

北海道・東北地域の気候変動影響調査 バイアス補正の報告書

1. バイアス補正を実施した調査に関して

1.1. 1-2 高水温がホタテガイ及びワカメに与える影響調査

ホタテガイ及びワカメは、陸奥湾やリアス式海岸等の内湾の多い北海道・東北地域における養殖業の中で、重要な水産資源となっている。気候変動に伴う水温上昇により、北海道・東北地域においても高水温による被害が発生することが予想される。そこで、高水温がホタテガイ及びワカメに与える影響や栄養塩濃度に与える影響の知見を整理し、水温及び栄養塩の変化がホタテガイ及びワカメに与える影響の評価、適応策の検討に資することを目的として本調査を実施した。

1.2. 1-3 水温の上昇等によるシロザケ等の漁獲量への影響調査

シロザケ(サケ)は、北海道・東北地域の重要な水産資源となっており、ふ化放流事業は資源の維持・増大のために大きな役割を担っている。近年、サケの回帰率減少が問題となっており、その要因の一つとして放流時の沿岸水温による影響が報告されている。今後、気候変動に伴う沿岸域の水温上昇により、サケ放流種苗の生産放流工程に影響が生じ、適切な放流稚魚のサイズや時期を維持できなくなる可能性が考えられる。現在のサケの放流適期の整理や、サケ放流時の水温がサケの回帰率へ与える影響について調査を行い、将来の海水温環境等に合わせたふ化放流事業を実施するために必要となる適応策について検討する事を目的として本調査を実施した。

2. 将来の海況の確認

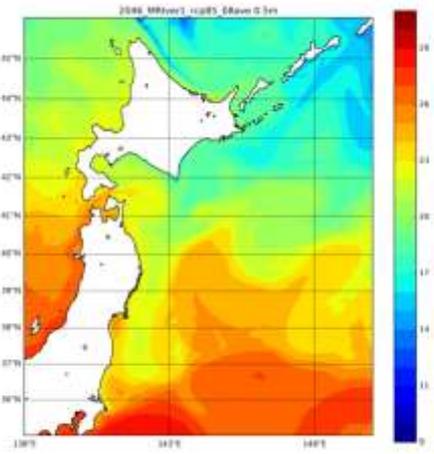
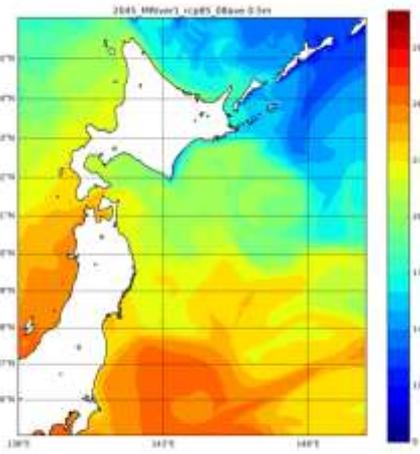
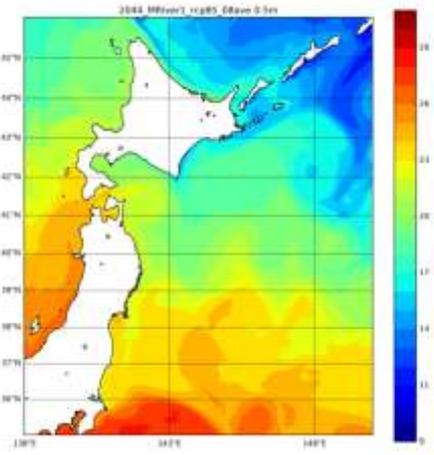
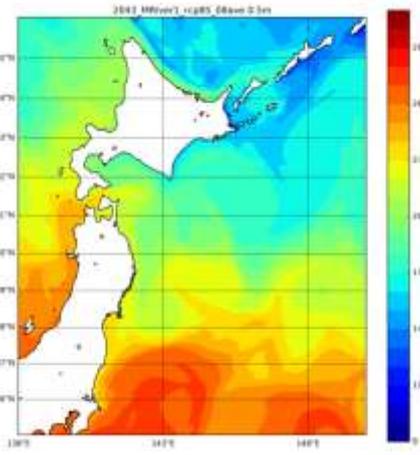
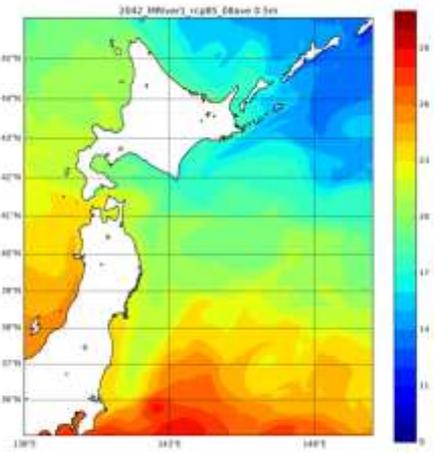
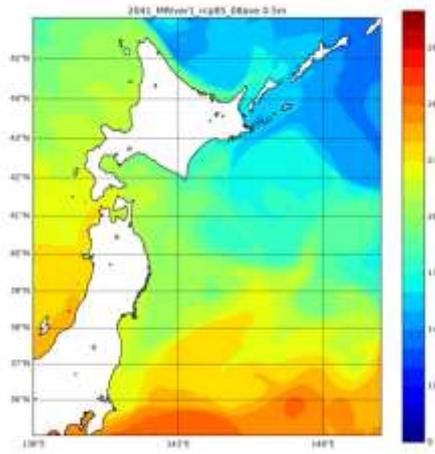
2.1. 将来の海況の確認手法について

今回本事業で影響評価を行う北海道・東北地方の太平洋沿岸域では、北からは親潮、津軽暖流、南からは親潮が流れ、それらがぶつかり合う混合域と呼ばれる海域が広がっている。バイアス補正を行う前に、親潮・津軽暖流・黒潮がそれぞれモデルで将来どのように表現されているか、下記手法により確認を行った。

- 北緯 35 度~43 度、東経 138 度~150 度の北海道・東北地域における表面水温、水深 100m 水温のマッピングを行う。年々変動を比較する為、21 世紀中頃の 10 年間、21 世紀末の 10 年間の 8 月の月平均値をプロットし比較を行う。
- 親潮の定義は気象庁の海洋の健康診断表 より水深 100m の水温が 5 度以下の領域とする。
- 黒潮の定義は気象庁の東北周辺海域の海流の診断の見方 より、東経 142°~147°における水深 100m 水温が 15℃以上とする。

2.2. 将来の海況の確認の結果について

2.1 の手法に従い将来の海況を整理した。(図 1、図 2、図 3、図 4) 21 世紀中頃に比べ 21 世紀末では水深 0.5m、100m どちらにおいても全体的に水温が上昇している。特に黒潮と定義される海域(水深 100m 以下における 15 度以上)の面積が 21 世紀末には拡大している。しかし、黒潮が北海道の方まで北上するような再現結果はみられておらず、21 世紀末の黒潮域拡大の要因は、海況の大きな変動ではなく温暖化による水温上昇の影響が大きいと考えられる。本事業では以上の事項を前提としてデータを使用する。



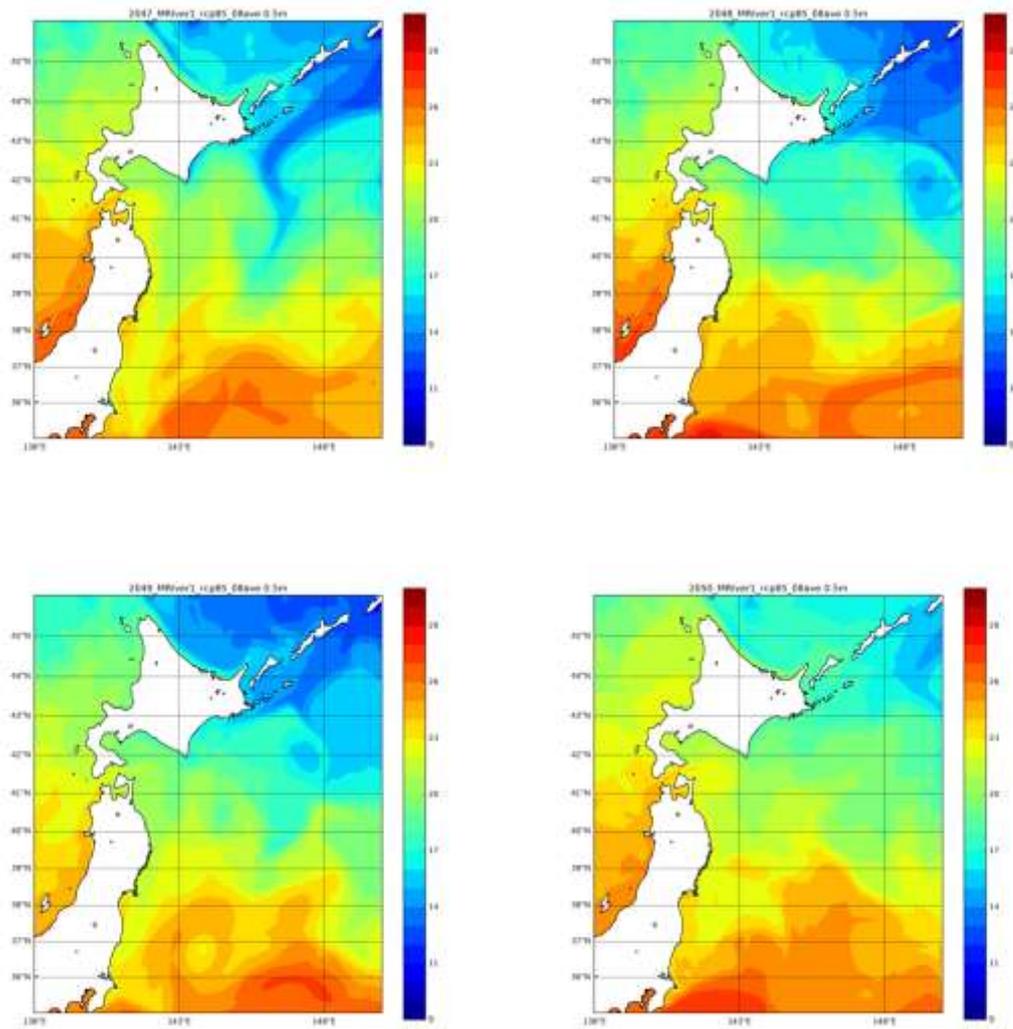
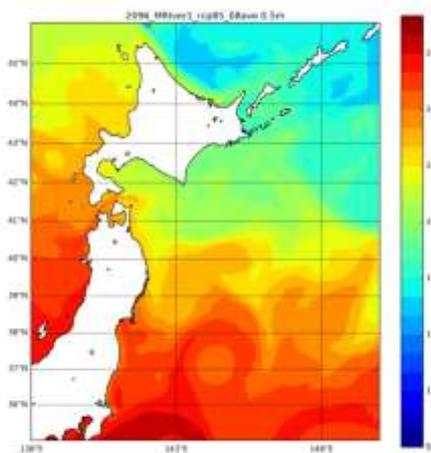
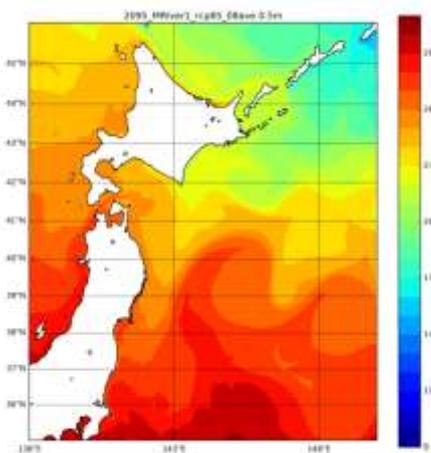
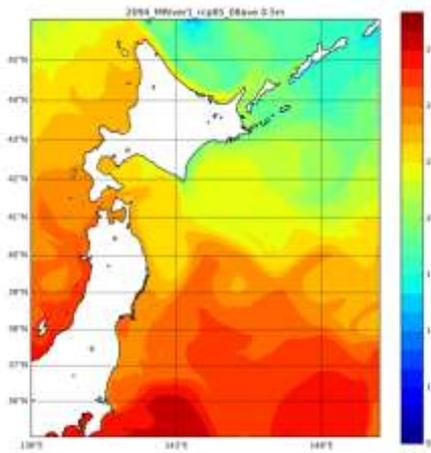
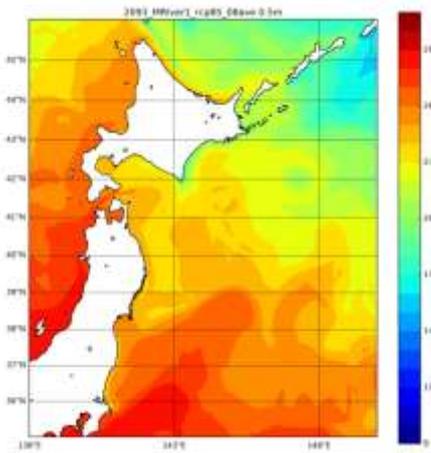
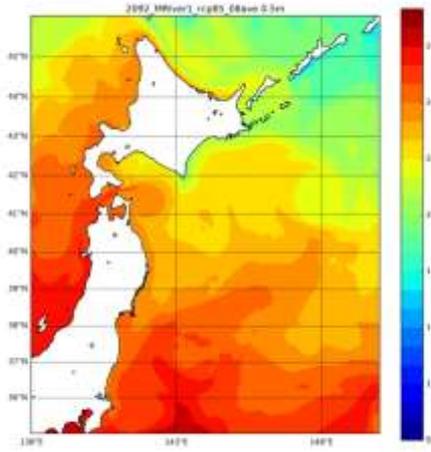
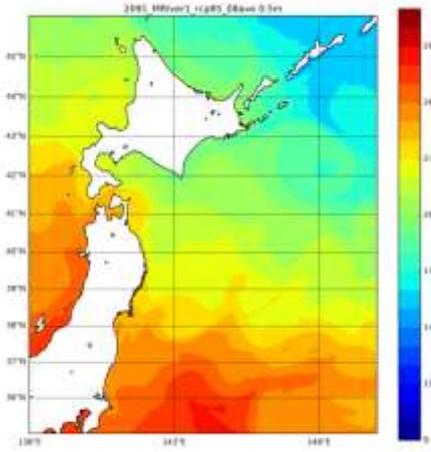


図 1 2041 年～2050 年の各年における水深 0.5m における 8 月の平均水温



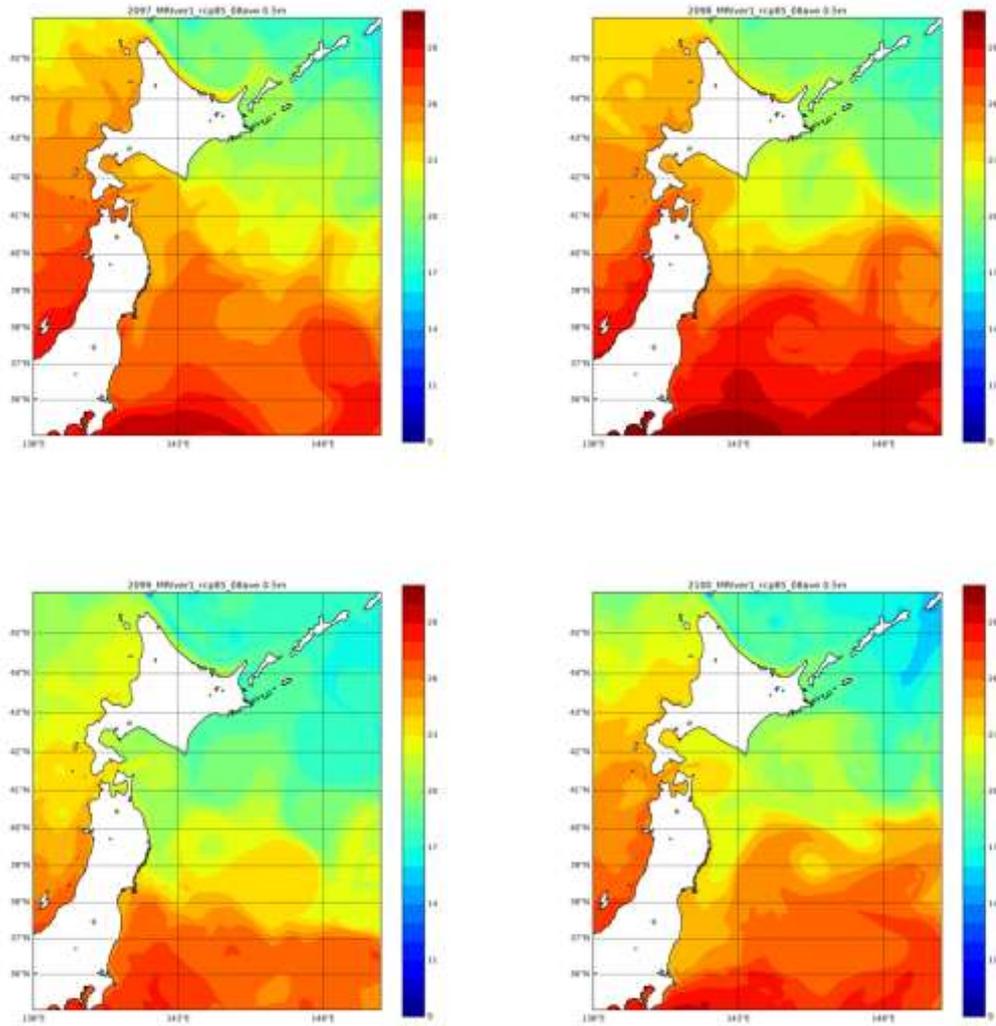
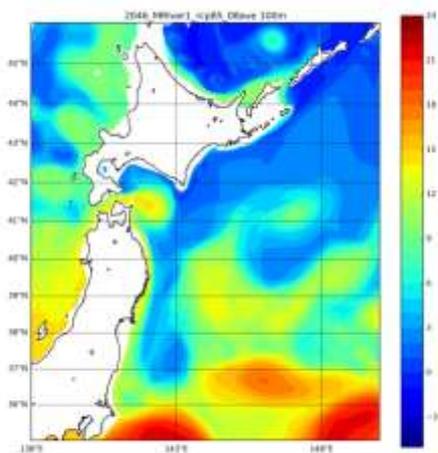
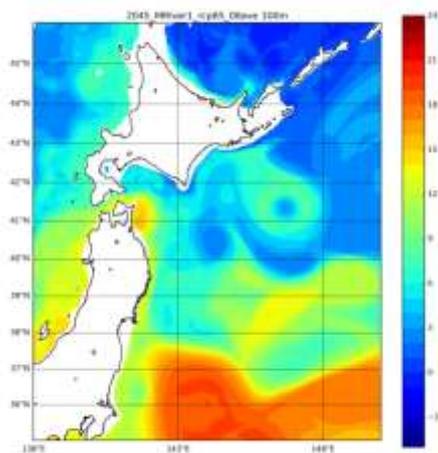
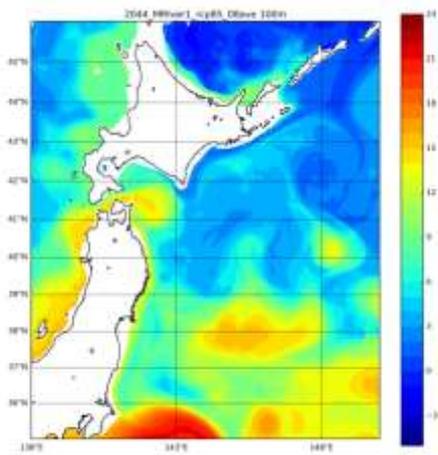
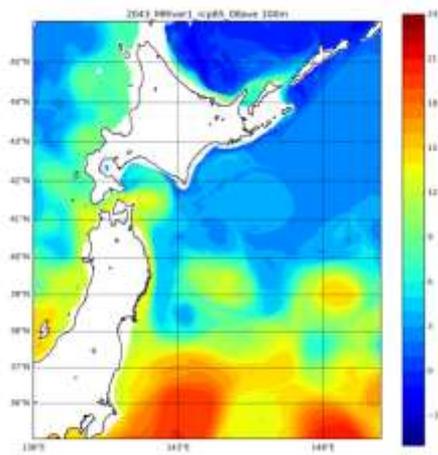
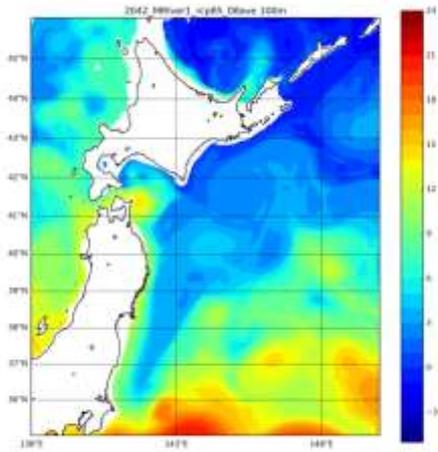
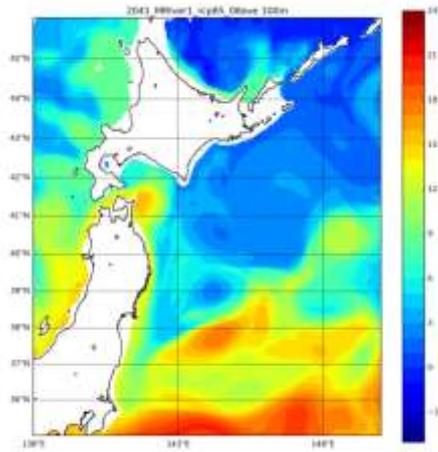


