

猛暑時のホタテガイへい死率を低減する養殖生産技術の開発

水温予測技術の開発

田中 淳也

目 的

猛暑時のホタテガイへい死率を低減させるために、陸奥湾海況自動観測システム(通称ブイロボット)とホタテガイ養殖漁場に設置する自動観測ブイの観測結果から、湾の沖合域と漁場の関係をとらえることで湾内全体の海況を把握し、漁場での水温を統計的に予測する手法を開発する環境を整える。

材料と方法

1 ホタテガイ養殖漁場内の水温モニタリング

2010 年夏季のホタテガイ大量へい死時に特に被害が大きかった青森市奥内、野辺地町、むつ市浜奥内に水温自動観測ブイ(日油技研工業(株)製 水温リモート監視装置(ブイ式_rev3))を設置して毎時観測を行った(図 1)。観測は奥内ブイが 2011 年 8 月 11 日から、野辺地ブイが同月 9 日から、浜奥内が同月 13 日から開始し、観測層は 1m 層、10m 層、20m 層とした。

2 ブイロボットデータの統計的解析

水温予測手法を開発するために、ブイロボットのうち、最も観測期間の長い平舘、青森及び東湾ブイの各層水温データについて統計的解析を行った。

(1) データセットの整備

ブイロボットの観測は、1975 年から開始されており、今回の解析期間は 1975 年から 2010 年までとし、各層の月別平均水温を使用することとした。月別平均水温は、毎時観測水温を日単位で平均して日平均水温を求め、日平均水温を月単位で平均して求めた。なお、日平均水温は、日単位の毎時観測水温が 19 個以下の場合は欠測として扱ったが、月平均水温は、月単位の日平均水温が 1 個(1 日分)でもある場合は月平均水温として採用し、全欠測の場合のみ欠測とした。欠測期間が連続して 2 か月以内の場合は、前後のデータで内挿した。3 か月以上連続して欠測した場合は、該当する年のデータをすべて削除した。

また、平舘 30m 層水温については、1975 年～1984 年までセンサーが未実装でデータが存在しないため、1975 年～1984 年の 15m 層及び 45m 層の平均値から推定したものをを用いた。なお、この推定は、1985 年～2010 年までの同ブイの 15m 層及び 45m 層の平均値から算出される仮 30m 層データと、実際の 30m 層データとから作成した下記モデルを当てはめておこなった。

