雨傾向) 西日本～中国東部、モンゴル西部～中東東部、米国南部～メキシコ南部</p> <p>(少雨傾向) インドシナ半島、メラネシア西部～カリマンタン島</p>
夏(6～8月)	<p>(高温傾向) インド西部～オマーン、ヨーロッパ中部～西部、ブラジル東部～ウルグアイ、南米北西部～中部太平洋熱帯域、オーストラリア西部</p> <p>(低温傾向) カムチャツカ半島～中国東部、中国西部～アフガニスタン、中東北西部、ロシア北西部～ヨーロッパ北部、北アフリカ西部及びその周辺、カナダ東部及びその周辺、ニュージーランド～メラネシア～東南アジア南部</p>	<p>(多雨傾向) 日本海周辺、中国北西部及びその周辺、南米南部</p> <p>(少雨傾向) ヨーロッパ南部～リビア北西部、カリブ海周辺、オーストラリア東部～中部</p>
秋(9～11月)	<p>(高温傾向) 東シベリア南西部～中国北東部、インドネシア及びその周辺、インド南部及びその周辺、ヨーロッパ東部～リビア、東アフリカ中部～マダガスカル、南米北西部～中部太平洋熱帯域、オーストラリア南部</p> <p>(低温傾向) 東シベリア東部、西シベリア～中央アジア東部、カナダ東部～米国南部、ポリネシア南部～ニュージーランド～オーストラリア北部</p>	<p>(多雨傾向) 日本、米国東部～メキシコ北西部、南米中部</p> <p>(少雨傾向) 中国中部、ヨーロッパ北東部及びその周辺、メラネシア南部～オーストラリア～東南アジア南部</p>
冬(12～翌2月)	<p>(高温傾向) 日本～中央シベリア～ヨーロッパ東部、東アジア南部～東南アジア南西部、インド南部、ヨーロッパ南西部～北アフリカ北西部、西アフリカ西部、南部アフリカ東部～マダガスカル、カナダ南東部～米国北東部、アラスカ湾沿岸、ブラジル東部、南米北西部～中部太平洋熱帯域、オーストラリア東部及びその周辺</p> <p>(低温傾向) 特になし</p>	<p>(多雨傾向) 南西諸島、中国南部～中央アジア東部、ヨーロッパ中部、米国南東部～西部、アルゼンチン北部及びその周辺</p> <p>(少雨傾向) 東シベリア中部、ミクロネシア西部～東南アジア北東部、南米北部及びその周辺</p>

第 3.2-5 表 インド洋熱帯域が高温時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	<p>(高温傾向) 日本～東南アジア～インド洋～オーストラリア北部～ミクロネシア南部、北アフリカ南部～中部アフリカ西部、南部アフリカ～東アフリカ南部、米国北部、カナダ西部～アラスカ、南米中部～カリブ海諸国～中部太平洋熱帯域</p> <p>(低温傾向) 東シベリア中部、中央シベリア西部～中央アジア北東部、米国南西部～メキシコ北部</p>	<p>(多雨傾向) 中国東部～ロシア南西部</p> <p>(少雨傾向) ミクロネシア西部～東南アジア北東部、北アフリカ西部～西アフリカ西部</p>
夏(6～8月)	<p>(高温傾向) 東南アジア北東部～南アジア～インド洋、北アフリカ南西部～西アフリカ、南米北西部～中部太平洋熱帯域、ブラジル南東部～ウルグアイ</p> <p>(低温傾向) オホーツク海南部～中国東部、ヨーロッパ南西部～北アフリカ西部、ニュージーランド及びその周辺</p>	<p>(多雨傾向) ヨーロッパ東部及びその周辺</p> <p>(少雨傾向) 中国北東部及びその周辺</p>
秋(9～11月)	<p>(高温傾向) 東南アジア～南アジア～中東南部～南インド洋、ヨーロッパ東部～中部、南米北西部～中部太平洋熱帯域、ブラジル東部、オーストラリア南東部、オーストラリア南西部</p> <p>(低温傾向) 日本海周辺、南米南部～南極半島、ポリネシア南部～オーストラリア北東部</p>	<p>(多雨傾向) 中国西部、ヨーロッパ南西部～北アフリカ西部、東アフリカ中部及びその周辺</p> <p>(少雨傾向) 東日本～中国東部、東南アジア南部～オーストラリア南東部、南米北部、ポリネシア南西部～メラネシア南東部</p>
冬(12～翌2月)	<p>(高温傾向) 東日本～北西太平洋南部、オーストラリア北部～東南アジア～インド洋～南部アフリカ～北アフリカ中部、カナダ東部～中部、カナダ西部～アラスカ、南米中部～太平洋熱帯域</p> <p>(低温傾向) オホーツク海及びその周辺、ロシア北西部～ヨーロッパ北部、米国南部～メキシコ北部</p>	<p>(多雨傾向) 東日本～中国南東部～モンゴル東部、中央アジア及びその周辺、ヨーロッパ南西部～北アフリカ北西部、米国南東部及びその周辺、米国南西部～メキシコ中部、アルゼンチン東部及びその周辺、太平洋熱帯域～ポリネシア南部</p> <p>(少雨傾向) ミクロネシア西部～東南アジア北東部、東南アジア南西部～オーストラリア南西部、北アフリカ南西部～西アフリカ北部、東アフリカ南部及びその周辺、カナダ西部～アラスカ南部、南米北部及びその周辺、ポリネシア南西部～オーストラリア北東部</p>