図 2 2091 年～2100 年の各年における水深 0.5m における 8 月の平均水温



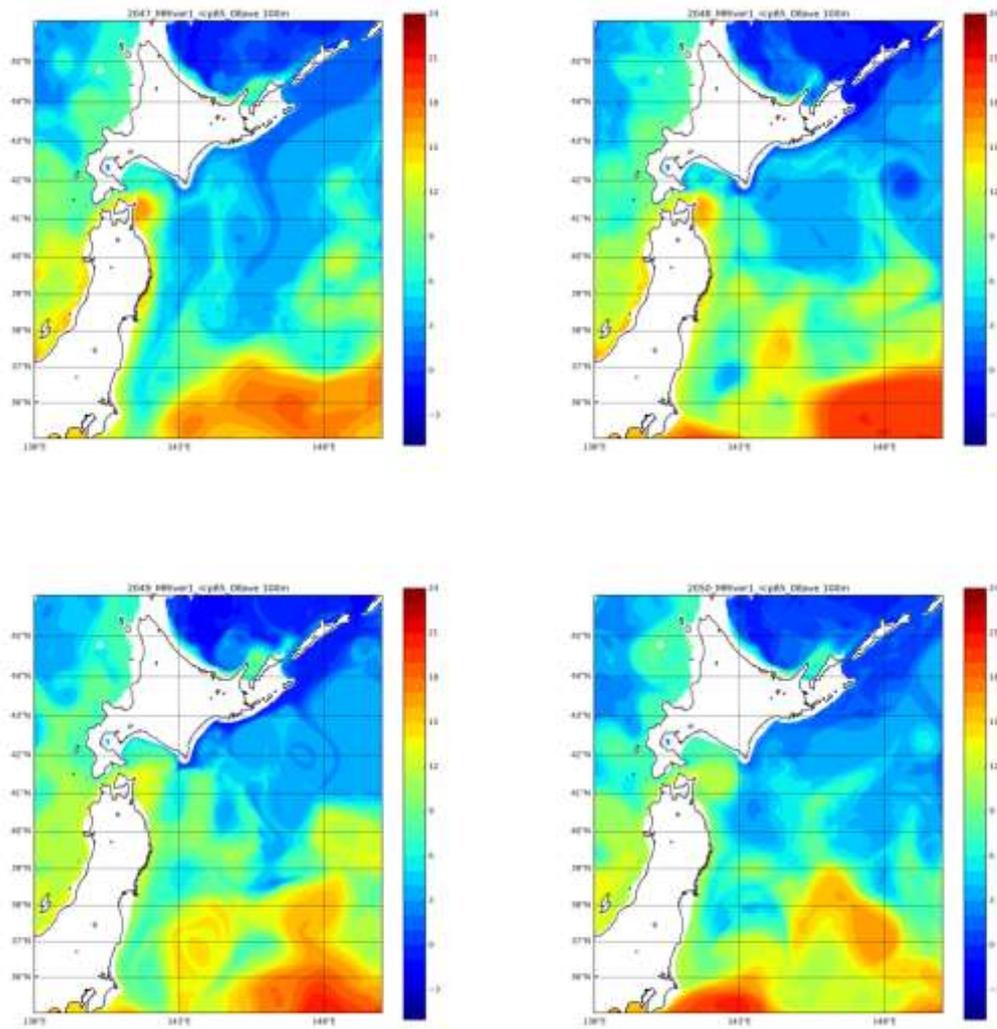
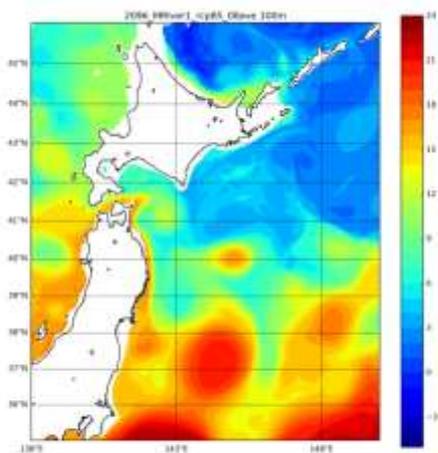
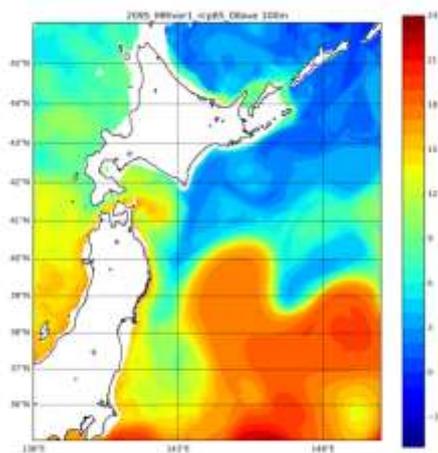
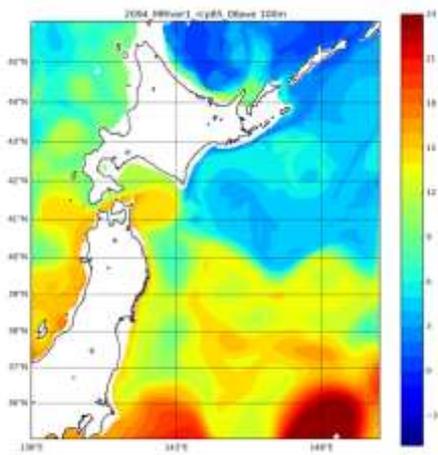
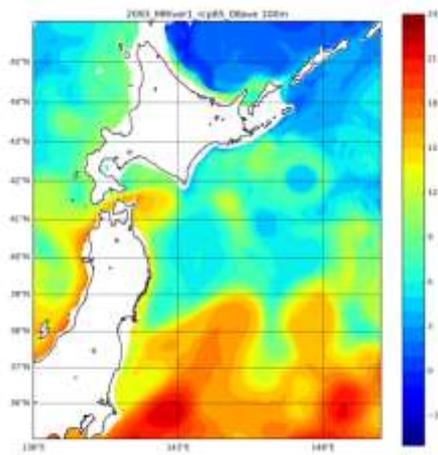
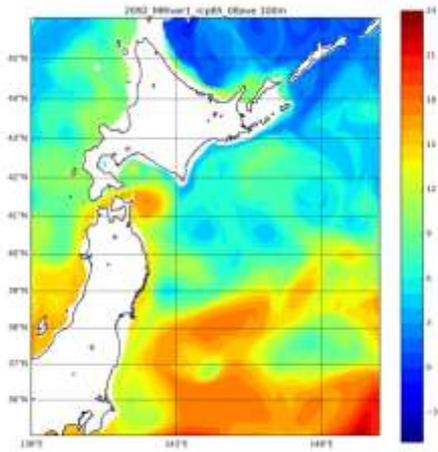
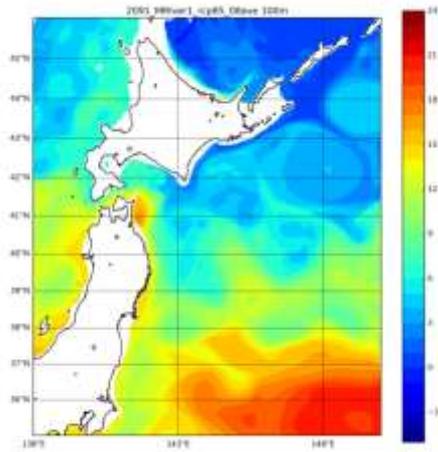


図 3 2041年～2050年の各年における水深100mにおける8月の平均水温



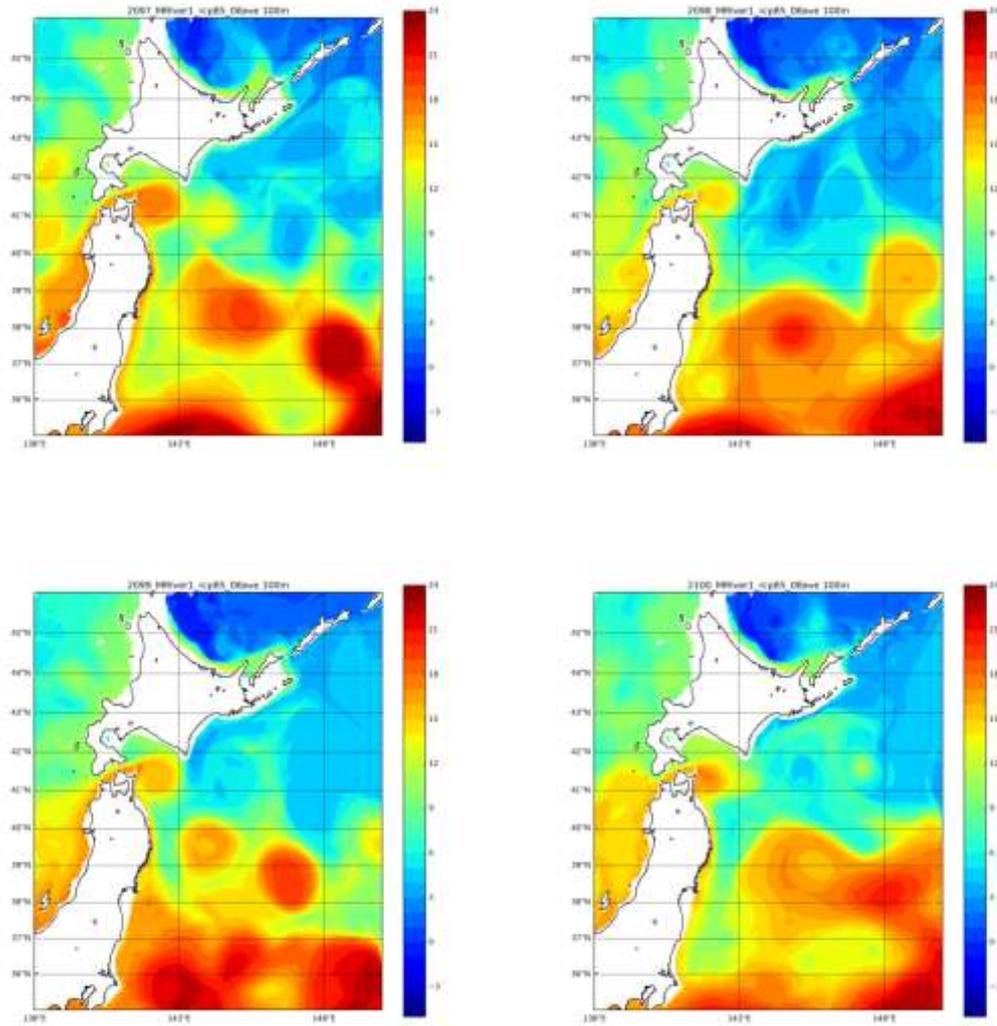


図 4 2091年～2100年の各年における水深 100m における 8月の平均水温

3. バイアス補正を行う気候指標

今回影響調査に関しては、下記影響評価を行う予定である。それぞれ、使用用途や使用する指標が異なる為、影響評価毎にバイアス補正を行った。

- ① 陸奥湾内におけるホタテガイのへい死率予測（詳細予測）
- ② 北海道・東北地域における影響を与える高温の出現頻度 MAP（簡易予測）
- ③ シロザケの調査における放流適期図の将来予測について

①②の調査毎にバイアス補正を行う気候指標について、時間解像度、空間解像度、評価対象時期等について表 1、表 2 に記載した。

なお③に関しては、②の領域（図 8）に含まれるエリア（図 9）となる為、②で補正を行ったデータを使用するものとする。

表 1 ①陸奥湾内におけるホタテガイのへい死率予測の影響評価を行う指標について

	内容
データセット	海洋近未来予測力学 DS データ by SI-CAT
気候指標	日平均水温
対象範囲	青森県陸奥湾（図 5）
空間解像度	2km 格子
時間解像度	日別値
対象時期	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在気候の比較として 2007 年 1 月～2016 年 12 月を使用 ・ 21 世紀中頃として 2031 年～2050 年 日別値の 20 年平均値 ・ 21 世紀末として 2086 年～2100 年 日別値の 15 年平均値
バイアス補正に用いる観測データ	【データ名】 陸奥湾内のブイロボデータ（青森・平舘・東湾）（図 6）
	【入手方法】 青森県水産技術センター水産総合研究所事業報告「陸奥湾海況自動観測事業」より引用
	【概要】 3 地点において水深 1、15、30、底層（m）の 4 層の水温を観測して るデータ（底層は、平舘=45m、青森=44m、東湾=48m） 再現性の確認と補正に使用する深さについては図 7 に記載する。
	【期間】 2007 年 1 月～2016 年 12 月
	【気候指標】 海水温
	【空間解像度】 ブイ観測地点 （平舘：N41.156,140.677E 東湾：N41.107, 140.971 青森：N 40.922, 140.787E）
	【時間解像度】 半旬値

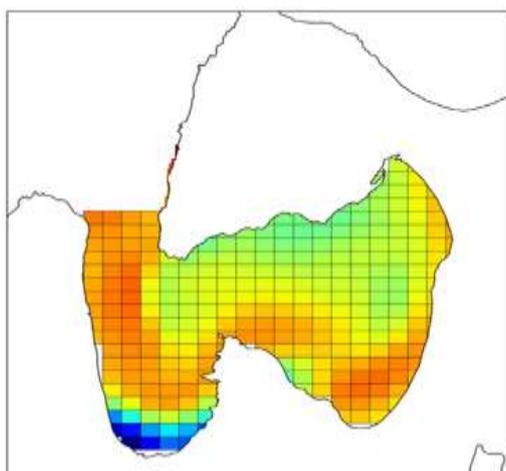


図 5 ①でバイアス補正を行う対象範囲

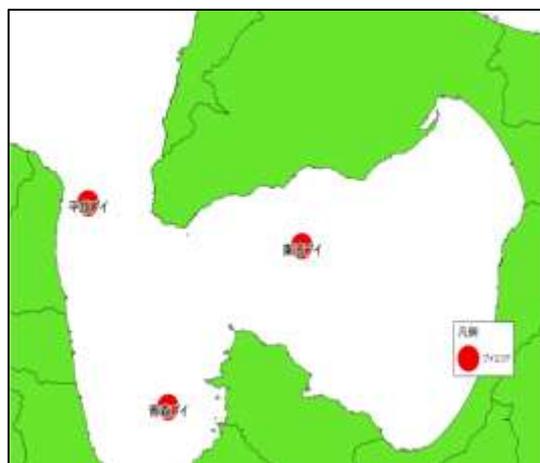


図 6 陸奥湾内におけるブイロボの位置

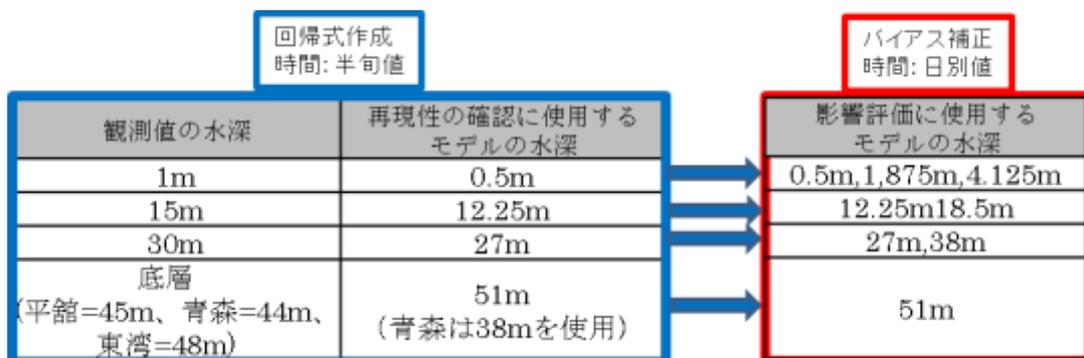


図 7 陸奥湾における再現性の確認とバイアス補正を行う際の水深について

表 2 ②北海道・東北地域における影響を与える高温の出現頻度 MAP (簡易予測) 及び、シロザケの放流適期図作成の調査に関して

	内容
データセット	海洋近未来予測力学 DS データ by SI-CAT
気候指標	日平均水温
対象範囲	北海道・東北エリア (図 8)
空間解像度	2km 格子
時間解像度	日別値
対象時期	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在気候の比較として 1996 年 1 月 1 日～2005 年 12 月 31 日 ・ 21 世紀中頃として 2031 年～2050 年 日別値の 20 年平均値 ・ 21 世紀末として 2086 年～2100 年 日別値の 15 年平均値
バイアス補正に用いる観測データ	【データ名】 衛星データである NOAA の OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) AVHRR-Only のデータを使用 (Banzon et al,2016)
	【入手方法】 HP よりダウンロード (HP : https://www.ncdc.noaa.gov/oisst)
	【概要】 さまざまなプラットフォーム (衛星、船舶、ブイ) からの観測値を通常のグローバルグリッドに組み合わせて分析されたデータ。
	【期間】1996 年 1 月 2 日～2005 年 12 月 31 日(1 月 1 日のデータには不具合があり使用不可であった)
	【気候指標】 海面水温
	【空間解像度】 1/4°
【時間解像度】 日別値	