$$T_{TA30mTemp} = (T_{TA15mMeas} + T_{TA45mMeas}) / 2$$

$$T_{TA30mEst} = T_{TA30mTemp} \times 1.0283 - 0.2224$$

$T_{TA15mMeas}$: 平舘ブイ 15m 層の実測値 $T_{TA45mMeas}$: 平舘ブイ 45m 層の実測値

$T_{TA30mTemp}$: 平舘ブイ 30m 層の仮の値 $T_{TA30mEst}$: 平舘ブイ 30m 層の推定値

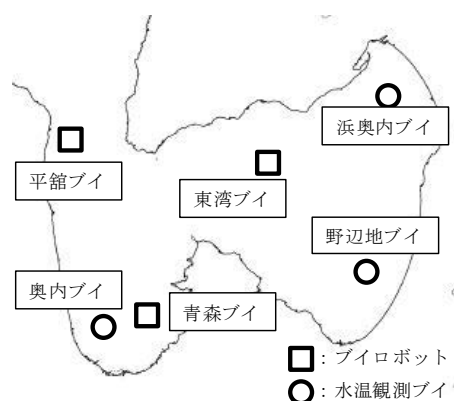


図 1 ブイ定点

表 1 - 1 解析データセット

年	月	平館パイ				青森パイ				東湾パイ			
		1m層	15m層	30m層	45m層	1m層	15m層	30m層	44m層	1m層	15m層	30m層	48m層
1976	1	**10.07	**9.92	#10.07	**10.10	7.51	7.47	7.54	7.36	##6.73	##6.75	##6.71	##6.61
	2	**8.70	**8.40	#8.45	**8.46	6.47	6.39	6.36	6.01	##4.34	##4.38	##4.32	##4.01
	3	7.34	6.88	#6.82	6.81	5.51	5.62	5.63	5.43	##3.70	##3.75	##3.59	##3.36
	4	8.28	7.69	#7.69	7.69	6.88	6.76	6.37	5.7	##5.67	##5.45	##5.03	##4.36
	5	10.66	9.77	#9.62	9.38	11.24	10.19	9.74	8.6	##9.79	##9.06	##8.08	##6.31
	6	14.65	14.02	#13.14	11.96	15.37	12.77	12.08	10.86	##13.89	##11.84	##10.13	##8.81
	7	17.82	17.06	#15.72	13.95	19.31	15.92	14.86	12.67	##18.30	##15.42	##13.83	##10.21
	8	21.76	21.85	#20.22	17.91	23.69	20.91	19.37	16.31	##21.64	##20.59	##18.68	##13.30
	9	21.05	21.05	#19.94	18.17	20.76	20.6	19.83	17.65	##20.58	##20.27	##19.13	##15.12
	10	18.34	18.51	#18.25	17.41	19.12	19.05	19.18	18.35	##18.12	##17.99	##17.53	##16.43
	11	14.42	14.48	#14.81	14.75	13.64	13.67	13.78	13.69	##12.94	##12.99	##12.72	##12.66
	12	12.1	12.16	#12.17	11.95	10.25	10.25	10.31	10.23	##8.50	##8.57	##8.53	##8.36
1977	1	9.44	9.5	#9.43	9.28	7.36	7.37	7.42	7.36	##5.24	##5.30	##5.17	##4.93
	2	7.48	7.51	#7.24	7.01	5.75	5.75	5.76	5.67	##3.57	##3.67	##3.79	##3.53
	3	7.47	7.46	#7.28	7.14	6.15	6.1	6.03	5.85	##4.30	##4.33	##4.49	##4.03
	4	7.9	7.68	#7.25	6.86	7.45	7.26	7.17	6.85	##5.67	##5.38	##5.36	##5.14
	5	10.23	9.51	#9.37	**9.15	10.51	9.21	8.82	8.14	##9.11	##7.65	##7.49	##7.00
	6	13.41	12.59	#12.13	**11.43	14.94	12.49	11.75	*10.80	##12.74	##10.39	##9.54	##8.71
	7	18.24	16.81	#15.47	13.72	19.26	16.52	15.2	13.45	##18.47	##15.11	##13.31	##9.54
	8	22.03	21.46	#19.49	16.88	22.46	20.55	19.06	15.73	##22.07	##20.33	##17.35	##13.89
	9	21	20.64	#19.78	18.26	21.21	19.91	19.85	17.23	##21.30	##20.22	##17.34	##14.83
	10	19.41	19.1	#18.99	18.27	18.84	17.83	18.72	18.11	##17.92	##17.92	##17.32	##17.22
	11	16.68	16.51	#16.66	16.33	15.69	15.13	15.82	15.92	##15.05	##15.23	##14.60	##14.75
	12	13.52	13.52	#13.61	13.38	12.12	12.13	12.23	12.17	##10.69	##10.10	##10.30	##10.27