第 3.2-6 表 インド洋熱帯域が低温時の世界の天候の特徴

季節(北半球)	気温	降水量
春(3～5月)	<p>(高温傾向) 西シベリア北西部～ロシア北西部</p> <p>(低温傾向) 中国南東部～東南アジア～オーストラリア～インド洋～中部アフリカ、ヨーロッパ東部～中部、カナダ南部～米国北西部、南米中部～中米南部～太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) 東日本及びその周辺、オーストラリア南西部</p> <p>(少雨傾向) 西シベリア南部～中央アジア北東部、ヨーロッパ北部、米国南東部及びその周辺、米国南西部</p>
夏(6～8月)	<p>(高温傾向) 東シベリア南西部～中国北東部～北日本、中央アジア、地中海東部沿岸、南極半島及びその周辺</p> <p>(低温傾向) 中米南部～ペルー</p>	<p>(多雨傾向) 東シベリア西部、オーストラリア東部、オーストラリア北西部</p> <p>(少雨傾向) 西シベリア南部～中央アジア北部、米国北部</p>
秋(9～11月)	<p>(高温傾向) 中国南西部、ポリネシア南部～メラネシア南部、アルゼンチン南部～南極半島～南大西洋南部</p> <p>(低温傾向) 中央シベリア南東部～北日本、西シベリア南部～中央アジア北東部、東南アジア～南アジア～中東南部～インド洋、ヨーロッパ西部、カナダ西部～アラスカ東部、南米中部～中米～中部太平洋熱帯域、オーストラリア</p>	<p>(多雨傾向) 中国北東部～モンゴル東部、東南アジア南部～オーストラリア南東部、メラネシア南部～ポリネシア南西部</p> <p>(少雨傾向) 東シベリア西部～中央シベリア東部、西シベリア北東部、中央アジア中部～西部、イラン南部～サウジアラビア東部、ヨーロッパ南西部～北アフリカ西部、東アフリカ中部、カナダ東部、米国中部、太平洋熱帯域</p>
冬(12～翌2月)	<p>(高温傾向) ベーリング海西部～オホーツク海、ロシア北西部北極海沿岸～グリーンランドの東</p> <p>(低温傾向) モンゴル西部～中東東部～南アジア～インド洋～東南アジア～オーストラリア、中部アフリカ中部～東アフリカ南部～南部アフリカ中部、カナダ西部～アラスカ、南米中部～カリブ海諸国～中部太平洋熱帯域</p>	<p>(多雨傾向) 中部アフリカ北部、カナダ中部～米国北西部、メラネシア南部～オーストラリア南東部</p> <p>(少雨傾向) 中国南東部及びその周辺、モンゴル西部及びその周辺、西シベリア南西部～中央アジア北部、メキシコ北部</p>

3.3 エルニーニョ・ラニーニャ現象と日本の天候の特徴¹

3.3.1 はじめに

エルニーニョ/ラニーニャ現象に代表される熱帯の海洋変動は日本の天候に様々な影響を及ぼす。これまで、気象庁 55 年長期再解析(JRA-55: Kobayashi et al. 2015)の期間に合わせて、統計期間を 1958～2012 年(55 年間)として東部太平洋赤道域(NINO.3)、西太平洋熱帯域(NINO.WEST)及びインド洋熱帯域(IOBW)の海面水温変動に伴う日本の天候の特徴について、調査が行われてきた(田中ほか 2015)。今般、気象庁第 3 次長期再解析(JRA-3Q: 気象庁 2021; 2022; 2023)が整備されたこと、並びに監視指数に使用する海面水温データを全球日別海面水温解析値(MGDSST, 栗原ほか, 2006)及び COBE-SST2(Hirahara et al., 2014)としたことを踏まえ、統計期間を 1948～2021 年(74 年間)に拡大し、改めて統計を行った。なお、統計手法や統計的な有意性の検定方法については、統計期間を除いては田中ほか(2015)と同様である。

3.3.2 調査方法

統計期間は 1948～2021 年(冬は 1947/48～2020/21 年)の 74 年間とし、天候の特徴を示す気象要素として、平均気温、降水量、日照時間を取り上げ、季節現象として、梅雨入り・明けの時期を取り上げた。また、対象とする平均期間は 3 か月平均と梅雨の時期を用いた。各現象が対象期間に発生しているか否かの判定は、次の通り実施した。3 か月平均の特徴においては、中央月(1～3 月なら 2 月)が以下に述べる各監視海域の現象発生条件を満たしている場合とし、梅雨の時期²においては、対象となる 2 か月のいずれかの月が条件を満たしている場合とした。

NINO.3 の海面水温の基準値との差の 5 か月移動平均が $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上(-0.5°C 以下)の状態が 6 か月継続したときをエルニーニョ現象(ラニーニャ現象)とした。また、NINO.WEST および IOBW の海面水温の基準値との差の 5 か月移動平均が 6 か月以上続けて+

0.15°C 以上(-0.15°C 以下)となった場合を、西太平洋熱帯域およびインド洋熱帯域が高温(低温)であるとした。海域と基準値の定義については、第 3 章を参照。

天候の特徴を示す気象要素は、各地点の平年値(1991～2020 年の 30 年平均)との差(比)を地域で平均した値をもとに、1948 年～2021 年の 74 年間の出現率が等しくなるよう階級(気温は「低い」、「並」、「高い」、梅雨入り・明けの時期は「早い」、「並」、「遅い」、その他の要素は「少ない」、「並」、「多い」)を区分したが、トレンドが明瞭な気温については、1948～2021 年の地域平均値のトレンドを直線で近似し、そのトレンドからの差をもとに 1948～2021 年の 74 年間の出現率が等しくなるよう階級を区分した。また、梅雨入り・明けの時期が「特定しない」場合は、これらのどの階級にも属さないとして別に示した。階級区分値は気象観測統計指針(気象庁 2005)の考え方を適用して求めた。

有意性の検定は、世界の天候の特徴(第 3.2 節)と同様に、信頼度水準 10%の片側二項検定を行った。例えば、気温では「高い(低い)」階級が出現する割合が有意に大きい場合「高い(低い)傾向がある」とした。また、「低い(高い)」階級が出現する割合が有意に小さく、かつ「並」の階級が出現する割合が有意に大きいとはならない場合、「並か高い(低い)傾向がある」とした。気温以外の要素についても同様の処理を行い、梅雨の入り・明けについては「特定できない」の事例を除いて検定した。

3.3.3 統計結果

第 3.3.1 図～第 3.3.6 図に 4 季節における各気象要素の階級別の出現率を、第 2.3.7 図と第 2.3.8 図に梅雨入り・明けの時期の階級別出現率を示す。また、図の中で統計的に有意な傾向が見られる地域名には赤い帯をかけ、有意な傾向が見られる階級は太黒枠で囲って示した。以下に、それぞれの現象発生時の大まかな特徴(統計的に有意でないものも含む)を記述する。地域毎の詳細は、図を参照されたい。