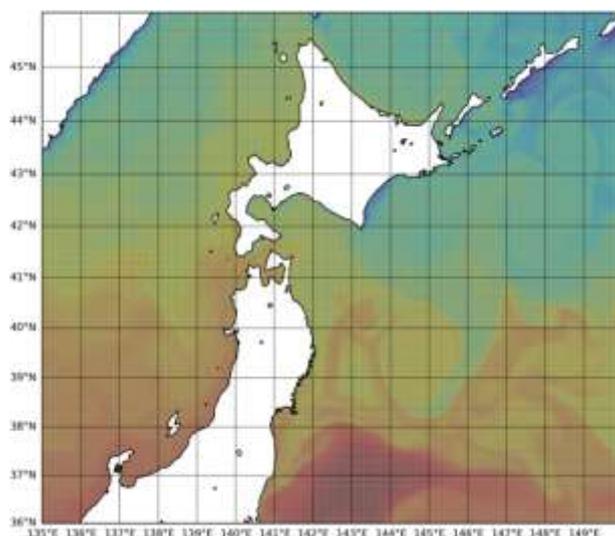


図 8 ②でバイアス補正を行う対象範囲

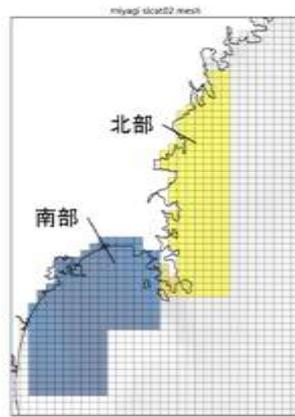


図 9 シロザケの調査で使用する領域に関して

4. バイアス補正

4.1. ①における海水温データ

4.1.1. 気候シナリオの再現性（バイアスの状況の確認）

観測値とモデル出力値（現在）を用いて箱ひげ図により再現性の確認を行った（図10）。どの深さにおいても秋は、モデルの中央値が観測値よりも低く、水温が低く表現される傾向があることが分かった。また、夏と秋においては、高温（最大値から第三四分位）の再現がモデルの方が低く表現されていることが分かった。

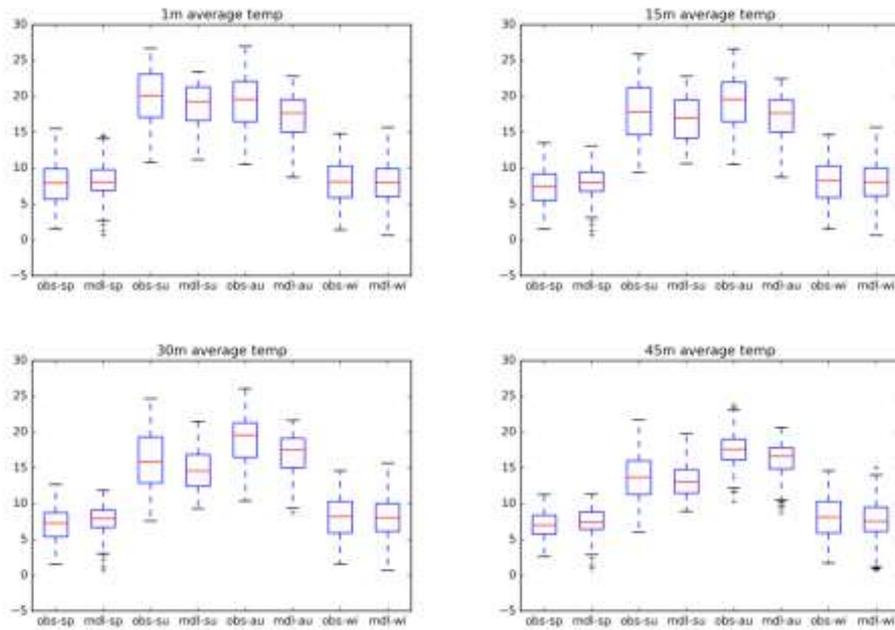


図 10 深さ別における観測値とモデル出力値（現在）の水温について
(obs:観測値、mdl:モデル出力値（現在）、sp:春、su:夏、au:秋、wi:冬)

4.1.2. 補正方法

陸奥湾におけるバイアス補正に関しては、影響評価に使用する水温が陸奥湾エリア内の広域な水温を使用することに対して、使用できる観測値が3地点、深さ4層と限られている為、表2の補正方法によりバイアス補正を行った。

表2 バイアス補正方法

	内容
気候指標	水温
方法	観測値とモデル出力値（現在）をソートし、回帰式を作成し補正を行う方法。
概要	<p>【概要】</p> <p>深さ・季節毎に3地点、深さ4層の観測値とモデル出力値を小さい値から大きい値の順に並べ替え平面プロットし、回帰式を作成する。作成した回帰式を陸奥湾全域の将来水温に適用し補正を行う。</p> <p>【課題・限界等について】</p> <p>① 陸奥湾内は西側・東側で水温差がある海域であり、狭い湾内における海況の再現率等も検証した方が良いと考えられる。しかし今回使用可能な観測データは3地点、深さ4層と限られており、深さ毎に3地点の観測値を使用し、作成した回帰式を陸奥湾全域にすべてに対応させる手法を行う事とした。</p> <p>② 影響評価に使用する時間分解能は日別値であるが、観測データが半旬値しか得られない為、半旬値を用いている。</p> <p>③ 影響評価にしようする深さデータが8層に対して、観測地が4層のみしかない為、補正の際には今最も近い観測層で作成した回帰式を適用している。</p>
参考文献	<p>(Piani et al.2010)</p> <p>(佐々木他,2015)</p>

4.1.3. バイアス補正結果

4.1.2で示した補正方法を基に、データを値が低い順にソートし、散布図を作成した結果を図11、図12、図13、図14に示した。また、得られた回帰式と、R2・RMSE・MAEを表3に整理した。RMSE値を見ると夏と秋に特に再現性が悪く、秋においては、RMSE値は2℃以上となっている。

作成した、回帰式を使用し季節別・深さ毎に補正を行った結果を、箱ひげ図 (図 15、図 16、図 17、図 18)、時系列図 (図 19)、及び RMSE 値 (表 4) にてそれぞれ整理した。補正後は RMSE 値を見ると 0.6°C以内となり、箱ひげ図、時系列図においても、補正後は再現できていなかった高温側を再現しており、補正により観測値に近い値となった。

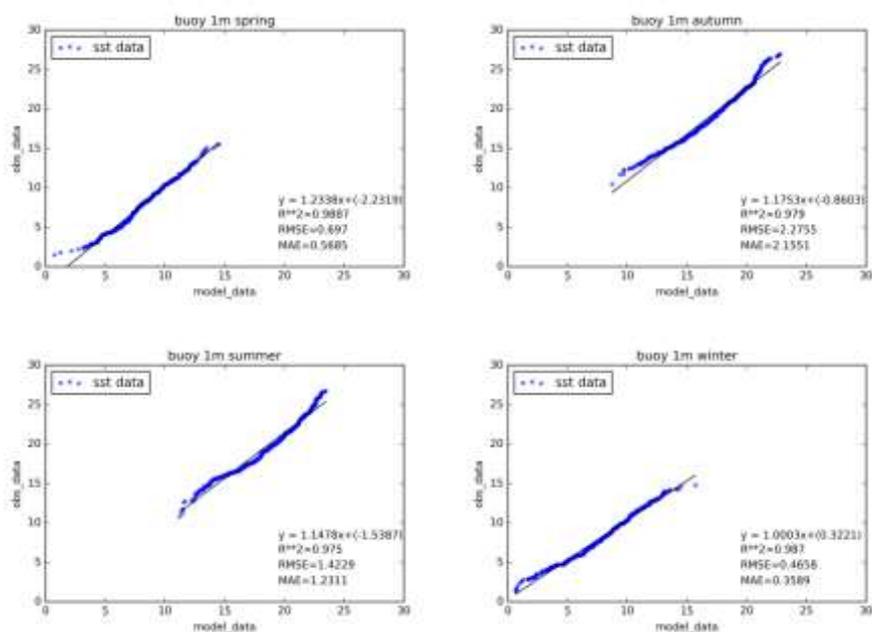


図 11 水深 1m における各季節の観測データとモデル出力値 (現在)

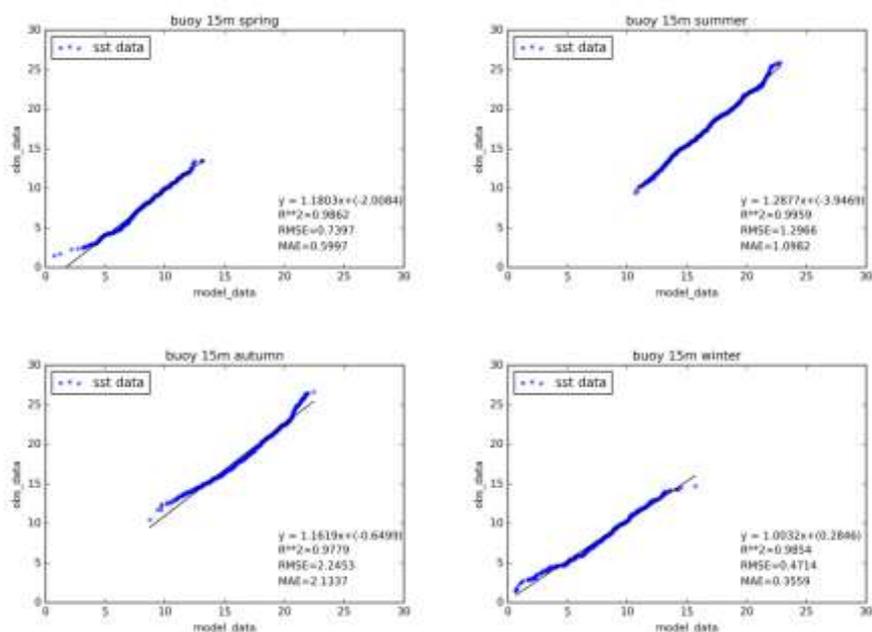


図 12 水深 15m における各季節の観測データとモデル出力値 (現在)

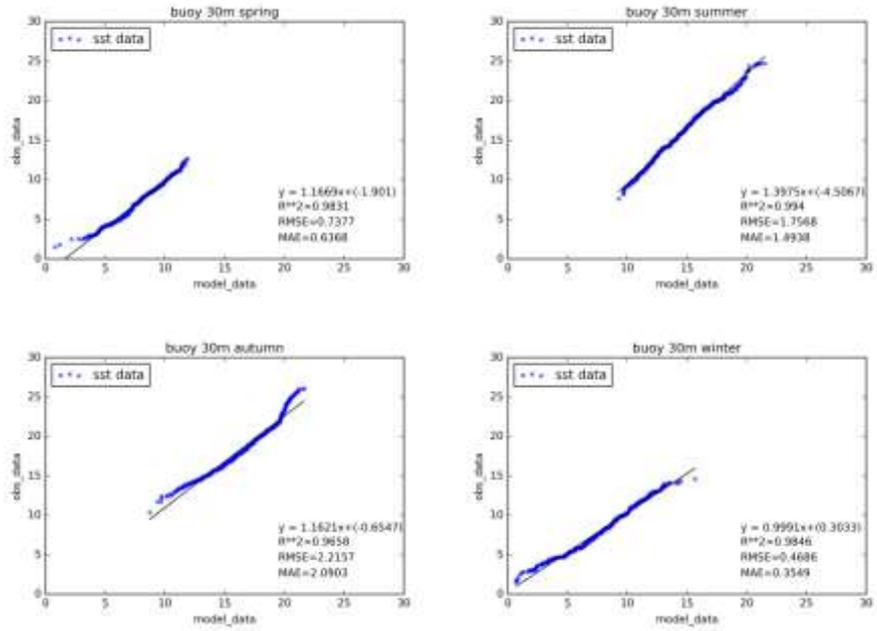


図 13 水深 30m における各季節の観測データとモデル出力値 (現在)

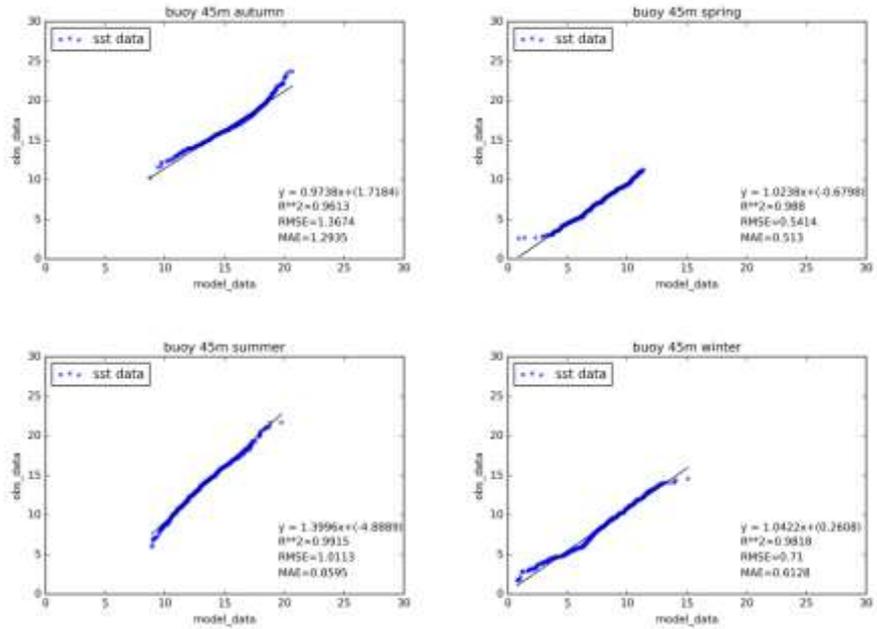


図 14 水深 45m における各月の観測データとモデル出力値 (現在)

表 3 補正前のデータの各値に関して

月	深さ	回帰係数	切片	R2	RMSE	MAE
spring	1m	1.233788	-2.23193	0.988696	0.69702	0.568488
	15m	1.180295	-2.0084	0.986166	0.739702	0.599659
	30m	1.166897	-1.90098	0.983117	0.737662	0.636839
	45m	1.023817	-0.67979	0.987988	0.541351	0.513041
summer	1m	1.147795	-1.53872	0.974978	1.422858	1.231096
	15m	1.287656	-3.94687	0.995882	1.296567	1.098244
	30m	1.397547	-4.50666	0.993952	1.756844	1.493815
	45m	1.399627	-4.8889	0.99154	1.011324	0.859536
autumn	1m	1.175278	-0.86031	0.978974	2.275535	2.155142
	15m	1.161911	-0.64991	0.977934	2.245346	2.133693
	30m	1.162058	-0.65473	0.965806	2.215685	2.090327
	45m	0.973761	1.71838	0.961307	1.367405	1.293482
winter	1m	1.000316	0.322142	0.987021	0.465816	0.358871
	15m	1.003204	0.28462	0.985411	0.471402	0.355889
	30m	0.999135	0.3033	0.984627	0.4686	0.354873
	45m	1.042188	0.260811	0.981826	0.709991	0.612756

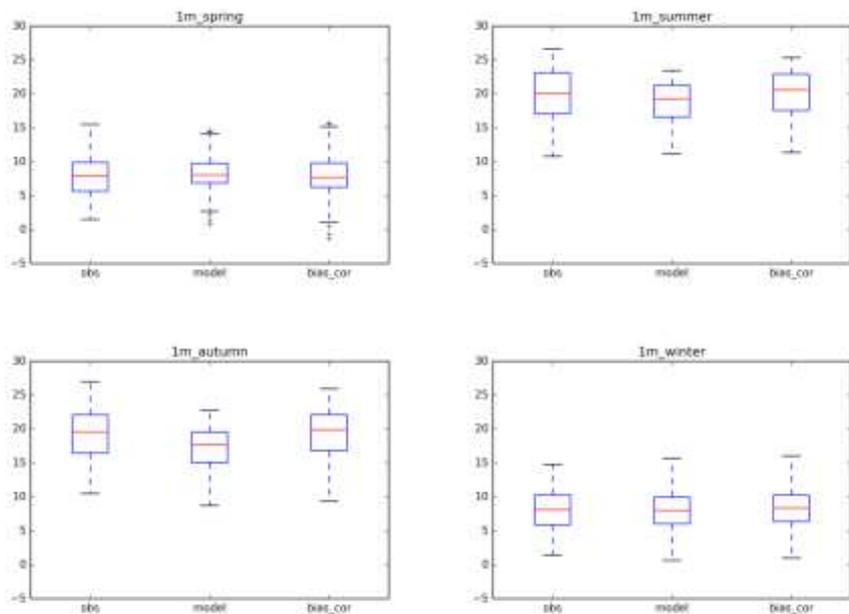


図 15 水深 1m における月毎の水温データについて

(obs:観測値、model:モデル出力値 (現在)、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値 (現在))