1979	1	10.29	10.18	#10.26	10.2	8.35	8.42	8.39	8.4	##7.06	##7.08	##7.00	##6.92
	2	8.95	8.9	#8.92	8.88	7.07	7.1	7.02	6.98	##5.46	##5.52	##5.51	##5.44
	3	8.37	8.38	#8.41	8.4	7.49	7.54	7.45	7.26	##6.31	##6.35	##6.01	##5.49
	4	8.75	8.66	#8.53	8.36	7.92	7.77	7.64	7.48	##6.52	##6.33	##6.12	##5.87
	5	10.72	10.52	#10.39	10.12	11.11	10.44	9.63	9.31	##9.12	##8.40	##7.64	##6.88
	6	14.97	13.03	#13.16	13	16.4	14.36	13.44	12.45	##15.79	##13.65	##12.28	##9.98
	7	18.11	18.49	#17.03	15.06	19.17	16.97	16.23	14.27	##18.41	##16.72	##15.38	##12.62
	8	23.47	23.4	#22.64	21.06	23.66	23.49	22.89	19.65	##23.57	##22.17	##20.30	##16.02
	9	22.47	22.5	#21.80	20.33	22.39	22.36	22.37	20.56	##22.55	##22.22	##21.62	##18.68
	10	19.74	19.92	#19.57	18.58	19.56	19.63	19.72	18.65	##19.58	##19.39	##18.94	##17.43
	11	16.2	16.5	#16.84	16.68	15.56	15.75	15.93	15.99	##15.13	##15.38	##14.93	##14.99
	12	12.83	13.12	#13.42	13.42	11.82	11.86	11.94	12.05	##10.82	##10.99	##10.83	##10.94
1982	1	9.77	10.02	#10.21	10.28	6.26	6.41	6.54	6.68	##4.33	##4.48	##4.63	##5.07
	2	4.97	6.66	#7.48	8.33	3.71	3.87	4.49	6.35	##1.64	##1.79	##2.31	##5.10
	3	6.05	7.11	#7.42	7.76	3.95	4.2	4.77	7.57	##2.06	##1.92	##2.84	##6.20
	4	6.91	7.69	#8.06	8.41	6.5	6.12	7.43	7.86	##4.77	##4.11	##5.62	##6.64
	5	10.62	10.75	#10.59	10.27	10.68	9.95	9.55	9.15	##9.51	##8.64	##8.35	##7.37
	6	13.96	13.62	#13.15	12.38	14.37	12.81	12.08	11.33	##13.72	##12.83	##11.73	##9.38
	7	19.53	18.89	#17.17	14.94	19.77	18.32	16.89	15.17	##18.08	##16.58	##14.95	##11.92
	8	21.45	20.92	#19.69	17.81	21.9	20.8	19.35	17.12	##21.39	##20.53	##18.64	##15.05
	9	21.41	21.19	#20.42	18.95	21.45	21.28	20.63	18.61	##21.23	##20.95	##19.92	##17.21
	10	19.23	19.27	#19.27	18.64	18.97	18.97	18.97	18.84	##18.75	##18.62	##18.24	##17.94
	11	16.62	16.62	#16.77	16.42	15.63	15.71	15.67	15.67	##14.80	##14.69	##14.38	##14.39
	12	13.5	13.49	#13.56	13.31	12.03	12.14	12.07	12.05	##10.79	##10.74	##10.39	##9.91
1983	1	10.87	10.87	#10.83	10.63	9.38	9.47	9.42	9.33	##7.85	##7.70	##7.28	##6.83
	2	8.85	8.81	#8.66	8.47	7.13	7.23	7.2	7.17	##5.15	##5.08	##4.91	##4.55
	3	8.29	8.21	#8.10	7.98	7.09	7.04	6.87	6.68	##5.30	##5.24	##5.04	##4.03
	4	9.42	9.31	#9.13	8.88	9.3	8.9	8.38	7.62	##7.61	##7.16	##6.64	##5.61
	5	11.62	11.29	#11.03	10.59	12.11	11.32	10.79	10.27	##10.71	##10.22	##9.72	##8.82