(1) エルニーニョ現象発生時

¹ 岩崎 聡子

² 梅雨の時期は沖縄・奄美では 5・6 月、その他の地域(北日本は北海道を含まない)では 6・7 月とした。

冬と春は全国的に気温が並か高くなる傾向があり、夏と秋は北・東・西日本で気温が並か低くなる傾向がある。また、冬は東日本太平洋側と西日本で寡照の傾向が見られ、夏は北・東・西日本で寡照の傾向が見られる。

さらに、全国的に梅雨明けが並か遅くなる傾向を示す地方が多い。

(2) ラニーニャ現象発生時

春と夏に全国的に気温が並か高くなる傾向があるが、統計的に有意な地域は少ない。春は北日本太平洋側と東日本で多雨・寡照の傾向が見られる。

(3) 西太平洋熱帯域高温時

冬と春に全国的に気温が低い傾向があり、東・西日本を中心に少雨・多照の傾向も見られる。秋は沖縄・奄美で気温が高い傾向があり、西日本と沖縄・奄美で寡照の傾向がある。

(4) 西太平洋熱帯域低温時

冬と春に北・東・西日本を中心に気温が高い傾向がある。また、冬は全国的に多雨の傾向が見られ、北・西日本では寡照の傾向もある。春は東日本太平洋側と西日本で寡照の傾向がある。また、夏と秋は気温の傾向は小さいが、夏は東・西日本と沖縄・奄美で、秋は北・東・西日本太平洋側で多雨の傾向がある。

さらに、全国的に梅雨明けが並か遅くなる傾向を示す地方が多い。

(5) インド洋熱帯域高温時

冬は東・西日本で気温が高くなる傾向がある。春は全国的に気温が並か高くなる傾向が見られ、北日本では少雨・多照の傾向、西日本では多雨・寡照の傾向がある。夏は北・東・西日本では気温が並か低い傾向で、北・東日本は寡照の傾向も見られるが、沖縄・奄美では気温が並か高い傾向がある。秋は全国的に気温が並か低くなる傾向が見られ、東・西日本を中心に少雨・多照の傾向が見られる。

(6) インド洋熱帯域低温時

全国的に気温の傾向は小さいが、夏は北日本で高温・多照の傾向がある。

さらに、全国的に梅雨明けが並か早くなる傾向を示す地方が多い。

3.3.4 まとめ

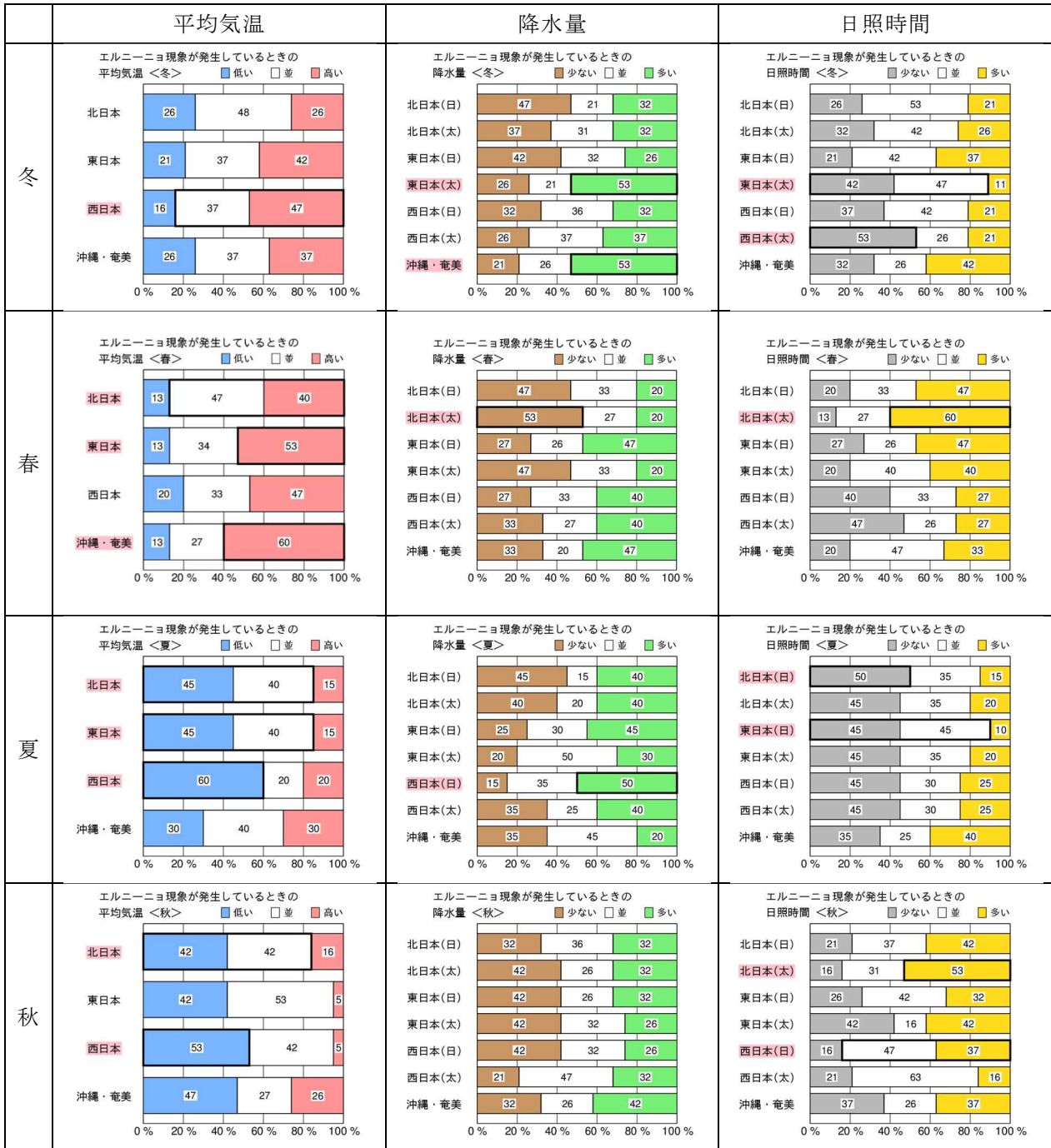
エルニーニョ現象等の熱帯域の海面水温の変動に伴う日本の天候の特徴について、新たな再解析に基づき、さらにこれまでの統計期間を拡大して統計調査を行った。より長い統計期間に対して調査を行ったことで、これまでより確からしい特徴が示されたと考える。これまで認識されていたような、各現象発生時の日本の天候の大まかな特徴に変わりはないが、統計的に有意な地域の変更等が見られた(図略)。