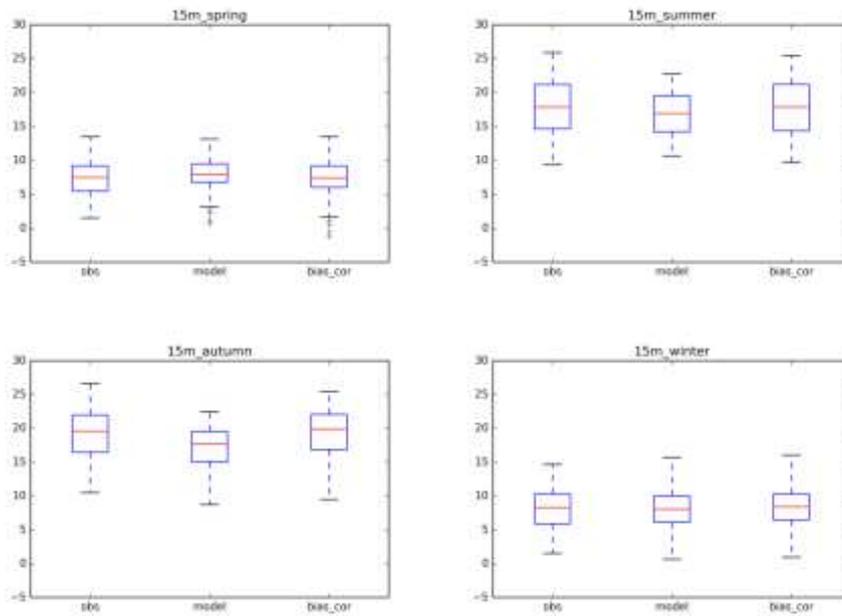


図 16 水深 15m における月毎の水温データについて

(obs:観測値、model:モデル出力値 (現在)、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値 (現在))

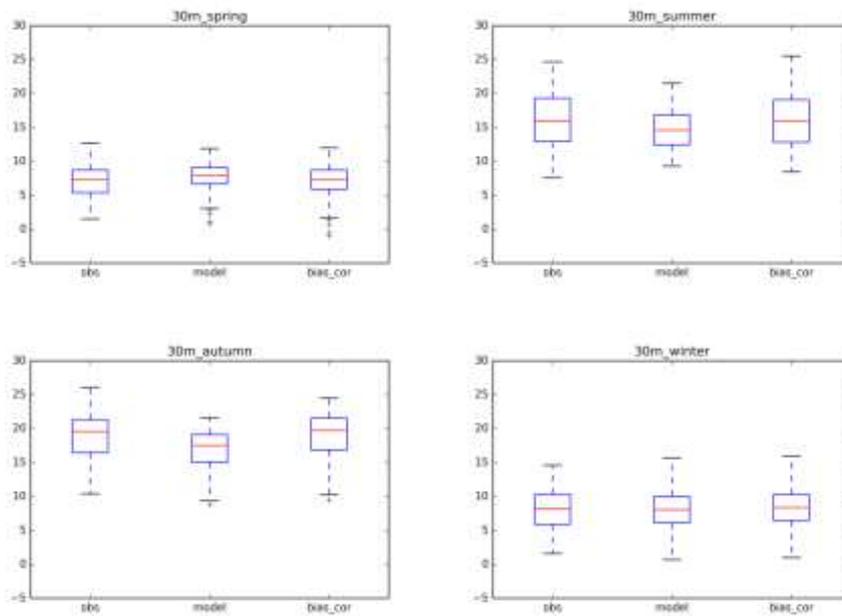


図 17 水深 30m における月毎の水温データについて

(obs:観測値、model:モデル出力値 (現在)、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値 (現在))

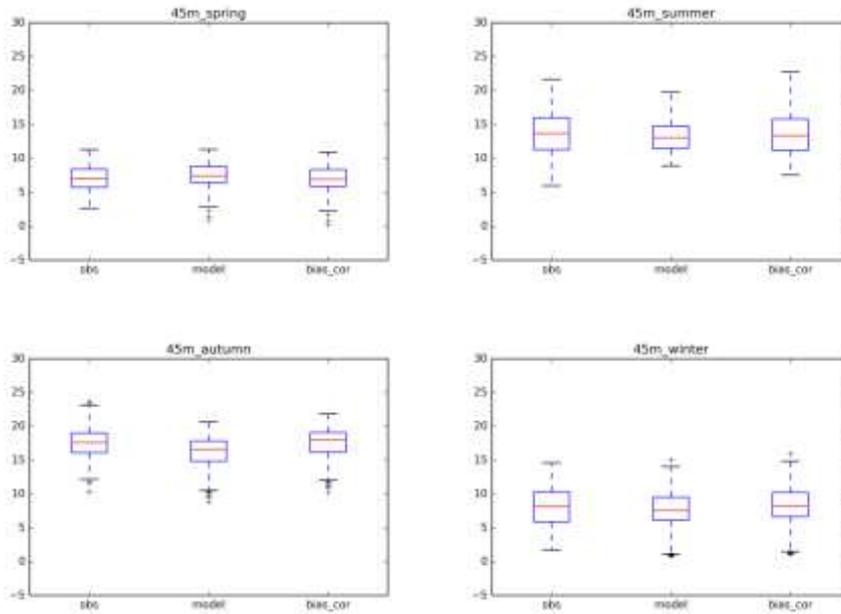


図 18 水深 45m における月毎の水温データについて
 (obs:観測値、model:モデル出力値 (現在)、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値 (現在))

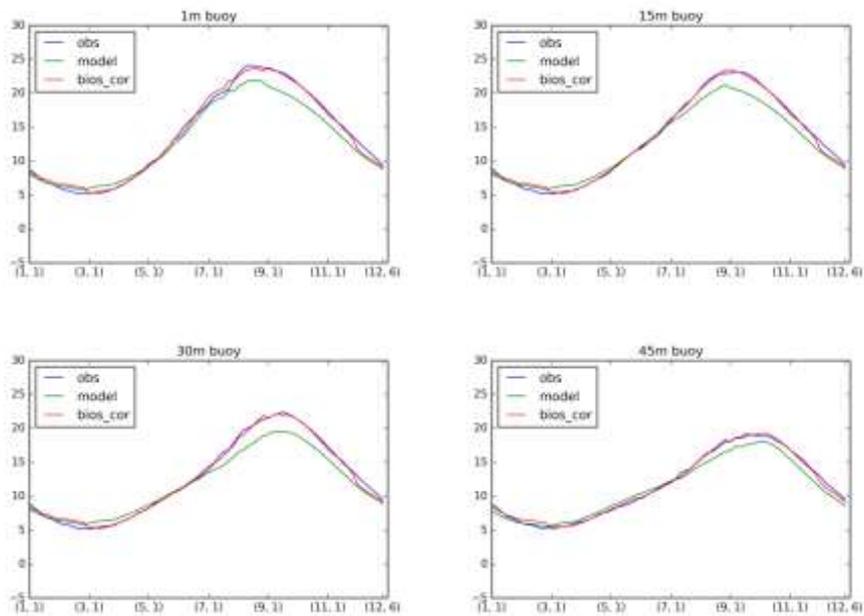


図 19 各水深帯における水温度データの時系列図
 (obs:観測値、model:モデル出力値 (現在)、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値 (現在))

表 4 深さ・季節毎における補正前後の RMSE 値

季節	深さ	RMSE(補正前)	RMSE(補正後)
spring	1m	0.697019989	0.308163027
	15m	0.739702485	0.298728254
	30m	0.737661987	0.294823613
	45m	0.541351093	0.203652414
summer	1m	1.422858143	0.559527657
	15m	1.296566766	0.251156327
	30m	1.756844167	0.297348799
	45m	1.011324046	0.284960321
autumn	1m	2.275535424	0.511904378
	15m	2.245345553	0.512624917
	30m	2.21568458	0.590257779
	45m	1.367404881	0.439560951
winter	1m	0.465815644	0.334066475
	15m	0.471402334	0.35495822
	30m	0.468600282	0.362910554
	45m	0.709991242	0.38815894

4.2. ②における海面水温データ

4.2.1. 気候シナリオの再現性（バイアスの状況の確認）

空間分解能 2km メッシュであるモデル出力値（現在）を観測データの空間分解能 0.25° に変換し、 $1^\circ \times 1^\circ$ メッシュ毎（図 20）に再現性の確認を行った。箱ひげ図の結果を図 21～図 30、RMSE 等の各値を表 5～表 24 に示した。

全体的に、観測地と比べてモデル出力値（現在）は中央値が観測値と比べて低く、水温が低い傾向がみられる。特に誤差が大きくなる地点（RMSE が 4°C 以上）は親潮域や、親潮と黒潮が混ざり合う混合域、黒潮の続流域のあたりで多く見られ、使用したデータの空間分解能による違いにより、親潮と黒潮の再現性が変わり、大きく値が変わってしまう地点が出てきていると予想される。

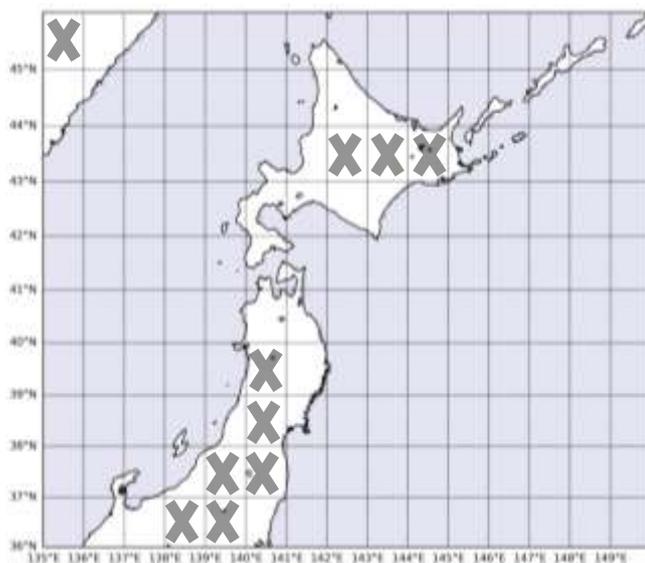


図 20 再現性の確認及び補正を行うメッシュについて ($1^\circ \times 1^\circ$)

(×の箇所は水温データが無いことを示す)