	6	13.61	13.19	#12.66	11.87	14.47	13.04	11.98	11.45	##12.75	##12.00	##10.87	##10.15
	7	16.77	16.48	#15.84	14.77	16.93	15.63	15.09	14.04	##15.53	##14.79	##13.87	##11.74
	8	22.67	21.93	#20.08	17.56	23.11	21.56	19.81	16.68	##22.55	##21.21	##18.92	##14.76
	9	22.6	22.46	#21.43	19.65	22.36	22	21.28	19.01	##22.13	##21.78	##20.76	##17.04
	10	18.67	18.74	#18.60	17.86	18.46	18.45	18.51	18.03	##18.07	##17.96	##17.53	##17.00
	11	15.86	15.93	#16.04	15.69	14.99	14.96	14.88	14.83	##14.36	##14.26	##13.82	##13.46
	12	12.13	12.34	#12.33	12.07	10.61	10.61	10.61	10.5	##9.28	##9.30	##9.02	##8.71
1984	1	9.23	9.24	#9.17	9.03	7.42	7.42	7.41	7.45	##5.83	##5.96	##6.00	##6.04
	2	7.17	7.17	#6.99	6.86	4.88	4.88	4.8	4.82	##2.35	##2.52	##2.64	##2.82
	3	5.22	5.22	#5.22	5.36	2.88	2.9	2.87	2.97	##1.05	##1.24	##1.50	##1.80
	4	5.6	5.5	#5.81	6.24	4.87	4.13	4.46	4.8	##2.59	##2.02	##1.94	##2.93
	5	8.84	8.18	#7.85	7.52	9.37	7.35	6.71	6.69	##7.24	##5.48	##4.99	##5.21
	6	14.47	13.05	#11.09	8.96	15.41	11.74	9.37	7.88	##14.16	##10.17	##7.76	##5.80
	7	19.59	18.15	#15.39	12.22	20.08	16.86	13.67	10.51	##19.17	##16.14	##12.71	##7.98
	8	23.7	22.58	#19.17	15.14	25.45	20.86	18.56	12.27	##25.96	##21.22	##16.78	##10.04
	9	*21.04	*20.51	#18.73	*16.35	*21.58	*19.31	*18.15	*14.72	##22.23	##20.41	##16.57	##13.75
	10	18.38	18.43	18.32	17.55	17.71	17.76	17.73	17.16	17.4	17.43	17.45	16.92
	11	15.29	15.33	15.27	14.99	14.42	14.48	14.42	14.39	12.94	12.96	12.94	12.84
	12	11.38	11.45	11.43	11.32	10.08	10.19	10.16	10.17	8.81	8.85	8.78	8.6
1985	1	8.42	8.51	8.54	8.11	6	6.11	6.02	5.98	3.7	3.76	3.68	3.56
	2	7.05	7.13	7.13	6.68	5.58	5.67	5.55	5.45	2.56	2.59	2.57	2.53
	3	6.48	6.53	6.55	6.25	5.53	5.43	5.34	5.21	3.64	3.58	3.33	3.18
	4	7.93	7.75	7.63	7.43	7.86	7.07	6.71	6.51	6.51	5.45	4.98	4.53
	5	11.12	10.69	10.07	9.44	11.69	10.58	9.71	8.91	11.03	10.84	8.69	6.97
	6	14.28	13.22	11.91	10.76	14.97	12.53	11.36	10.06	14.4	13.36	10.69	8.66
	7	18.57	17.25	15.55	13.73	19.42	17.09	15.55	12.95	18.88	17.24	13.32	11.14
	8	24.56	23.24	20.49	17.46	24.96	22.58	19.42	15.76	25.04	21.45	18.01	14.2
	9	23.82	23.67	22.88	20.32	23.42	23.37	22.88	19.53	23.12	22.94	21.42	17.24
	10	19.85	19.84	19.71	19.18	19.23	19.24	19.12	18.58	18.71	18.72	18.72	17.46
	11	16.74	16.73	16.67	16.37	15.69	15.7	15.69	15.61	14.38	14.36	14.32	14.26
	12	13.18	13.19	13.15	13.02	11.33	11.34	11.34	11.33	9.31	9.29	9.19	8.92