なお、本調査では74年間の出現率から階級を区分し、さらに気温はデトレンドして解析を行っているため、天候の傾向を最近の気候に適用する際には注意を要する。

参考文献

- 気象庁, 2005: 気象観測統計指針, 126-128.
- 気象庁, 2021: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和2年), 気象庁数値予報開発センター, 115-124.
- 気象庁, 2022: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁数値予報開発センター, 133-138.
- 気象庁, 2023: 気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の本計算進捗と品質評価. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁数値予報開発センター, 120-127.
- 栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 衛星マイクロ波放射計, 衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析. 測候時報, 73, S1-S18.
- 田中基裕, 竹川元章, 野津原昭二, 2005: エルニーニョ/ラニーニャ現象と日本の天候. 平成27年度季節予報研修テキスト, 気象庁大気海洋部, 152-163.
- Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-Scale Sea Surface Temperature Analysis and Its Uncertainty, *J. Climate*, **27**, 57-75.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.

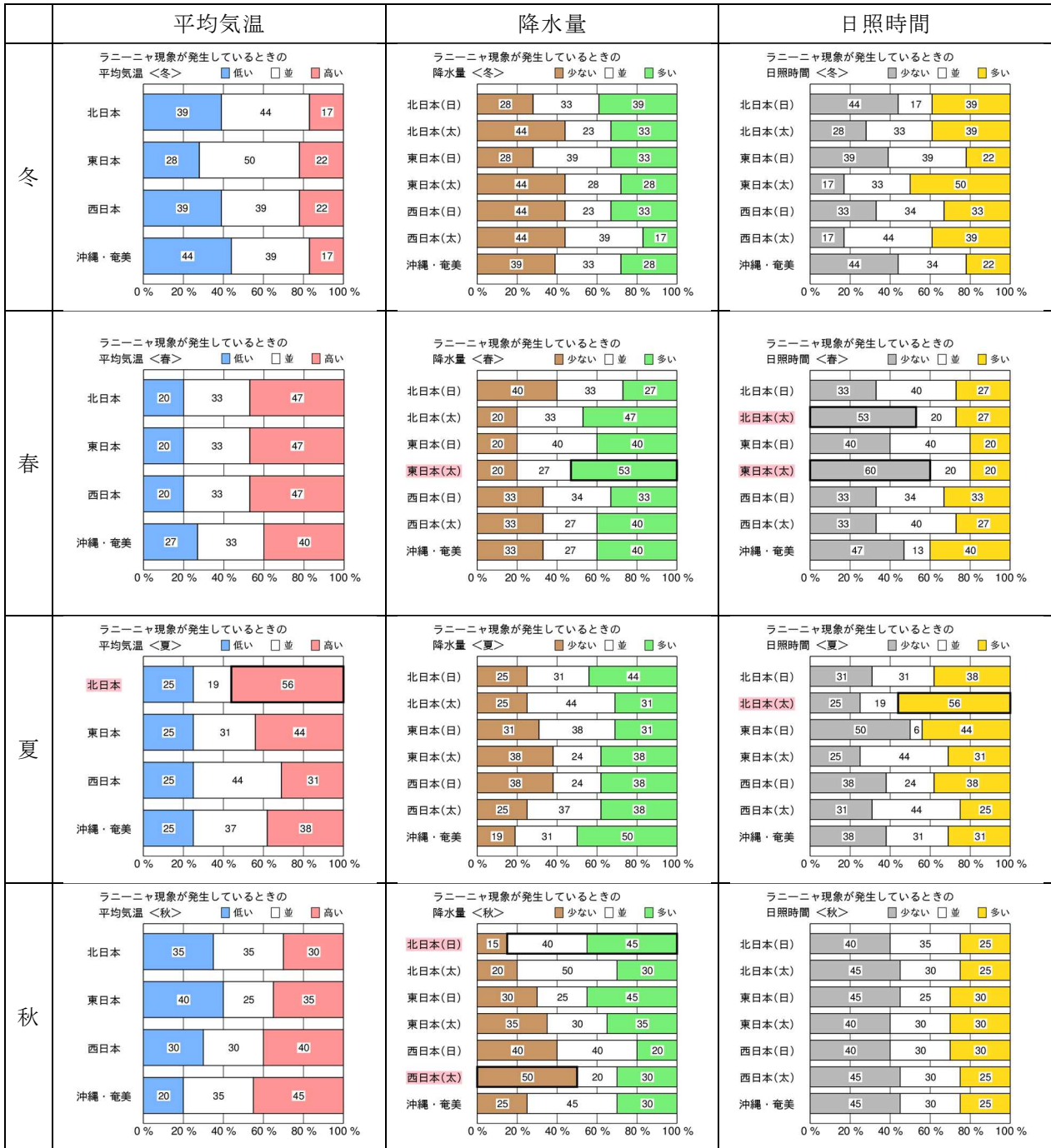
エルニーニョ現象発生時



第 3.3.1 図 エルニーニョ現象発生時の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

グラフ内の数字は出現率(%)。統計的に有意な傾向が見られる地域名には赤い帯をかけ、有意な傾向が見られる階級は黒太枠で囲って示した。

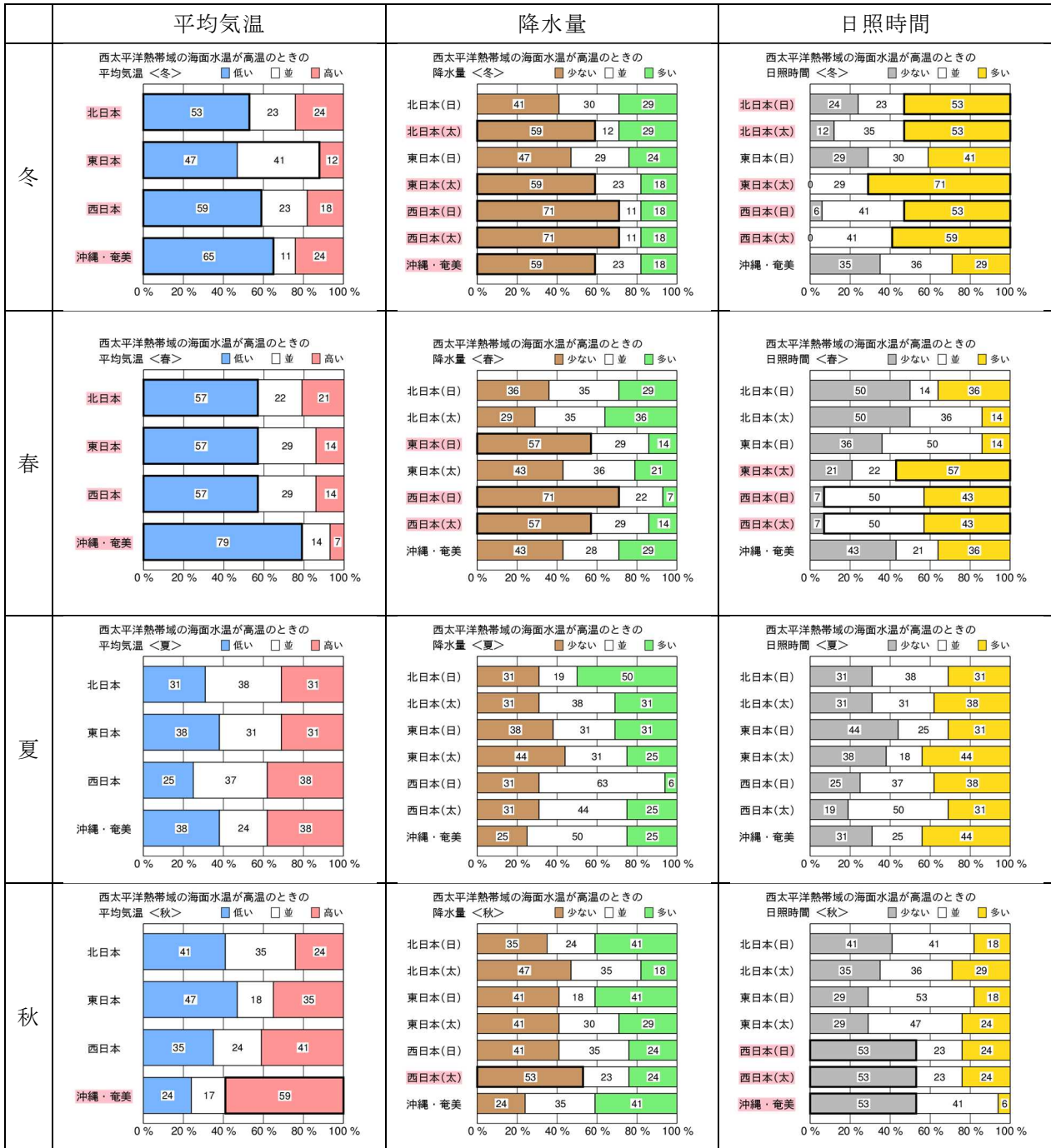
ラニーニャ現象発生時



第 3.3.2 図 ラニーニャ現象発生時の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