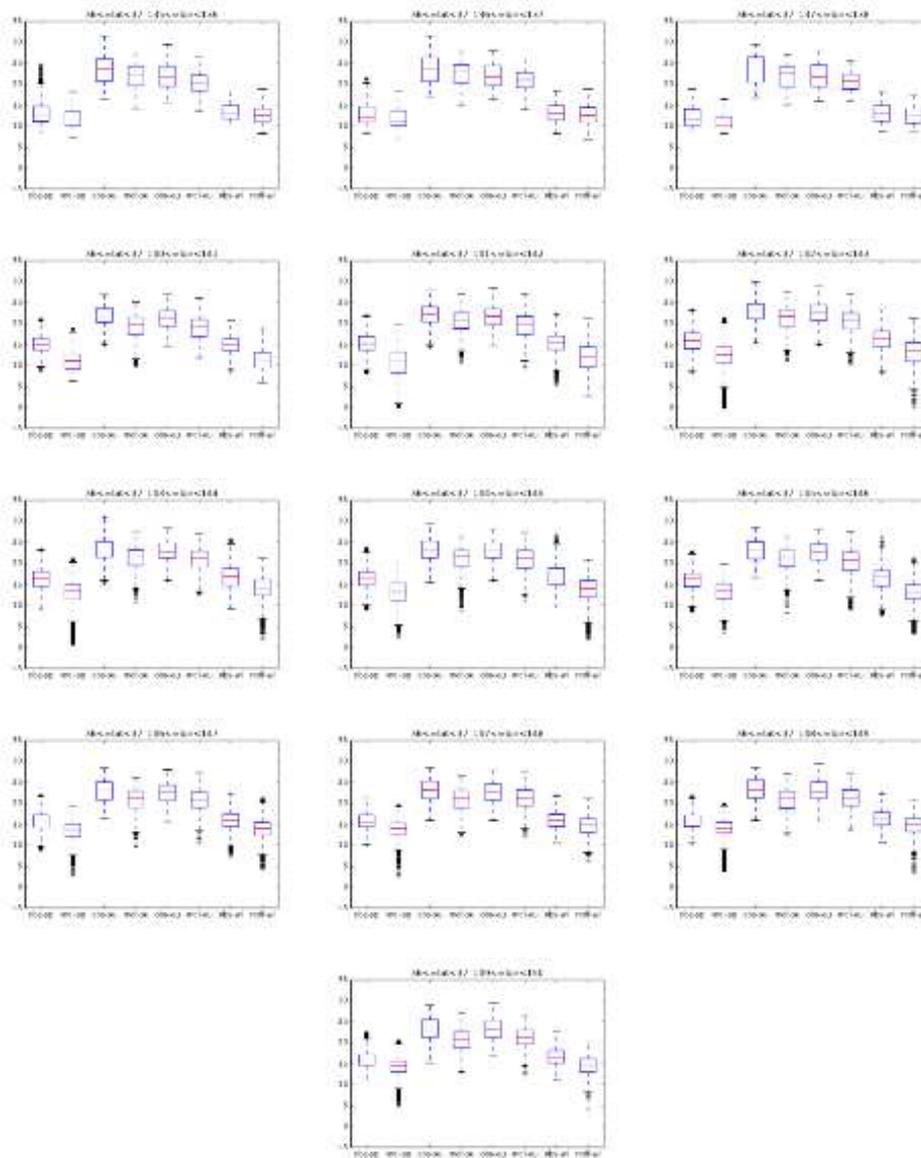


図 21 北緯 36 度～37 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

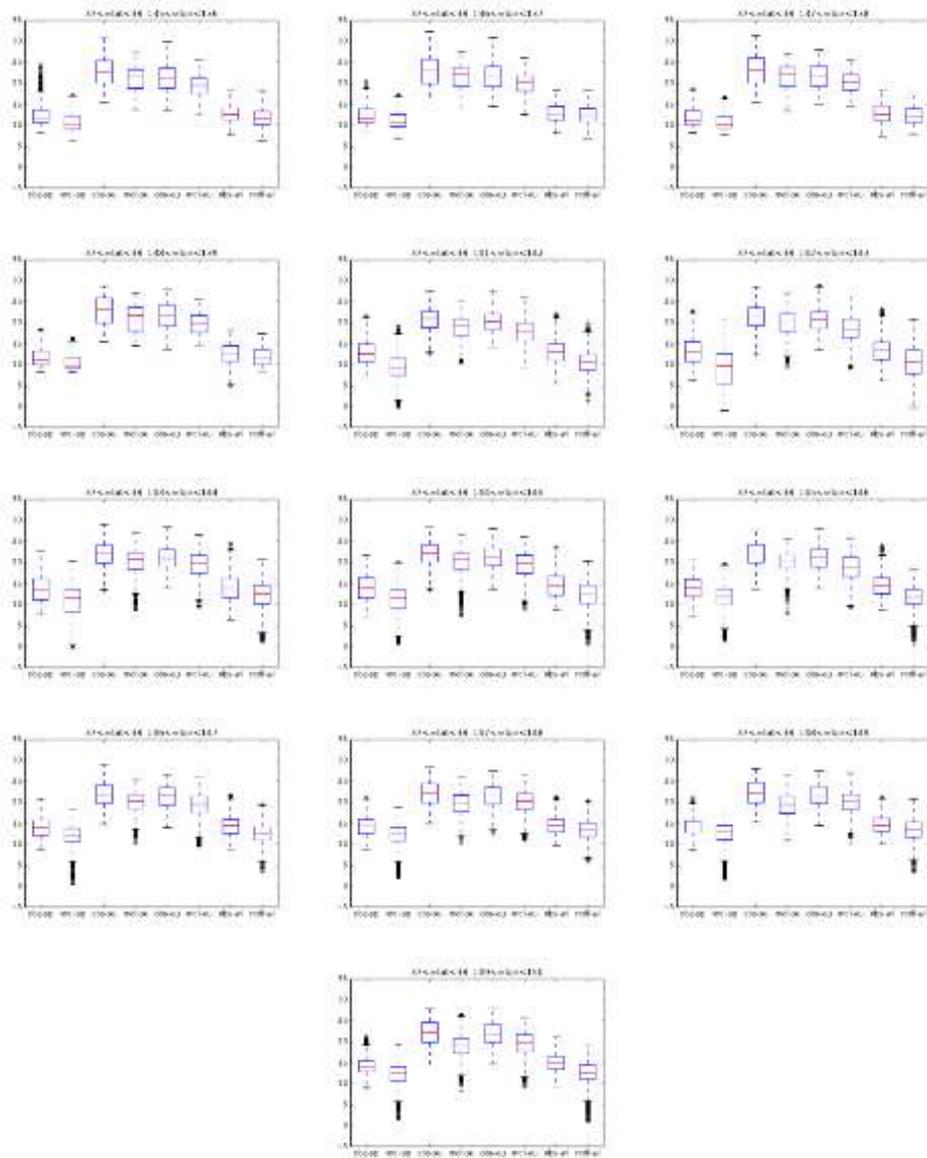


図 22 北緯 37 度～38 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

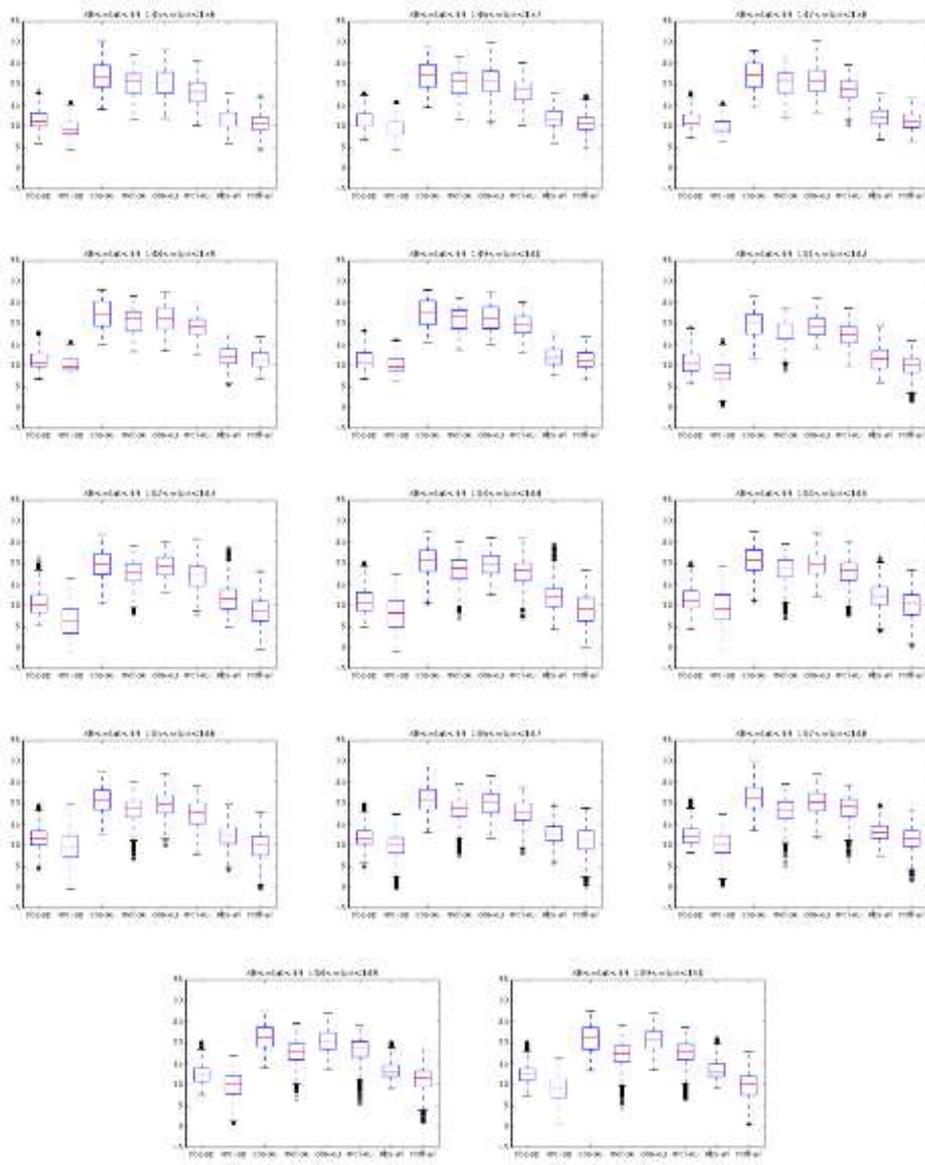


図 23 北緯 38 度～39 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

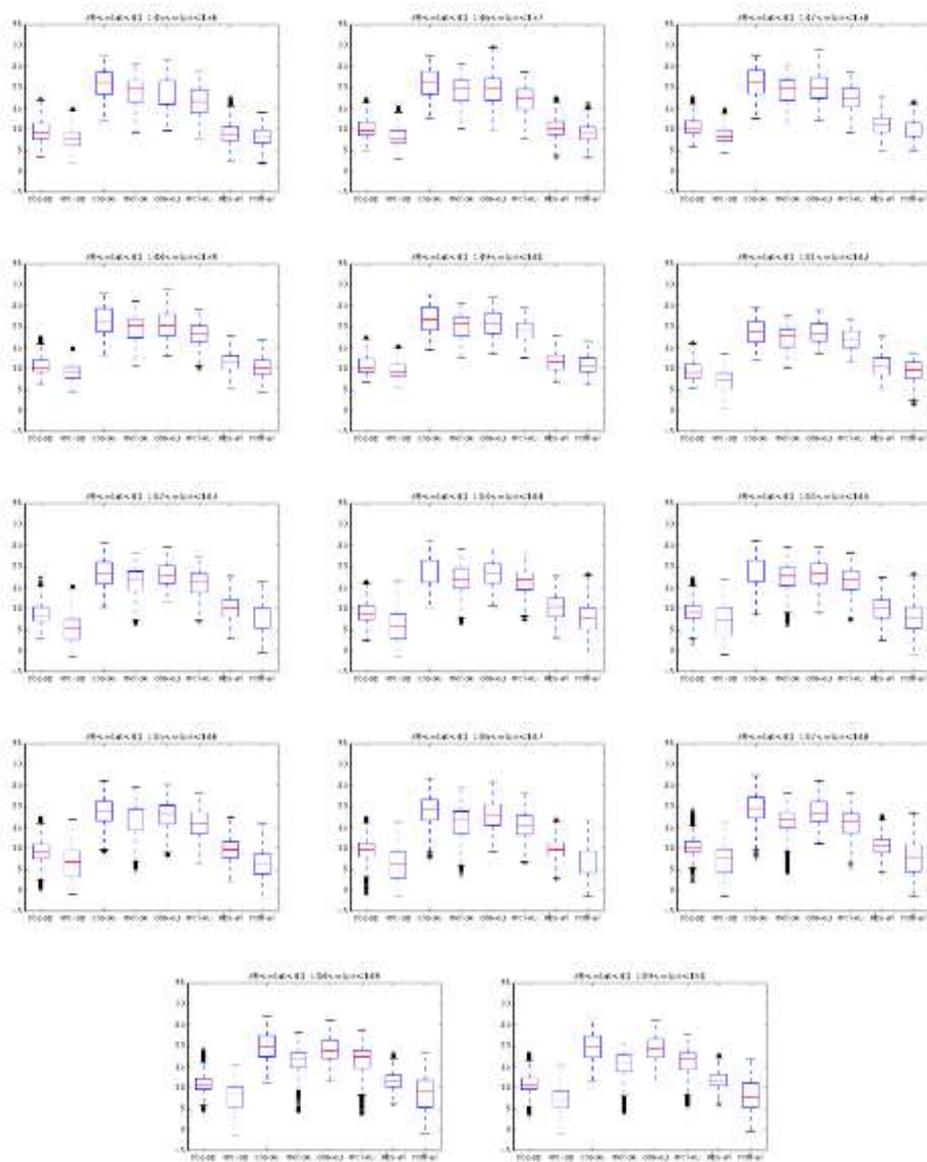


図 24 北緯 39 度～40 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

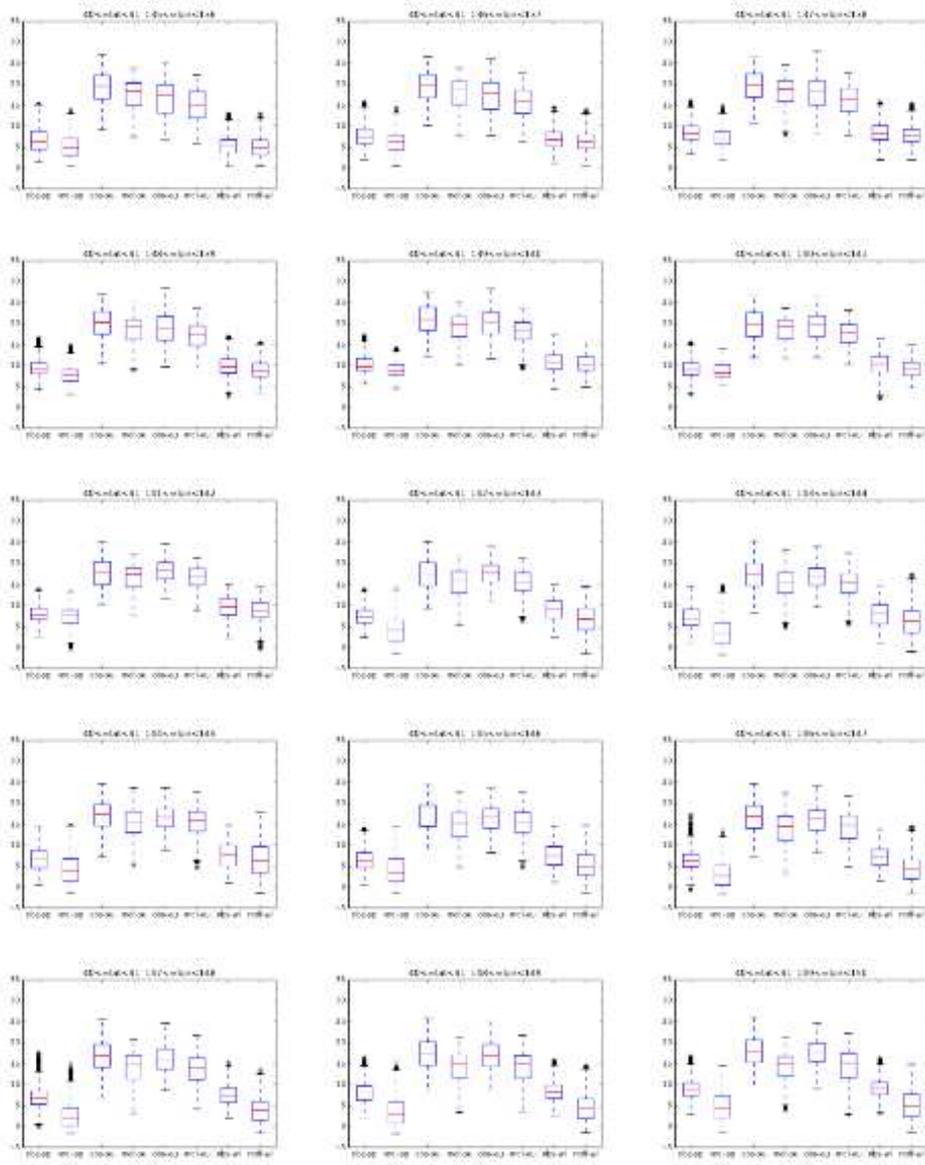


図 25 北緯 40 度～41 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

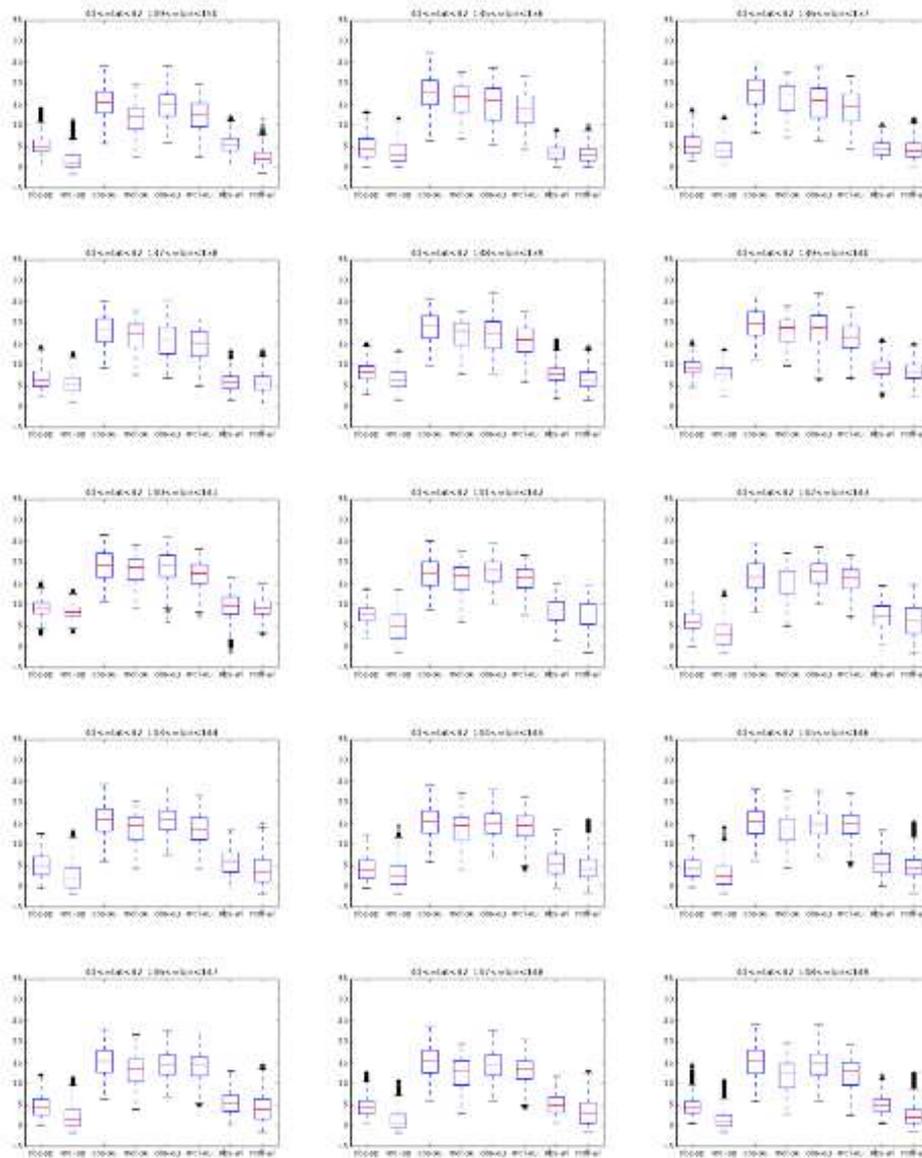


図 26 北緯 41 度～42 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

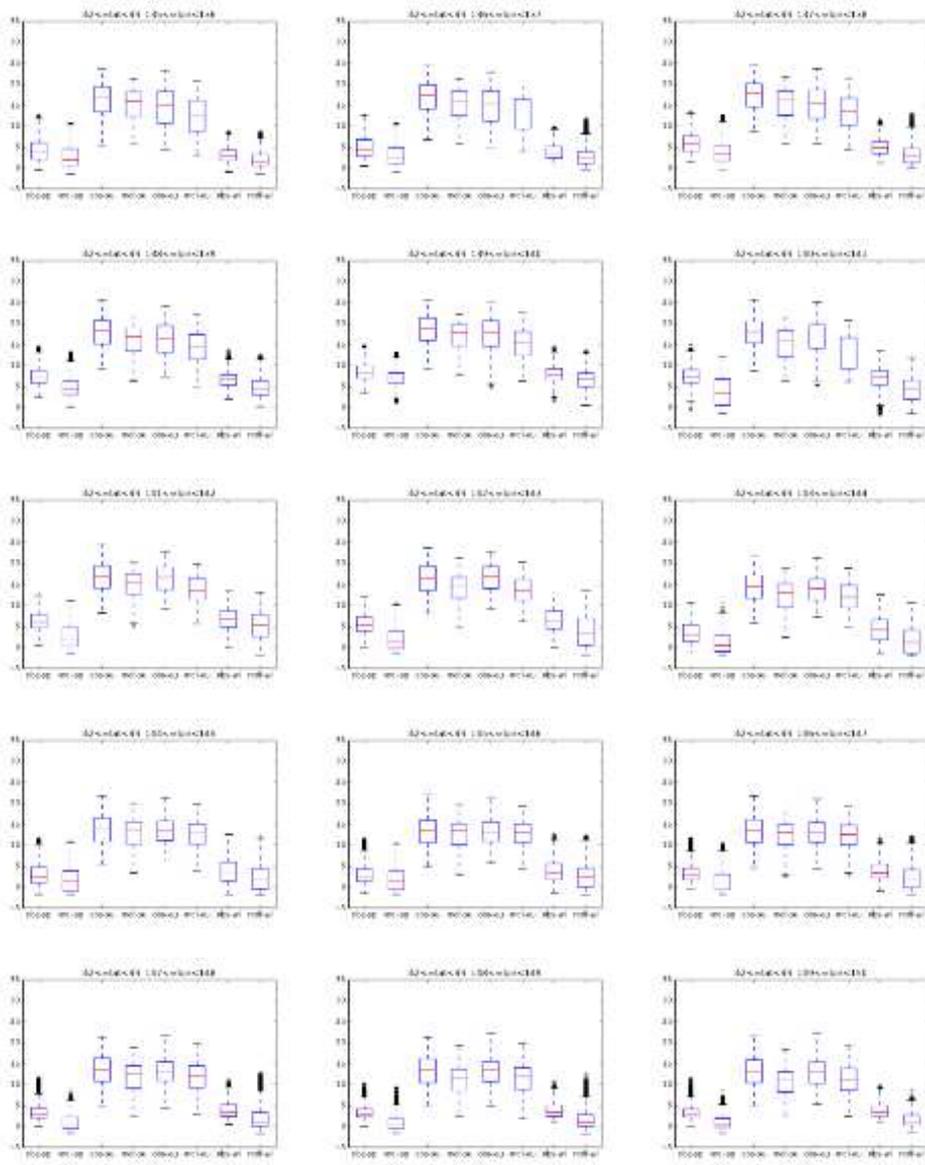


図 27 北緯 42 度～43 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

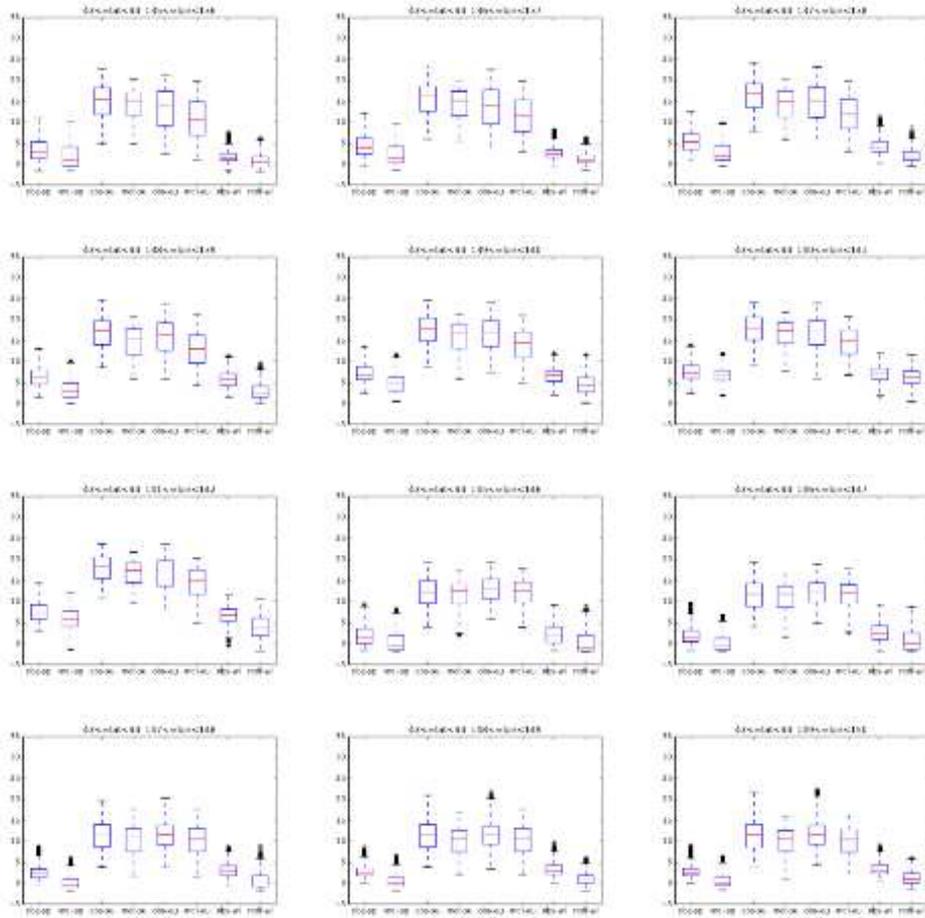


図 28 北緯 43 度～44 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

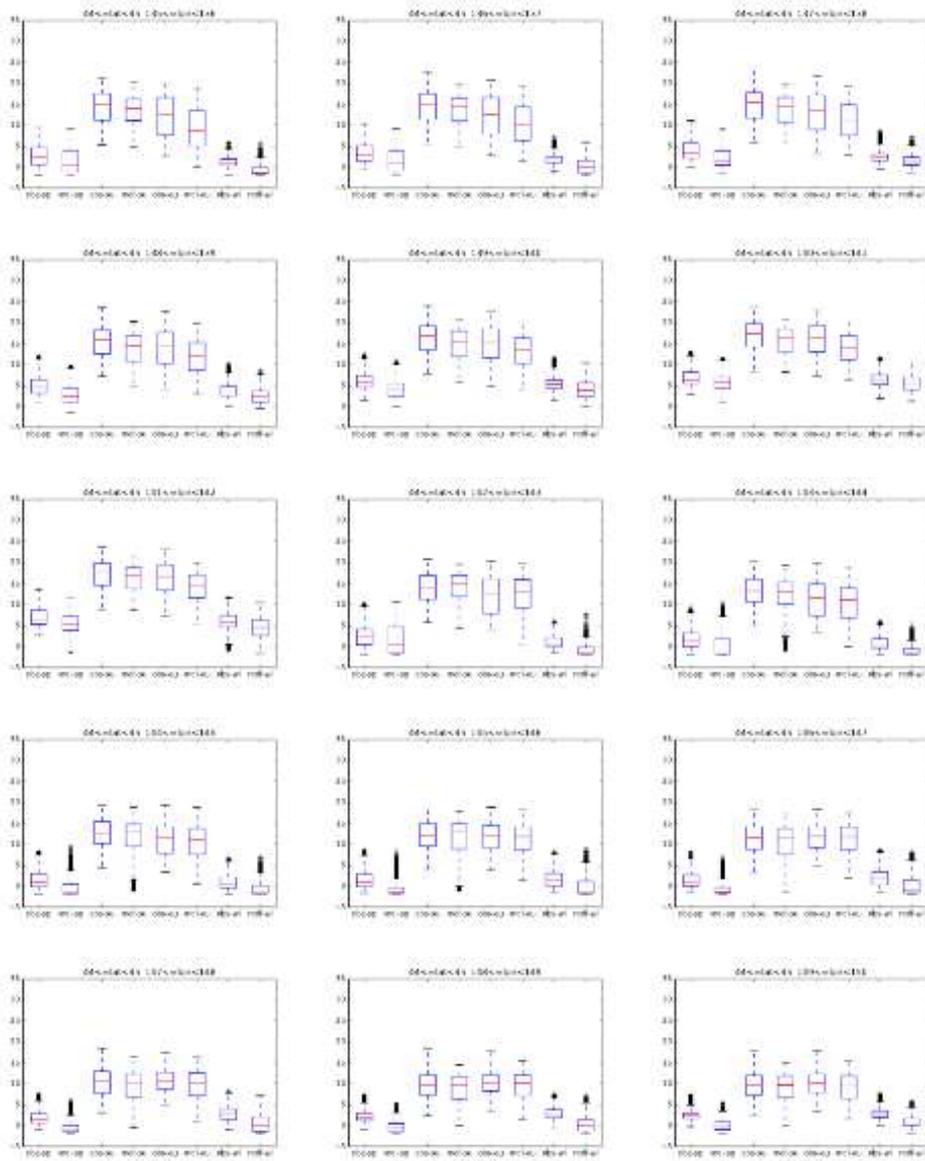


図 29 北緯 44 度～45 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

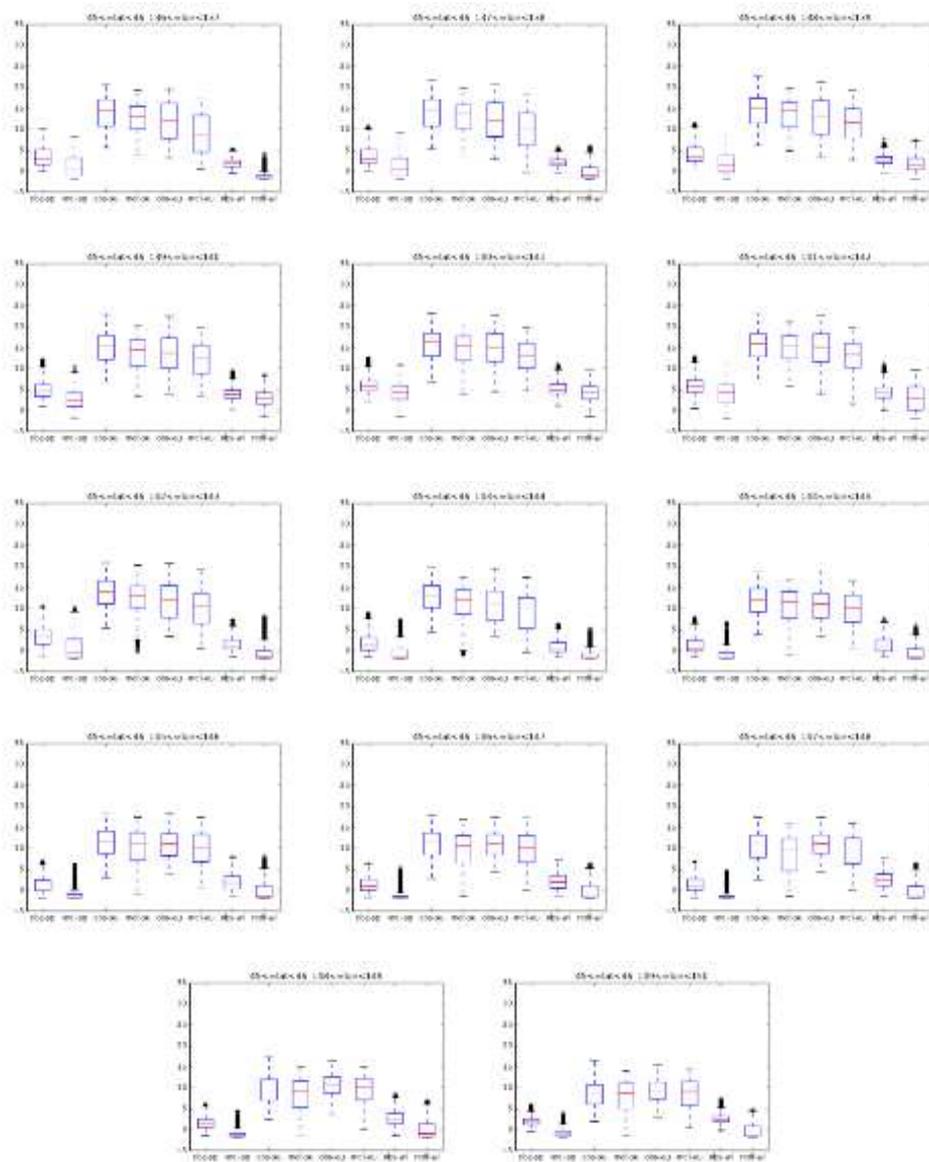


図 30 北緯 45 度～46 度線上における 1° 経度毎の箱ひげ図

表 5 北緯 36 度～37 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

(エリアは緯度①～緯度②、経度①～経度②の 1° × 1° のエリアを示している)

緯度①	緯度②	経度①	経度②	季節	回帰係数	切片	R2	RMSE	MAE
36	37	135	136	spring	1.139	-0.389	0.984	1.334	1.264
				summer	1.083	-0.373	0.982	1.515	1.438
				autumn	1.216	-2.858	0.990	1.633	1.526
				winter	0.934	1.575	0.994	0.761	0.734
		136	137	spring	1.025	0.718	0.993	1.040	1.019
				summer	1.145	-2.212	0.977	1.209	1.034
				autumn	1.213	-3.427	0.992	1.185	1.048
				winter	0.943	1.262	0.996	0.567	0.537
		137	138	spring	1.300	-2.037	0.996	1.399	1.262
				summer	1.055	0.511	0.955	1.839	1.707
				autumn	1.296	-4.784	0.993	1.495	1.322
				winter	1.019	0.259	0.996	0.516	0.499
		140	141	spring	0.887	5.325	0.980	4.094	4.074
				summer	0.863	5.189	0.991	2.567	2.530
				autumn	0.869	4.695	0.997	2.244	2.213
				winter	0.880	4.972	0.990	3.636	3.617
		141	142	spring	0.673	8.045	0.981	4.672	4.501
				summer	0.945	2.676	0.993	1.573	1.552
				autumn	0.836	5.270	0.997	2.124	2.064
				winter	0.753	6.225	0.988	3.369	3.250
142	143	spring	0.705	7.401	0.939	4.059	3.844		
		summer	1.000	1.509	0.991	1.520	1.500		
		autumn	0.909	3.765	0.995	1.915	1.888		
		winter	0.814	5.344	0.995	2.964	2.884		
143	144	spring	0.739	6.836	0.938	3.649	3.479		
		summer	1.021	1.544	0.994	2.000	1.989		
		autumn	0.861	4.904	0.988	2.040	1.982		
		winter	0.971	2.862	0.983	2.478	2.448		

表 6 北緯 36 度～37 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
36	37	144	145	spring	0.816	5.725	0.991	3.378	3.323
				summer	0.959	2.978	0.969	2.169	2.120
				autumn	0.844	5.355	0.979	2.156	2.084
				winter	0.898	4.406	0.978	3.040	2.996
		145	146	spring	0.911	3.888	0.994	2.720	2.706
				summer	1.002	1.801	0.976	1.895	1.853
				autumn	0.836	5.483	0.988	2.196	2.130
				winter	0.940	4.159	0.984	3.400	3.379
		146	147	spring	1.034	1.594	0.990	2.077	2.064
				summer	0.971	2.504	0.988	1.914	1.891
				autumn	0.911	3.406	0.992	1.584	1.551
				winter	0.930	2.971	0.992	2.013	1.995
		147	148	spring	0.991	1.876	0.975	1.775	1.746
				summer	0.968	2.798	0.994	2.131	2.120
				autumn	0.963	2.130	0.997	1.358	1.346
				winter	0.925	2.350	0.989	1.278	1.246
		148	149	spring	0.845	3.846	0.955	1.752	1.668
				summer	1.023	1.878	0.990	2.381	2.366
				autumn	0.997	1.765	0.993	1.720	1.706
				winter	0.915	2.738	0.977	1.526	1.478
149	150	spring	0.936	2.556	0.970	1.671	1.632		
		summer	1.084	0.757	0.967	2.564	2.504		
		autumn	1.111	-0.353	0.993	2.026	2.000		
		winter	0.898	3.517	0.995	2.048	2.030		

表 7 北緯 37 度～38 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
37	38	135	136	spring	1.059	1.017	0.980	1.682	1.648
				summer	1.057	0.466	0.976	1.740	1.665
				autumn	1.135	-0.829	0.989	1.848	1.790
				winter	0.899	2.222	0.999	1.053	1.029
		136	137	spring	1.159	-0.657	0.998	1.175	1.129
				summer	1.072	-0.096	0.971	1.562	1.448
				autumn	1.156	-1.540	0.989	1.652	1.578
				winter	0.993	0.459	0.999	0.379	0.372
		137	138	spring	1.225	-1.296	0.998	1.239	1.157
				summer	1.080	-0.240	0.966	1.619	1.488
				autumn	1.249	-3.694	0.995	1.487	1.357
				winter	1.014	0.293	0.998	0.482	0.472
		138	139	spring	1.193	-0.705	0.995	1.425	1.366
				summer	0.991	2.162	0.970	2.039	1.976
				autumn	1.146	-0.907	0.991	2.071	2.028
				winter	0.955	1.338	0.995	0.811	0.793
		141	142	spring	0.945	3.942	0.975	3.464	3.430
				summer	1.015	1.686	0.995	1.976	1.965
				autumn	0.909	3.813	0.996	2.192	2.170
				winter	1.118	1.136	0.994	2.420	2.391
		142	143	spring	0.677	7.110	0.977	4.465	4.192
				summer	0.940	2.793	0.979	1.660	1.597
				autumn	0.875	4.314	0.995	2.033	1.984
				winter	0.792	5.065	0.984	2.996	2.868
		143	144	spring	0.775	5.275	0.957	3.008	2.814
				summer	0.991	1.908	0.978	1.772	1.723
				autumn	0.934	2.758	0.991	1.495	1.459
				winter	0.837	3.854	0.944	2.087	1.879

表 8 北緯 37 度～38 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