表 1 - 2 解析データセット

年	月	平館パイ				青森パイ				東湾パイ			
		1m層	15m層	30m層	45m層	1m層	15m層	30m層	44m層	1m層	15m層	30m層	48m層
1986	1	10.14	10.17	10.13	9.86	8.07	8.09	8.06	8.04	5.54	5.54	5.48	5.31
	2	7.27	7.29	7.24	7.03	4.49	4.5	4.49	4.51	3.25	3.24	3.29	3.28
	3	6.87	6.82	6.6	6.19	4.21	4.18	4.27	4.38	3.11	3.02	3	2.92
	4	7.54	7.45	7.57	7.46	6.5	6.04	5.93	5.7	5.21	4.86	4.53	4.56
	5	10.02	9.69	9.3	8.89	10.23	9.52	8.68	7.96	9.35	8.73	7.89	6.51
	6	14.12	13.1	11.81	10.62	14.55	12.2	10.72	9.89	13.82	12.28	9.58	8.23
	7	16.99	16.45	15.37	13.68	17.16	15.67	14.51	12.39	16.37	14.7	12.35	9.86
	8	21.54	20.69	19.28	17.24	22.27	20.5	18.74	15.74	22.23	19.09	16.42	13.05
	9	22.63	22.51	21.81	19.9	22.2	22.2	21.69	18.99	21.79	21.61	20.42	17.24
	10	19.59	19.6	19.44	18.51	19.04	19.05	19.03	18.29	18.68	18.75	18.76	18.09
	11	15.55	15.55	15.5	15.24	14.57	14.59	14.58	14.57	15.26	15.28	15.15	15.08
	12	12.09	12.09	12.07	11.93	10.82	10.84	10.82	10.7	8.5	9.61	8.86	8.74
1988	1	10.66	10.66	10.63	10.44	8.93	8.95	8.88	8.81	6.19	6.17	6.05	5.88
	2	8.93	8.93	8.89	8.6	6.87	6.89	6.8	6.75	4.55	4.51	4.36	4.12
	3	7.95	7.89	7.79	7.59	6.23	6.21	6.1	5.96	4.3	4.2	4.15	4.08
	4	8.59	8.39	8.21	7.98	8.14	7.84	7.48	6.86	7.06	6.6	6.03	5.19
	5	10.96	10.26	9.88	9.46	11.52	10.27	9.76	9.04	10.62	9.87	9.23	7.96
	6	14.29	13.11	12.05	11.01	14.88	12.67	11.57	10.55	14.45	12.65	10.54	9.2
	7	16.25	15.61	14.33	12.96	16.77	15.07	13.72	12.3	16.06	14.97	12.68	10.03
	8	21.2	20.62	18.49	16.04	21.4	19.68	17.78	14.66	20.07	18.85	15.46	12.43
	9	21.33	21.07	19.68	17.33	20.99	20.83	19.39	16.4	20.3	20.05	18.09	14.01
	10	18.32	18.29	18	17.04	17.69	17.69	17.46	16.45	17.49	17.45	17.22	15.83
	11	14.44	14.44	14.43	14.27	13.47	13.46	13.43	13.42	12.31	12.29	12.3	12.3
	12	12.56	12.58	12.57	12.33	11.26	11.25	11.21	11.11	8.97	8.92	8.84	8.59
1989	1	9.55	9.57	9.54	9.35	8.09	8.08	8.09	8.1	6.44	6.37	6.2	5.99
	2	8.2	8.21	8.18	8.1	6.58	6.55	6.54	6.49	4.82	4.84	4.83	4.71
	3	8.22	8.21	8.16	8.03	7.08	7.04	6.96	6.73	5.67	5.72	5.63	5.49
	4	9.43	9.32	9.21	9.09	9.02	8.83	8.59	8.33	7.47	7.24	6.8	6.65
	5	10.88	10.6	10.4	10.18	11.29	10.31	9.63	9.25	10.55	9.55	9.12	8.3
	6	13.97	13.57	12.89	12.03	14.02	12.88	12.19	11.16	13.74	13.12	11.68	9.77
	7	18.8	17.77	16.45	14.79	23.05	19.09	17.43	15.28	17.19	15.59	13.31	10.4
	8	22.54	21.69	20.17	18.16	23.25	21.86	19.99	17.16	23.27	23.14	20.78	15.82
	9	20.83	20.77	20.59	19.79	21.98	21.95	21.4	19.75	21.9	21.88	21.3	18.47
	10	19.51	19.49	19.37	18.78	19.03	19.04	19.05	18.7	18.59	18.67	18.57	18.47