第 3.3.1 図と同じ。

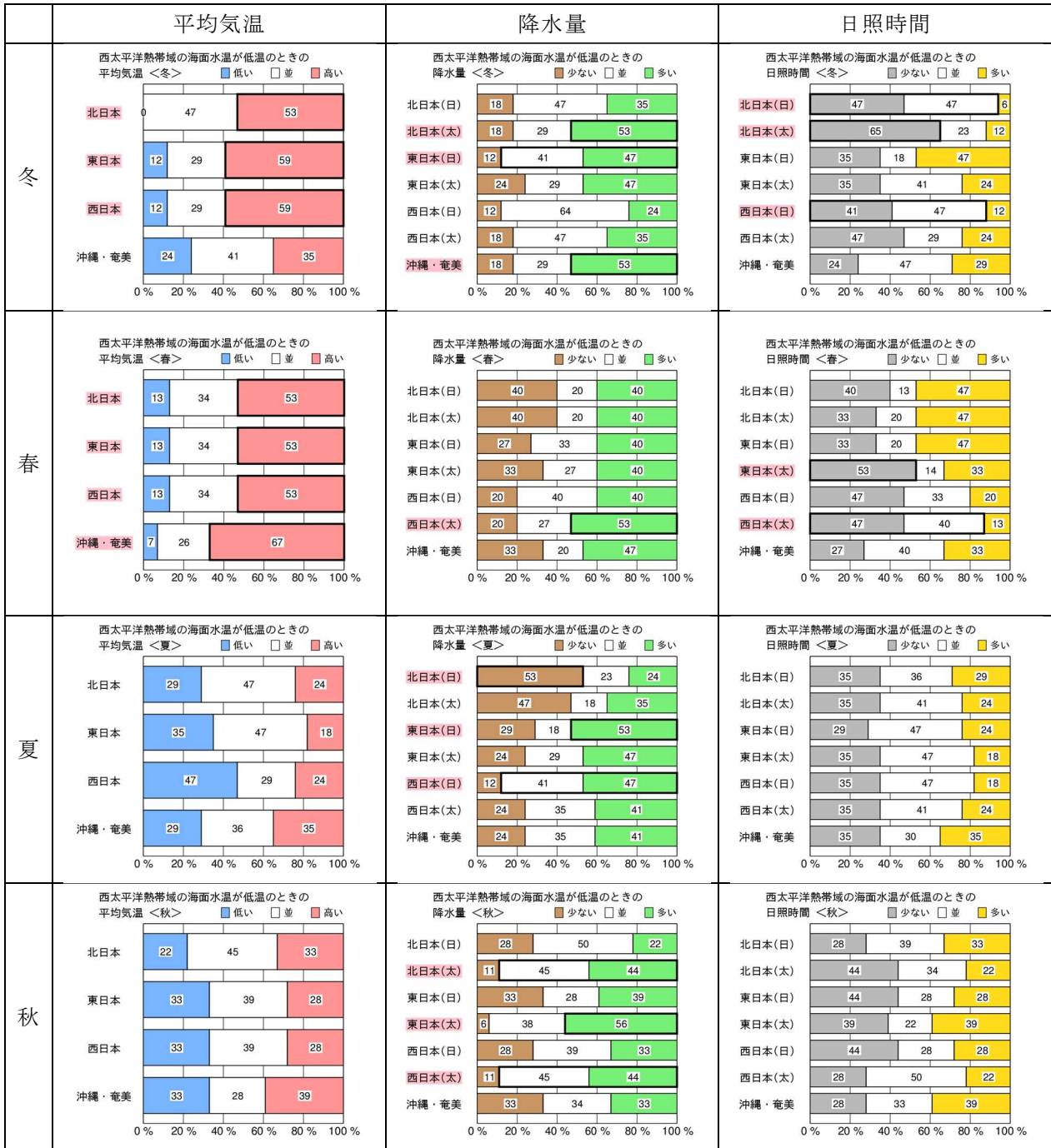
西太平洋熱帯域高温時



第 3.3.3 図 西太平洋熱帯域高温の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

第 3.3.1 図と同じ。

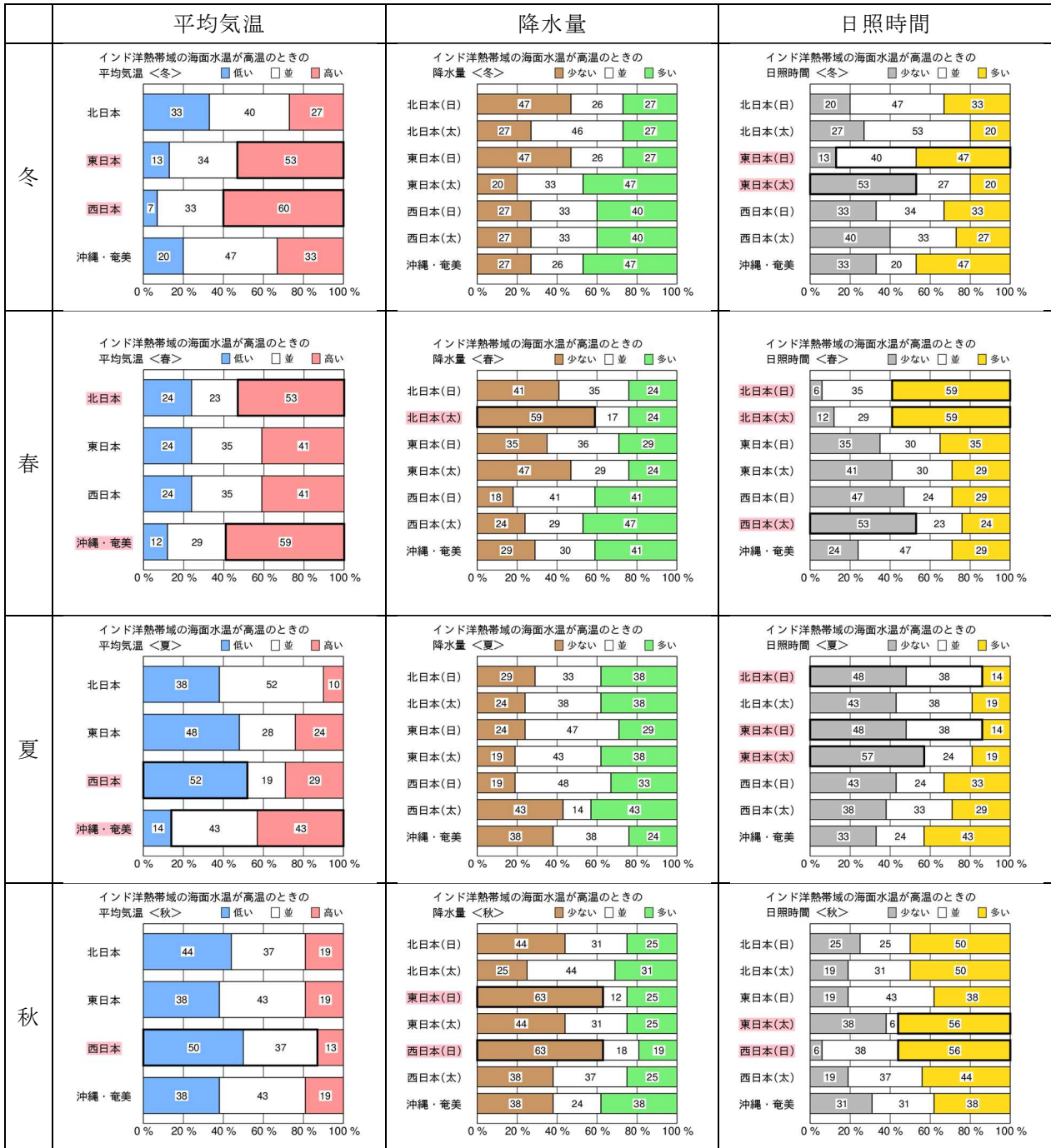
西太平洋熱帯域低温時



第 3.3.4 図 西太平洋熱帯域低温時の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

第 3.3.1 図と同じ。

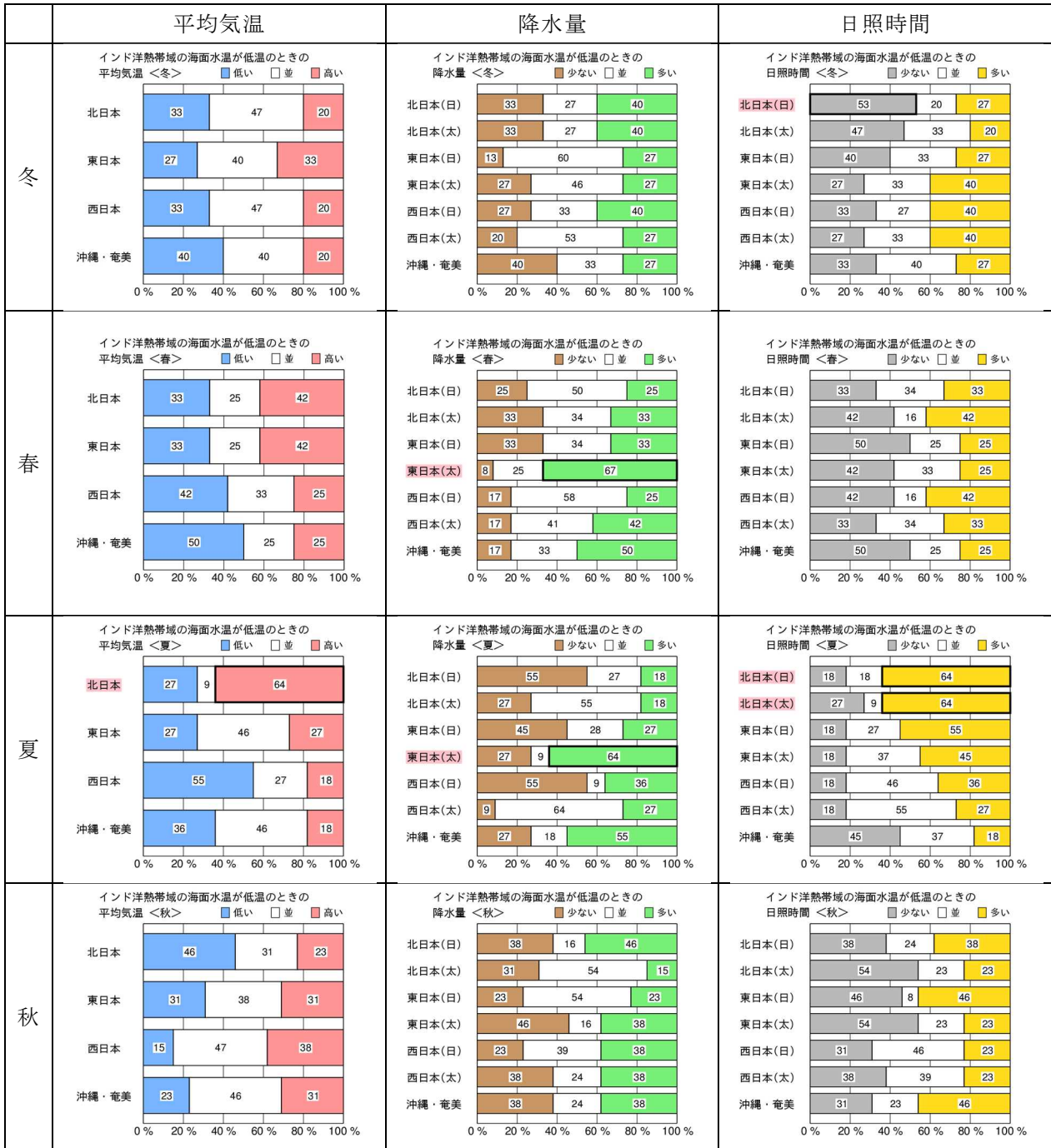
インド洋熱帯域高温時