37	38	144	145	spring	0.840	4.563	0.971	2.865	2.771
				summer	1.045	1.011	0.970	1.992	1.929
				autumn	0.952	2.645	0.983	1.756	1.714
				winter	0.898	3.486	0.972	2.294	2.222
		145	146	spring	0.841	4.096	0.971	2.330	2.239
				summer	1.047	0.958	0.968	1.962	1.899
				autumn	0.906	4.058	0.992	2.305	2.275
				winter	0.907	3.917	0.965	2.872	2.821
		146	147	spring	1.000	1.972	0.952	2.041	1.974
				summer	1.095	-0.141	0.973	1.842	1.775
				autumn	0.938	3.166	0.980	2.003	1.962
				winter	0.915	3.012	0.983	1.988	1.955
		147	148	spring	0.906	3.065	0.958	1.971	1.898
				summer	1.036	1.643	0.990	2.378	2.361
				autumn	0.988	1.710	0.992	1.492	1.473
				winter	0.935	1.962	0.988	1.130	1.094
		148	149	spring	0.753	4.747	0.952	1.821	1.635
				summer	1.008	2.620	0.987	2.786	2.767
				autumn	0.996	1.776	0.986	1.715	1.688
				winter	0.856	3.236	0.974	1.395	1.295
149	150	spring	0.746	4.978	0.946	2.008	1.848		
		summer	1.032	2.539	0.966	3.191	3.144		
		autumn	0.915	4.085	0.968	2.492	2.436		
		winter	0.764	5.488	0.949	2.662	2.529		

表 9 北緯 38 度～39 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
38	39	135	136	spring	1.088	1.198	0.999	2.047	2.037
				summer	1.000	1.740	0.963	1.846	1.747
				autumn	1.081	0.804	0.998	2.290	2.273
				winter	1.055	0.305	0.995	0.916	0.896
		136	137	spring	1.096	0.974	0.986	1.924	1.896
				summer	0.983	2.256	0.972	1.979	1.910
				autumn	1.054	1.320	0.996	2.326	2.312
				winter	1.025	0.914	0.995	1.192	1.182
		137	138	spring	1.170	-0.085	0.995	1.631	1.593
				summer	1.041	1.016	0.965	1.944	1.846
				autumn	1.190	-1.531	0.992	2.107	2.032
				winter	0.997	0.911	0.997	0.886	0.878
		138	139	spring	1.258	-1.434	0.996	1.304	1.214
				summer	1.083	0.107	0.966	1.917	1.806
				autumn	1.259	-3.068	0.987	2.051	1.926
				winter	1.051	0.148	0.999	0.744	0.734
		139	140	spring	1.221	-1.188	0.997	1.173	1.082
				summer	1.106	-0.640	0.962	1.713	1.575
				autumn	1.262	-3.468	0.995	1.803	1.682
				winter	1.008	0.623	0.997	0.722	0.714
		141	142	spring	0.969	2.886	0.947	2.717	2.636
				summer	1.148	-0.885	0.988	1.870	1.803
				autumn	1.051	1.016	0.994	1.915	1.901
				winter	1.195	-0.286	0.963	1.801	1.665
		142	143	spring	0.736	5.883	0.973	4.326	4.179
				summer	0.986	2.448	0.976	2.251	2.199
				autumn	0.890	4.155	0.990	2.322	2.284
				winter	0.845	4.372	0.970	3.120	3.030

表 10 北緯 38 度～39 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
38	39	143	144	spring	0.704	5.473	0.950	3.374	3.094
				summer	1.015	1.899	0.976	2.233	2.177
				autumn	0.867	4.247	0.974	1.969	1.874
				winter	0.753	5.195	0.980	3.086	2.913
		144	145	spring	0.713	5.091	0.941	2.772	2.466
				summer	1.070	0.922	0.974	2.277	2.212
				autumn	0.923	3.285	0.964	1.995	1.904
				winter	0.775	4.487	0.988	2.358	2.209
		145	146	spring	0.660	5.601	0.934	2.780	2.394
				summer	0.951	3.264	0.957	2.438	2.359
				autumn	0.852	5.011	0.978	2.518	2.436
				winter	0.768	4.788	0.987	2.645	2.517
		146	147	spring	0.672	5.489	0.875	2.624	2.259
				summer	0.937	3.595	0.944	2.522	2.422
				autumn	0.963	2.941	0.980	2.323	2.285
				winter	0.715	4.836	0.988	1.939	1.698
		147	148	spring	0.766	4.623	0.921	2.429	2.240
				summer	1.017	2.627	0.978	2.978	2.948
				autumn	0.938	2.712	0.961	1.638	1.540
				winter	0.713	4.943	0.972	1.855	1.646
		148	149	spring	0.699	5.563	0.947	2.768	2.561
				summer	1.053	2.583	0.980	3.550	3.523
				autumn	0.889	4.190	0.931	2.282	2.160
				winter	0.653	6.034	0.931	2.439	2.147
		149	150	spring	0.651	6.662	0.956	3.693	3.495
				summer	1.019	3.629	0.957	4.009	3.956
				autumn	0.877	5.379	0.948	3.316	3.240
				winter	0.635	7.383	0.930	4.087	3.868

表 11 北緯 39 度～40 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
39	40	135	136	spring	1.119	0.887	0.995	1.846	1.816
				summer	0.951	2.819	0.972	1.968	1.885
				autumn	1.053	1.321	0.997	2.221	2.204
				winter	1.038	0.523	0.972	0.933	0.836
		136	137	spring	1.116	1.034	0.988	2.022	1.991
				summer	1.020	1.620	0.970	2.076	1.998
				autumn	1.077	1.090	0.996	2.423	2.403
				winter	1.125	0.115	0.996	1.278	1.247
		137	138	spring	1.143	0.794	0.996	2.047	2.025
				summer	1.036	1.384	0.963	2.178	2.083
				autumn	1.131	0.041	0.997	2.377	2.342
				winter	1.046	0.627	0.995	1.102	1.089
		138	139	spring	1.073	0.937	0.972	1.657	1.613
				summer	1.050	0.954	0.958	2.054	1.938
				autumn	1.220	-1.942	0.995	2.172	2.087
				winter	0.944	1.797	0.998	1.225	1.215
		139	140	spring	1.223	-0.989	0.997	1.252	1.176
				summer	1.096	-0.090	0.963	1.960	1.841
				autumn	1.266	-3.250	0.998	1.928	1.818
				winter	0.999	0.642	0.997	0.641	0.630
		141	141	spring	0.844	3.493	0.936	2.508	2.390
				summer	1.140	-0.974	0.987	1.535	1.452
				autumn	1.107	-0.245	0.986	1.627	1.581
				winter	0.871	2.538	0.913	1.579	1.333
		142	142	spring	0.666	5.201	0.983	3.617	3.421
				summer	1.000	2.062	0.976	2.118	2.061
				autumn	0.927	3.360	0.969	2.251	2.193
				winter	0.784	4.090	0.981	2.560	2.432

表 12 北緯 39 度～40 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
39	40	143	143	spring	0.626	5.316	0.987	3.366	3.049
				summer	0.987	2.183	0.986	1.996	1.957
				autumn	0.961	2.495	0.964	1.934	1.854
				winter	0.778	4.333	0.992	2.753	2.633
		144	144	spring	0.599	5.009	0.970	2.707	2.187
				summer	1.072	0.087	0.992	1.402	1.353
				autumn	0.984	1.878	0.993	1.621	1.603
				winter	0.752	4.205	0.994	2.435	2.275
		145	145	spring	0.649	5.092	0.961	3.168	2.821
				summer	0.881	4.299	0.978	2.420	2.335
				autumn	0.879	4.129	0.994	2.259	2.207
				winter	0.754	4.795	0.983	3.345	3.222
		146	146	spring	0.674	5.549	0.955	3.791	3.554
				summer	0.881	4.920	0.983	3.074	3.012
				autumn	0.973	3.040	0.982	2.653	2.618
				winter	0.643	5.249	0.985	3.111	2.809
		147	147	spring	0.583	6.369	0.909	3.833	3.457
				summer	1.020	2.818	0.951	3.232	3.150
				autumn	0.882	4.665	0.979	2.844	2.783
				winter	0.561	6.344	0.984	3.474	2.979
		148	148	spring	0.602	6.348	0.881	3.568	3.250
				summer	1.083	2.092	0.958	3.531	3.461
				autumn	0.803	5.819	0.932	2.706	2.533
				winter	0.483	7.479	0.950	3.706	3.032
		149	149	spring	0.751	5.683	0.961	3.977	3.897
				summer	1.089	2.611	0.973	4.061	4.019
				autumn	0.841	5.883	0.937	3.422	3.316
				winter	0.527	7.658	0.982	4.206	3.840

表 13 北緯 40 度～41 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
40	41	135	136	spring	1.154	0.798	0.995	1.657	1.597
				summer	0.959	2.473	0.983	1.821	1.759
				autumn	1.103	0.088	0.993	1.717	1.638
				winter	0.957	0.552	0.996	0.380	0.336
		136	137	spring	1.056	1.157	0.985	1.548	1.509
				summer	0.985	1.974	0.977	1.780	1.701
				autumn	1.112	-0.099	0.997	1.702	1.644
				winter	1.001	0.529	0.997	0.552	0.536
		137	138	spring	1.088	0.675	0.997	1.332	1.312
				summer	1.039	0.862	0.976	1.653	1.562
				autumn	1.078	0.422	0.998	1.715	1.685
				winter	1.079	0.036	0.998	0.680	0.650
		138	139	spring	1.125	0.718	0.985	1.737	1.699
				summer	1.019	1.405	0.961	1.875	1.755
				autumn	1.117	-0.198	0.991	1.863	1.795
				winter	1.022	0.710	0.996	0.917	0.906
		139	140	spring	1.232	-0.777	0.991	1.387	1.314
				summer	1.051	0.967	0.955	2.069	1.945
				autumn	1.233	-2.324	0.995	2.019	1.913
				winter	1.049	-0.096	0.998	0.444	0.418
		140	141	spring	1.148	-0.795	0.978	0.662	0.587
				summer	1.186	-2.421	0.983	1.258	1.053
				autumn	1.127	-0.418	0.996	1.857	1.812
				winter	1.199	-0.881	0.961	1.176	1.099
		141	142	spring	0.769	2.355	0.956	0.975	0.666
				summer	1.161	-1.748	0.979	1.145	0.929
				autumn	1.083	0.202	0.994	1.615	1.589
				winter	0.915	1.648	0.987	0.978	0.909
142	143	spring	0.677	4.629	0.992	3.437	3.281		
		summer	1.009	1.756	0.979	1.958	1.897		
		autumn	0.904	3.593	0.993	2.132	2.104		
		winter	0.762	3.828	0.998	2.365	2.224		

表 14 北緯 40 度～41 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
40	41	143	144	spring	0.796	4.137	0.972	3.466	3.385
				summer	0.970	2.585	0.986	2.176	2.137
				autumn	0.927	2.837	0.991	1.757	1.723
				winter	0.825	2.710	0.992	1.731	1.652
		144	145	spring	0.798	3.171	0.983	2.411	2.308
				summer	0.958	2.324	0.999	1.686	1.674
				autumn	0.907	2.381	0.989	1.017	0.930
				winter	0.745	2.691	0.980	1.474	1.318
		145	146	spring	0.735	3.435	0.983	2.519	2.331
				summer	0.920	3.341	0.998	2.189	2.164
				autumn	0.885	2.977	0.982	1.347	1.231
				winter	0.772	3.221	0.976	2.181	2.047
		146	147	spring	0.767	4.074	0.977	3.444	3.355
				summer	0.946	3.418	0.997	2.671	2.657
				autumn	0.887	3.422	0.986	1.887	1.815
				winter	0.830	3.525	0.995	2.837	2.790
		147	148	spring	0.721	4.979	0.950	4.348	4.226
				summer	0.922	4.009	0.974	2.999	2.926
				autumn	0.937	3.263	0.990	2.427	2.396
				winter	0.827	4.242	0.996	3.607	3.572
		148	149	spring	0.650	5.648	0.957	4.547	4.347
				summer	0.950	3.953	0.977	3.293	3.242
				autumn	0.913	4.017	0.980	2.839	2.782
				winter	0.674	5.223	0.976	3.889	3.718
		149	150	spring	0.691	5.586	0.982	4.249	4.113
				summer	1.066	2.659	0.979	3.645	3.606
				autumn	0.858	5.106	0.985	3.105	3.040
				winter	0.586	6.017	0.982	4.134	3.852

表 15 北緯 41 度～42 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
41	42	135	136	spring	1.164	0.766	0.997	1.418	1.353
				summer	1.016	1.252	0.986	1.570	1.507
				autumn	1.090	0.164	0.993	1.494	1.403
				winter	0.903	0.650	0.998	0.397	0.346
		136	137	spring	1.123	0.823	0.997	1.375	1.336
				summer	0.997	1.587	0.986	1.598	1.541
				autumn	1.052	0.528	0.998	1.290	1.261
				winter	0.871	0.834	0.998	0.416	0.346
		137	138	spring	1.119	0.730	0.995	1.404	1.371
				summer	1.009	1.257	0.981	1.479	1.402
				autumn	1.107	-0.645	0.998	1.040	0.953
				winter	0.895	0.771	0.999	0.298	0.254
		138	139	spring	1.019	1.724	0.994	1.857	1.850
				summer	0.973	2.130	0.971	1.766	1.672
				autumn	1.126	-0.652	0.996	1.413	1.328
				winter	0.939	1.612	0.989	1.237	1.207
		139	140	spring	1.007	1.386	0.987	1.457	1.439
				summer	1.069	0.532	0.965	1.899	1.784
				autumn	1.137	-0.020	0.997	2.277	2.226
				winter	0.953	1.337	0.998	0.951	0.938
		140	141	spring	1.165	-0.681	0.994	0.778	0.727
				summer	1.104	-0.856	0.973	1.221	1.039
				autumn	1.115	0.043	0.999	2.046	2.016
				winter	1.294	-2.533	0.981	0.805	0.685
		141	142	spring	0.657	4.370	0.982	2.925	2.691
				summer	1.008	0.945	0.973	1.213	1.078
				autumn	1.036	1.199	0.998	1.784	1.776
				winter	0.843	2.014	0.988	1.013	0.814
142	143	spring	0.801	3.779	0.993	3.228	3.174		
		summer	1.025	1.044	0.987	1.487	1.430		
		autumn	0.995	1.541	0.993	1.474	1.455		
		winter	0.763	2.734	0.999	1.556	1.312		

表 16 北緯 41 度～42 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
41	42	143	144	spring	0.938	2.810	0.986	2.693	2.669
				summer	1.002	2.062	0.985	2.129	2.088
				autumn	0.924	3.120	0.994	2.105	2.078
				winter	0.852	2.571	0.991	2.080	1.999
		144	145	spring	0.942	1.519	0.993	1.380	1.359
				summer	1.017	1.404	0.990	1.671	1.630
				autumn	0.936	1.591	0.995	0.740	0.677
				winter	0.874	1.544	0.973	1.154	1.085
		145	146	spring	0.899	2.002	0.998	1.750	1.728
				summer	1.039	1.147	0.984	1.735	1.671
				autumn	0.962	0.699	0.987	0.395	0.288
				winter	0.907	1.496	0.967	1.218	1.151
		146	147	spring	0.943	2.795	0.995	2.692	2.684
				summer	1.010	1.991	0.985	2.161	2.119
				autumn	1.013	0.256	0.995	0.498	0.445
				winter	0.763	2.390	0.995	1.631	1.471
		147	148	spring	1.029	3.170	0.986	3.220	3.209
				summer	0.940	3.323	0.992	2.602	2.573
				autumn	1.035	0.794	0.991	1.300	1.259
				winter	0.686	2.806	0.989	2.051	1.903
148	149	spring	1.032	3.252	0.984	3.306	3.294		
		summer	0.958	3.773	0.995	3.287	3.273		
		autumn	0.947	2.854	0.980	2.254	2.196		
		winter	0.816	2.938	0.976	2.538	2.493		
149	150	spring	1.077	3.533	0.992	3.671	3.663		
		summer	1.041	3.267	0.996	3.753	3.744		
		autumn	0.949	3.185	0.989	2.590	2.558		
		winter	0.942	3.398	0.985	3.277	3.267		

表 17 北緯 42 度～43 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
42	43	135	136	spring	1.028	1.568	0.996	1.652	1.642
				summer	1.042	0.517	0.989	1.234	1.165
				autumn	1.003	2.121	0.992	2.188	2.157
				winter	0.960	1.180	0.997	1.103	1.096
		136	137	spring	1.103	1.567	0.998	1.903	1.885
				summer	1.003	1.564	0.992	1.644	1.614
				autumn	1.018	1.772	0.994	2.032	2.003
				winter	0.908	1.449	0.985	1.236	1.223
		137	138	spring	0.995	2.332	0.996	2.318	2.312
				summer	0.958	2.596	0.989	1.984	1.946
				autumn	1.018	1.735	0.996	1.998	1.979
				winter	0.811	2.426	0.978	1.892	1.842
		138	139	spring	1.001	2.545	0.996	2.553	2.549
				summer	0.957	2.622	0.977	2.003	1.927
				autumn	1.020	1.670	0.998	1.964	1.954
				winter	0.804	2.740	0.984	1.869	1.798
		139	140	spring	1.006	1.407	0.959	1.510	1.452
				summer	1.030	1.088	0.971	1.697	1.597
				autumn	1.097	0.884	0.996	2.386	2.351
				winter	0.846	2.331	0.998	1.363	1.314
		140	141	spring	0.602	5.286	0.959	3.747	3.504
				summer	0.875	4.592	0.961	2.671	2.587
				autumn	0.791	6.836	0.993	4.055	3.974
				winter	0.749	3.944	0.980	2.802	2.716
		141	142	spring	0.853	4.097	0.964	3.763	3.716
				summer	1.073	0.694	0.974	1.875	1.783
				autumn	1.008	2.582	0.991	2.707	2.691
				winter	0.744	3.003	0.990	1.919	1.691
142	143	spring	0.895	3.827	0.979	3.642	3.615		
		summer	1.088	0.916	0.979	2.242	2.167		
		autumn	1.006	2.873	0.993	2.962	2.951		
		winter	0.727	3.774	0.989	2.909	2.708		

表 18 北緯 42 度～43 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
42	43	143	144	spring	1.121	2.332	0.987	2.493	2.461
				summer	0.941	2.880	0.976	2.230	2.157
				autumn	1.007	1.741	0.994	1.836	1.821
				winter	0.908	2.734	0.969	2.638	2.579
		144	145	spring	0.925	1.494	0.987	1.411	1.369
				summer	1.046	0.221	0.979	0.981	0.818
				autumn	1.007	0.698	0.994	0.824	0.790
				winter	0.863	1.773	0.990	1.534	1.452
		145	146	spring	0.856	1.541	0.975	1.388	1.290
				summer	1.072	-0.154	0.974	0.980	0.750
				autumn	1.065	-0.353	0.980	0.688	0.485
				winter	0.836	1.606	0.991	1.299	1.194
		146	147	spring	0.873	2.132	0.981	2.001	1.959
				summer	1.081	-0.025	0.973	1.167	0.977
				autumn	1.049	0.203	0.988	0.889	0.802
				winter	0.740	2.249	0.996	1.821	1.683
		147	148	spring	0.979	2.496	0.979	2.491	2.477
				summer	0.996	1.690	0.989	1.682	1.643
				autumn	0.947	1.980	0.995	1.380	1.352
				winter	0.701	2.542	0.982	2.129	2.047
		148	149	spring	0.936	2.554	0.993	2.507	2.501
				summer	1.051	1.610	0.997	2.187	2.173
				autumn	0.907	2.804	0.996	1.785	1.743
				winter	0.863	2.465	0.982	2.270	2.249
		149	150	spring	1.013	2.385	0.993	2.402	2.398
				summer	1.103	1.477	0.994	2.589	2.553
				autumn	0.974	2.175	0.991	1.910	1.883
				winter	0.970	2.350	0.996	2.306	2.303

表 19 北緯 43 度～44 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
43	44	135	136	spring	0.879	1.720	0.989	1.548	1.491
				summer	1.126	-1.229	0.991	0.798	0.637
				autumn	1.021	2.213	0.981	2.521	2.441
				winter	0.873	1.227	0.965	1.194	1.142
		136	137	spring	1.012	2.090	0.991	2.131	2.118
				summer	1.054	0.566	0.990	1.402	1.338
				autumn	1.073	1.309	0.992	2.200	2.141
				winter	1.065	1.258	0.996	1.355	1.349
		137	138	spring	1.111	2.559	0.983	2.888	2.860
				summer	0.985	2.357	0.988	2.174	2.140
				autumn	1.036	2.371	0.993	2.822	2.796
				winter	1.170	1.890	0.994	2.256	2.237
		138	139	spring	1.109	2.713	0.989	3.094	3.076
				summer	0.958	3.015	0.983	2.445	2.398
				autumn	0.995	3.112	0.996	3.055	3.046
				winter	1.065	2.651	0.977	2.858	2.841
		139	140	spring	0.997	2.485	0.992	2.478	2.470
				summer	0.935	2.772	0.975	1.831	1.735
				autumn	1.003	2.534	0.998	2.585	2.579
				winter	0.802	3.004	0.990	2.156	2.098
140	141	spring	1.143	-0.043	0.972	1.020	0.922		
		summer	1.029	0.685	0.975	1.270	1.162		
		autumn	1.059	1.245	0.994	2.137	2.113		
		winter	0.893	1.455	0.996	0.818	0.781		

表 20 北緯 43 度～44 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
43	44	141	142	spring	0.851	2.614	0.939	1.875	1.743
				summer	1.074	0.028	0.981	1.348	1.264
				autumn	1.030	1.716	0.998	2.154	2.146
				winter	0.693	4.003	0.985	2.917	2.780
		145	146	spring	0.968	1.549	0.980	1.567	1.534
				summer	1.070	-0.365	0.974	0.739	0.528
				autumn	1.009	0.664	0.988	0.843	0.779
				winter	0.895	1.915	0.953	1.958	1.870
		146	147	spring	0.968	1.861	0.973	1.883	1.858
				summer	1.050	-0.014	0.975	0.776	0.554
				autumn	0.977	0.847	0.985	0.682	0.583
				winter	0.853	1.949	0.979	1.877	1.814
		147	148	spring	0.974	2.397	0.976	2.406	2.394
				summer	1.024	0.854	0.978	1.216	1.099
				autumn	0.900	2.277	0.989	1.326	1.247
				winter	0.910	2.465	0.991	2.413	2.401
		148	149	spring	0.885	2.360	0.990	2.314	2.303
				summer	1.100	0.356	0.984	1.451	1.350
				autumn	0.869	2.667	0.976	1.455	1.319
				winter	1.045	2.263	0.994	2.314	2.310
149	150	spring	0.859	2.296	0.989	2.228	2.212		
		summer	1.114	-0.017	0.980	1.287	1.141		
		autumn	0.945	2.032	0.978	1.547	1.474		
		winter	0.993	2.199	0.988	2.198	2.191		

表 21 北緯 44 度～45 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
44	45	135	136	spring	0.829	1.426	0.987	1.286	1.158
				summer	1.186	-1.812	0.997	0.951	0.773
				autumn	1.009	3.011	0.972	3.188	3.089
				winter	0.913	1.818	0.849	1.958	1.876
		136	137	spring	0.837	2.062	0.994	1.861	1.800
				summer	1.105	-0.756	0.994	0.824	0.696
				autumn	1.063	1.359	0.994	2.066	2.015
				winter	0.715	1.612	0.941	1.617	1.511
		137	138	spring	1.019	1.789	0.996	1.838	1.832
				summer	1.053	0.463	0.989	1.269	1.193
				autumn	1.118	0.505	0.996	1.914	1.829
				winter	0.907	1.139	0.995	1.010	0.996
		138	139	spring	1.087	1.917	0.996	2.171	2.160
				summer	0.999	1.772	0.987	1.808	1.761
				autumn	1.108	0.704	0.999	2.042	1.992
				winter	0.918	1.506	0.993	1.314	1.299
		139	140	spring	1.008	1.947	0.980	1.999	1.978
				summer	0.959	2.136	0.987	1.584	1.525
				autumn	1.096	0.511	0.996	1.830	1.778
				winter	0.760	2.410	0.973	1.558	1.446
		140	141	spring	0.997	1.262	0.939	1.333	1.242
				summer	1.015	0.900	0.983	1.218	1.137
				autumn	1.088	0.766	0.993	2.046	2.003
				winter	0.896	1.480	0.975	0.969	0.909
		141	142	spring	0.898	2.225	0.933	1.793	1.679
				summer	1.031	0.592	0.983	1.176	1.098
				autumn	1.086	0.749	0.998	2.011	1.986
				winter	0.792	2.514	0.980	1.687	1.576
142	143	spring	0.699	1.408	0.964	1.440	1.254		
		summer	1.087	-1.774	0.989	0.702	0.605		
		autumn	1.007	-0.421	0.955	1.019	0.791		
		winter	0.964	1.828	0.876	1.939	1.871		