第 3.3.5 図 インド洋熱帯域高温時の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

第 3.3.1 図と同じ。

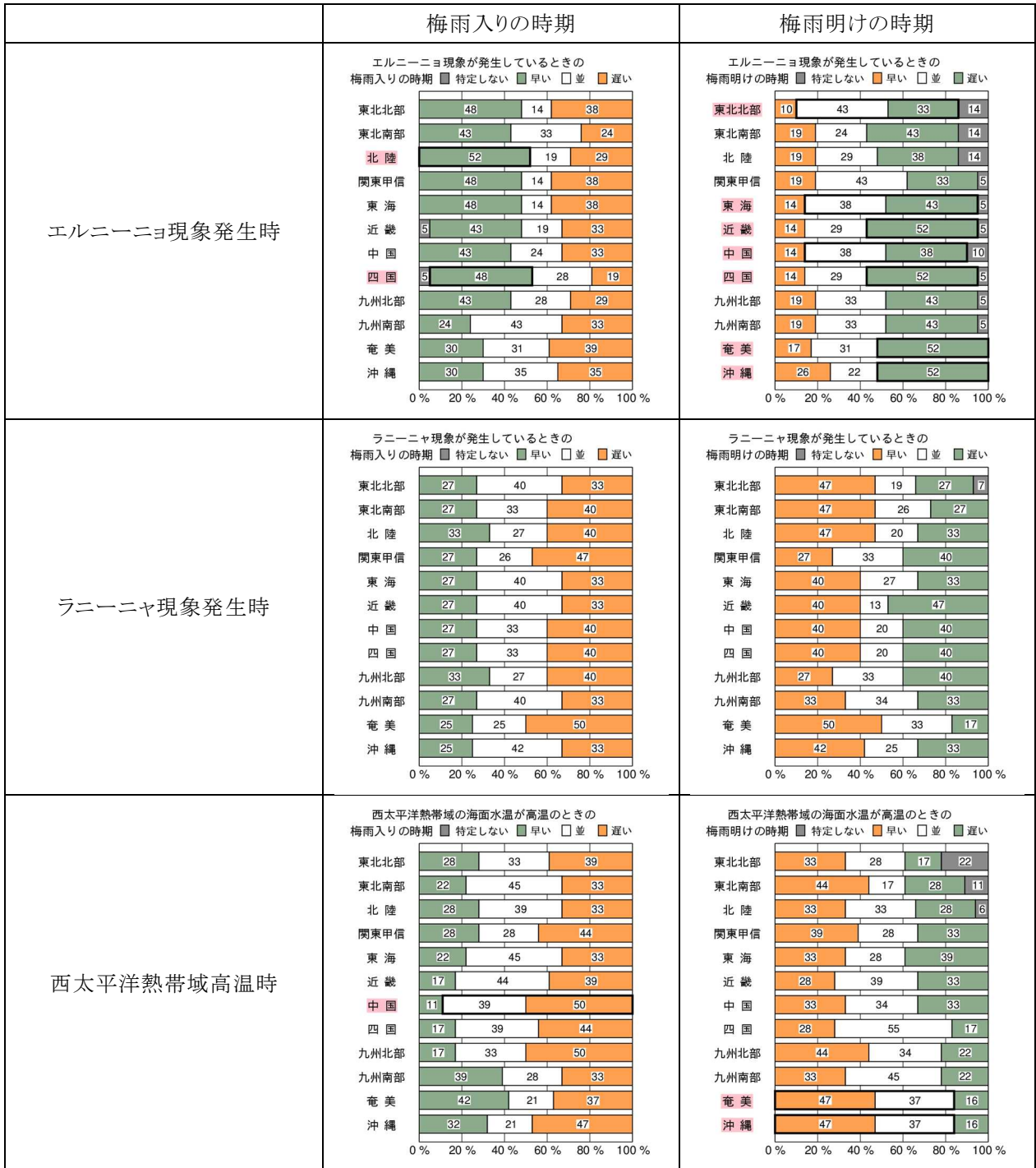
インド洋熱帯域低温時



第 3.3.6 図 インド洋熱帯域低温時の天候の出現率(冬・春・夏・秋)

第 3.3.1 図と同じ。

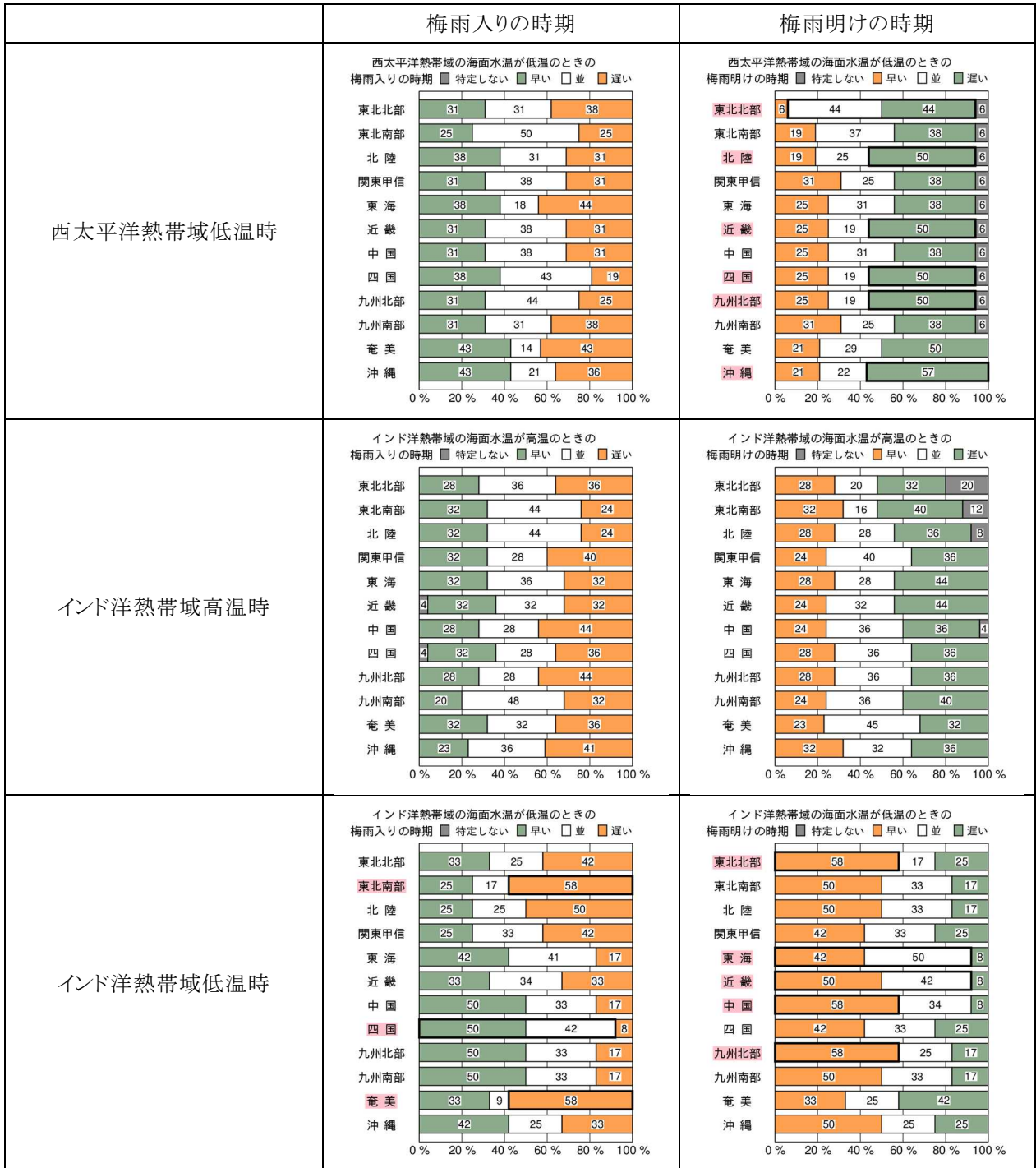
梅雨入り・明けの時期



第 3.3.7 図 梅雨入り・明けの時期(エルニーニョ現象発生時、ラニーニャ現象発生時、西太平洋熱帯域高温時)

第 3.3.1 図と同じ。

梅雨入り・明けの時期



第 3.3.8 図 梅雨入り・明けの時期(西太平洋熱帯域低温時、インド洋熱帯域高温時、インド洋熱帯域低温時)

第 3.3.1 図と同じ。