表 22 北緯 44 度～45 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
44	45	143	144	spring	0.887	1.746	0.956	1.812	1.723
				summer	0.940	1.433	0.970	0.929	0.683
				autumn	0.942	1.446	0.982	1.046	0.840
				winter	1.255	2.012	0.919	1.851	1.770
		144	145	spring	1.025	1.989	0.913	2.086	1.981
				summer	0.871	2.249	0.952	1.142	0.759
				autumn	0.960	1.039	0.991	0.719	0.613
				winter	0.978	1.512	0.926	1.598	1.524
		145	146	spring	1.207	2.430	0.872	2.432	2.287
				summer	0.799	2.850	0.946	1.244	0.807
				autumn	0.937	1.149	0.993	0.565	0.437
				winter	0.967	1.813	0.949	1.874	1.819
		146	147	spring	1.194	2.423	0.891	2.377	2.284
				summer	0.832	2.626	0.973	1.214	0.854
				autumn	0.930	1.201	0.995	0.519	0.411
				winter	0.912	1.964	0.959	2.001	1.948
		147	148	spring	1.121	2.394	0.948	2.364	2.334
				summer	0.929	1.489	0.974	0.992	0.811
				autumn	0.834	2.480	0.982	1.056	0.866
				winter	0.864	2.383	0.961	2.355	2.312
		148	149	spring	0.902	2.397	0.958	2.435	2.419
				summer	0.948	1.129	0.967	0.885	0.687
				autumn	0.850	2.150	0.969	0.971	0.753
				winter	0.821	2.598	0.977	2.561	2.532
		149	150	spring	0.786	2.362	0.971	2.359	2.334
				summer	0.916	1.185	0.975	0.676	0.474
				autumn	0.902	1.861	0.990	1.050	0.966
				winter	0.901	2.000	0.996	1.910	1.903

表 23 北緯 45 度～46 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(1)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
45	46	136	137	spring	0.818	2.418	0.989	2.262	2.199
				summer	1.107	-0.084	0.997	1.344	1.283
				autumn	0.976	3.394	0.981	3.246	3.183
				winter	0.829	2.766	0.751	3.005	2.938
		137	138	spring	0.816	2.596	0.991	2.433	2.379
				summer	1.073	-0.014	0.996	1.006	0.946
				autumn	1.034	1.903	0.998	2.254	2.242
				winter	0.613	2.263	0.892	2.468	2.343
		138	139	spring	0.860	2.514	0.992	2.294	2.259
				summer	1.037	0.519	0.990	1.092	1.023
				autumn	1.140	-0.221	0.999	1.477	1.367
				winter	0.607	1.668	0.989	1.241	1.030
		139	140	spring	0.844	2.752	0.979	2.389	2.343
				summer	0.954	2.035	0.993	1.442	1.402
				autumn	1.088	0.324	0.999	1.448	1.401
				winter	0.786	1.656	0.989	1.106	1.025
		140	141	spring	0.755	2.722	0.942	1.820	1.674
				summer	1.014	0.808	0.992	1.056	1.007
				autumn	1.106	0.435	0.997	1.864	1.814
				winter	0.846	1.614	0.983	1.024	0.958
		141	142	spring	0.674	3.257	0.953	2.233	1.972
				summer	1.045	-0.129	0.993	0.639	0.552
				autumn	1.160	-0.497	0.994	1.735	1.612
				winter	0.601	2.628	0.937	1.961	1.497
		142	143	spring	0.775	2.843	0.925	2.816	2.677
				summer	0.934	2.065	0.982	1.346	1.243
				autumn	0.984	1.932	0.994	1.802	1.770
				winter	0.919	2.139	0.896	2.248	2.199

表 24 北緯 45 度～46 度線上における 1° 経度別・季節別の各値に関して(2)

緯度 ①	緯度 ②	経度 ①	経度 ②	季節	回帰係 数	切片	R2	RMSE	MAE
45	46	143	144	spring	1.155	2.484	0.930	2.492	2.407
				summer	0.864	3.031	0.964	1.713	1.502
				autumn	0.936	2.418	0.996	1.883	1.849
				winter	1.232	2.160	0.881	2.010	1.921
		144	145	spring	1.234	2.357	0.912	2.275	2.167
				summer	0.825	3.144	0.970	1.577	1.282
				autumn	0.924	1.698	0.997	1.004	0.945
				winter	0.974	1.774	0.919	1.860	1.786
		145	146	spring	1.273	2.625	0.829	2.490	2.344
				summer	0.778	3.419	0.972	1.582	1.145
				autumn	0.839	2.549	0.996	1.133	0.943
				winter	0.953	2.200	0.903	2.290	2.212
		146	147	spring	1.491	3.291	0.688	2.871	2.663
				summer	0.775	3.613	0.973	1.812	1.458
				autumn	0.807	2.962	0.995	1.294	1.068
				winter	0.997	2.367	0.911	2.432	2.367
		147	148	spring	1.696	3.856	0.657	3.108	2.915
				summer	0.679	4.849	0.966	2.465	1.979
				autumn	0.737	4.164	0.983	1.872	1.605
				winter	0.942	2.886	0.923	2.940	2.896
		148	149	spring	1.352	3.002	0.817	2.698	2.614
				summer	0.811	2.685	0.968	1.449	1.116
				autumn	0.821	2.799	0.984	1.266	1.087
				winter	0.890	2.799	0.919	2.857	2.803
		149	150	spring	0.908	2.633	0.918	2.721	2.706
				summer	0.803	2.041	0.971	0.991	0.630
				autumn	0.826	2.205	0.981	0.982	0.783
				winter	0.751	2.804	0.924	2.907	2.865

4.2.2. 補正方法

北海道・東北沿岸の海域におけるバイアス補正に関しては、領域が広大となる為、緯度×経度それぞれ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ で囲まれている格子毎に表 2 の補正方法を用いてバイアス補正を行った。

表 25 バイアス補正方法

	内容
気候指標	水温
方法	観測値とモデル出力値（現在）をソートし回帰式を作成し補正を行う方法。
概要	<p>【概要】</p> <p>$1^{\circ} \times 1^{\circ}$（緯度×経度）格子毎に、衛星データによる観測値とモデル出力値を小さい値から大きい値の順に並べ替え、平面プロットし、回帰式を作成した。それぞれの格子に作成した回帰式を適用し、補正を行った。</p> <p>（回帰式は前項の表 5～表 24 に記載する、回帰係数と切片を用いた式となる。）</p> <p>【課題・限界等について】</p> <p>① 使用した衛星データは、0.25° と気候モデルデータ（2km メッシュ）よりも粗い為、補正を行う際には親潮や黒潮等の細い流れまでを補正することは難しい。</p>
参考文献	Piani et al.(2010) (佐々木他,2015)

4.2.3. バイアス補正結果

作成した、回帰式を使用し季節別・深さ毎に補正を実施した。補正前と補正後の RMSE 値を比較した結果を図 31、図 32、図 33、図 34 に示した。RMSE 値を見ると 0.6°C以内となり、観測値に近い補正を行う事が出来た。

また、補正した結果を、時系列データとして整理した結果を図 35 に示した。(量が多いので一部の結果抜粋) 補正後はおおむね観測値と近い値を示すことが確認できた。

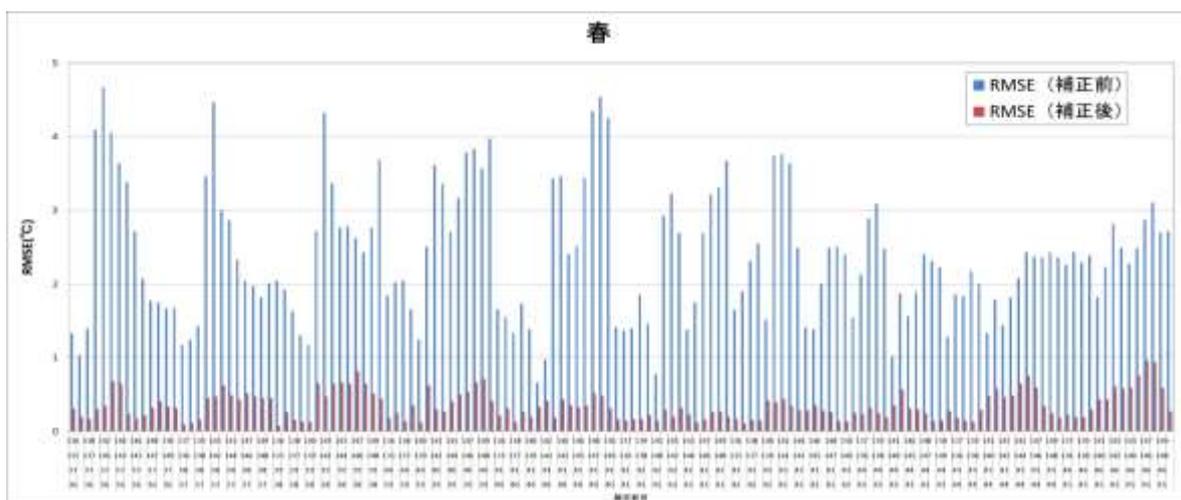


図 31 春季における各緯度経度の RMSE 値
(青が補正前、赤が補正後の RMSE 値を示す)

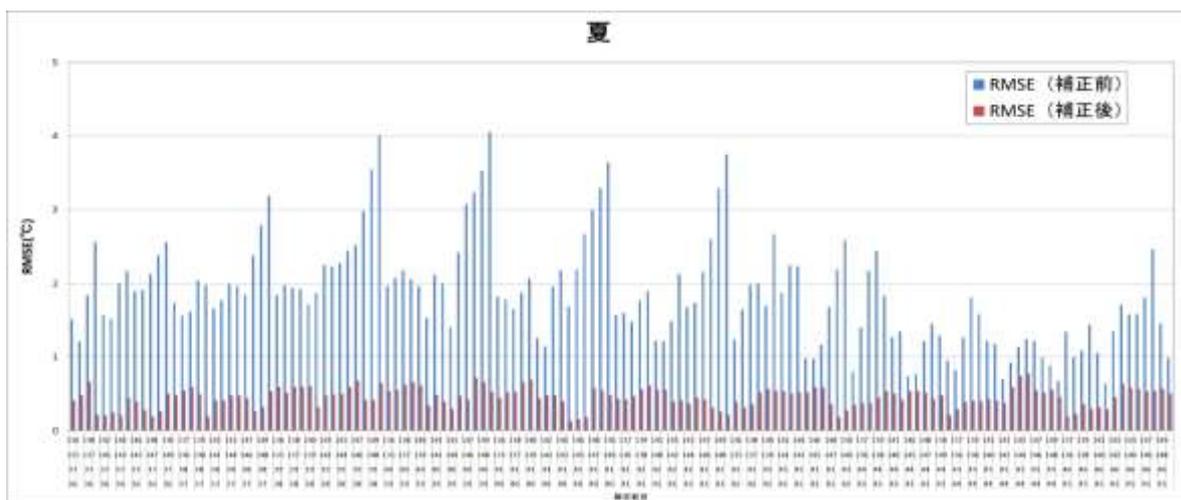


図 32 夏季における各緯度経度の RMSE 値
(青が補正前、赤が補正後の RMSE 値を示す)

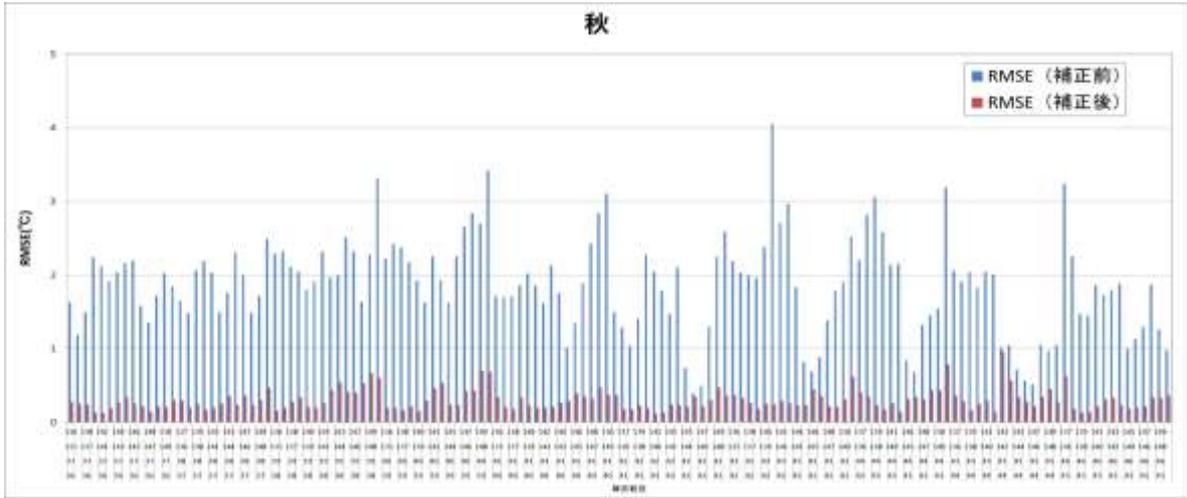


図 33 秋季における各緯度経度の RMSE 値
(青が補正前、赤が補正後の RMSE 値を示す)

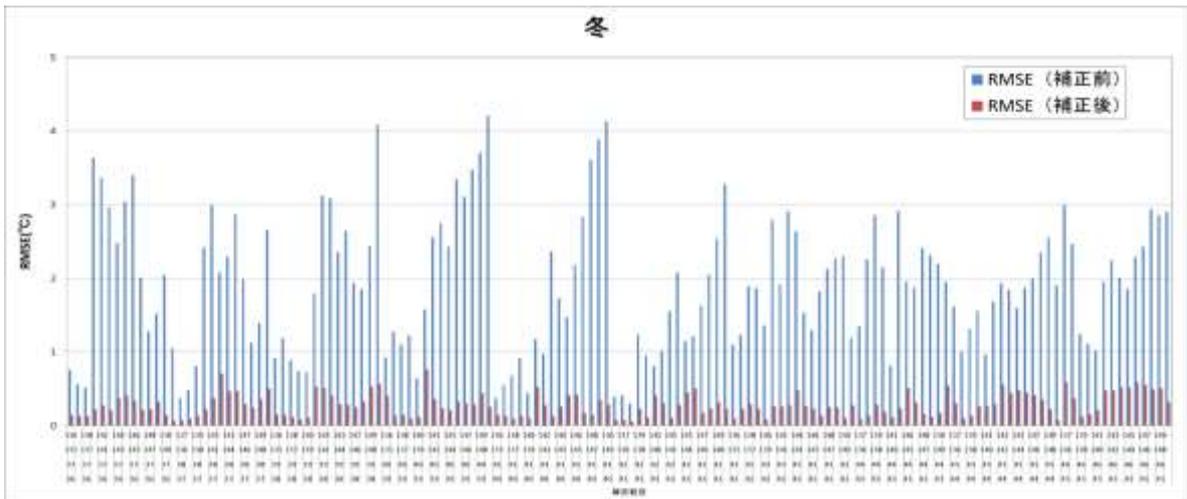


図 34 冬季における各緯度経度の RMSE 値
(青が補正前、赤が補正後の RMSE 値を示す)

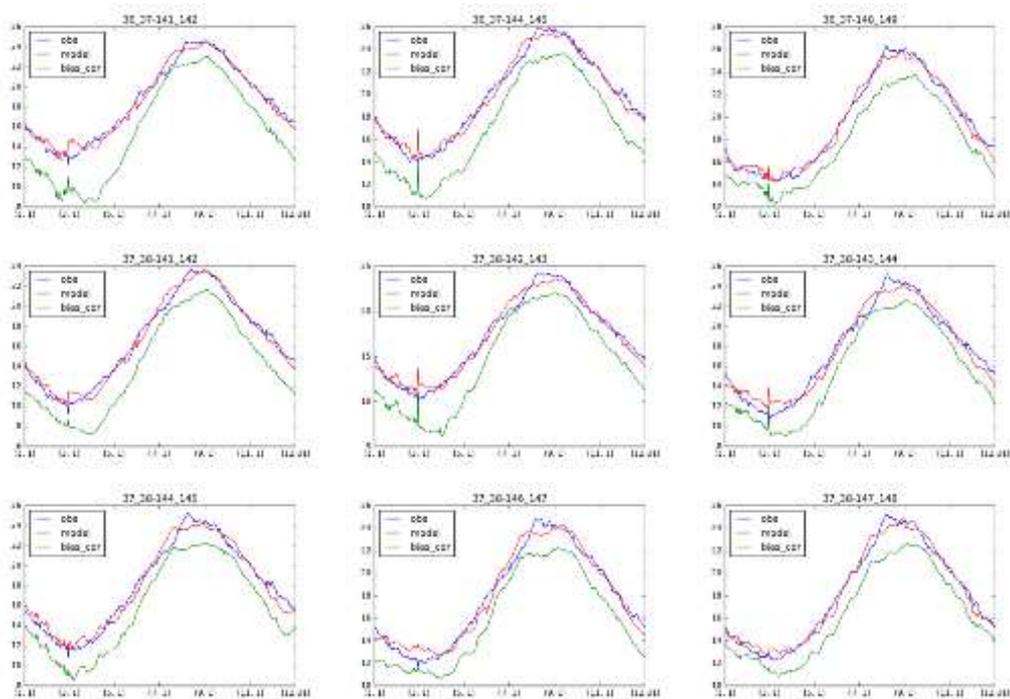


図 35 各緯度・経度における水温データの時系列図（一部）

(obs:観測値、model:モデル出力値（現在）、bias_cor:バイアス補正済みモデル出力値（現在）)

5. まとめ

今回は Piani et al.(2010)の手法を参考に補正を行い、陸奥湾及び、広域において RMSE 値を 0.6°C 以下で補正する事が出来た。しかし、あくまで観測値がある地点のみの結果である。陸奥湾においては影響評価に使用するデータに対して、使用できる観測値が 3 地点、深さ 4 層と限られており、観測値の無い層の再現性は確かめることができていない。来年度は、その他の補正方法についても検討し、観測データの無い層での補正方法による再現性の違いの比較を行っていきたい。

また、広域の補正に関しては、表面水温の使用のみである為、衛星データを使用することで十分補正の為のデータとして使用できている。しかし、三陸沖については、観測値の分解能 (0.25°) では黒潮・黒潮等の細かい海洋構造を再現することが難しいと言われており、観測値として再現性が乏しく、補正に反映しきれていない可能性が高い。使用できる高分解能な観測データがあればそちらの使用についても検討していく予定である。

6. 引用文献

- 佐々木 秀孝, 村田 昭彦, 川瀬 宏明, 花房 瑞樹, 野坂 真也, 大泉 三津夫, 水田 亮, 青柳 暁典, 志藤 文武, 石原幸司 (2015) 「気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来気候変化予測について」、気象研究所技術報告 第73号
- Banzon, V., Smith, T. M., Chin, T. M., Liu, C., and Hankins, W., 2016: A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 165–176, doi:10.5194/essd-8-165-2016.
- C. Piani, J. O. Haerter, E. Coppola (2010) 「Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, *Theor Appl Climatol* (2010) 99:187–192