	11	16.52	16.55	16.55	16.48	15.64	15.71	15.75	15.77	14.96	14.99	14.99	14.92
	12	14.06	14.09	14.06	13.96	12.2	12.19	12.16	12.03	9.9	9.88	9.85	9.74
1990	1	11.27	11.31	11.29	11.19	9.49	9.54	9.55	9.47	6.84	6.85	6.81	6.71
	2	9.34	9.36	9.28	9	8.1	8.09	7.95	7.78	5.53	5.44	5.26	4.91
	3	8.97	8.95	8.86	8.66	7.95	7.95	7.93	7.9	6.28	6.22	6.2	6.12
	4	9.79	9.75	9.67	9.47	9.11	8.76	8.6	8.46	7.94	7.58	7.32	7.28
	5	11.87	11.41	11.12	10.84	12.3	11.31	10.4	9.99	11.56	10.94	10.12	8.49
	6	16.24	15.58	14.62	13.43	17.17	15.21	14.04	12.7	16.61	15.13	13.09	10.45
	7	19.72	19.27	18.19	16.3	19.87	18.55	17.56	15.17	19.36	18.41	16.5	13.07
	8	23.64	23.17	21.85	19.21	23.96	23.14	21.43	17.72	23.78	22.65	20.18	16.24
	9	24	23.91	23.07	20.62	23.69	23.88	23.13	19.95	23.62	23.61	23.24	18.1
	10	19.96	19.96	19.52	18.01	19.89	19.89	19.8	17.7	19.93	19.98	19.99	17.04
	11	16.76	16.77	16.67	16.4	15.86	15.87	15.92	15.66	15.22	15.24	15.27	15
	12	14.01	14.04	13.99	13.86	12.88	12.85	12.85	12.83	11.4	11.39	11.38	11.32
1991	1	11.45	11.47	11.42	11.08	9.11	9.09	9.15	9.17	7.32	7.29	7.21	7.03
	2	9.23	9.25	9.21	9.1	7	6.99	7.03	7.04	5.34	5.35	5.44	5.57
	3	8.3	8.27	8.11	7.74	5.47	5.44	5.43	5.47	4.29	4.3	4.39	4.47
	4	8.74	8.73	8.74	8.7	7.24	6.5	6.57	6.25	6.35	5.6	5.23	5.08
	5	11.65	11.33	10.79	10.21	11.94	10.71	9.99	9.25	11.12	10.2	8.2	6.86
	6	16.01	14.96	13.68	12.18	17.19	14.46	12.88	11.03	16.77	14.98	11.79	8.26
	7	19.13	18.57	17.03	15.24	19.47	17.97	16.51	13.99	19	17.77	14.54	11.08
	8	21.49	21.23	20.15	18.21	21.69	20.75	19.71	17.02	21.11	20.42	18.74	14.56
	9	21.68	21.55	20.87	18.86	21.58	21.29	20.52	17.81	21.19	20.93	18.86	15.47
	10	18.89	18.96	18.83	18.04	18.56	18.58	18.58	17.87	18.3	18.35	18.38	16.69
	11	15.8	15.83	15.77	15.64	14.74	14.75	14.7	14.68	13.62	13.66	13.6	13.5
	12	12.77	12.79	12.73	12.64	11.15	11.35	11.35	11.41	9.61	9.61	9.52	9.39
1992	1	10.97	11	10.97	10.89	9.14	9.19	9.15	9.13	7.23	7.21	7.12	6.95
	2	9.14	9.16	9.13	8.92	7.62	7.63	7.59	7.56	5.6	5.55	5.48	5.38
	3	7.9	7.9	7.82	7.53	6.51	6.56	6.57	6.5	5.3	5.25	5.19	5.11
	4	8.97	8.91	8.82	8.66	8.28	7.92	7.58	7.14	7.08	6.79	6.45	6.07
	5	11.42	11.04	10.75	10.38	11.71	10.79	10.25	9.63	10.59	9.93	8.82	8.1
	6	14.8	14.05	13.17	12.21	15.45	13.29	12.36	11.37	14.71	13.25	10.72	9.15
	7	18.92	18.08	16.86	15.46	20.18	17.8	16.34	14.67	19.95	17.57	14.25	11.04
	8	22.31	21.81	20.48	18.09	22.27	21.23	19.89	16.92	22.03	21.2	18.83	15.09
	9	21.83	21.74	20.97	18.86	21.78	21.74	21.05	18.26	21.48	21.42	20.63	16.74
	10	18.89	18.88	18.7	17.75	18.61	18.63	18.61	17.63	18.32	18.34	18.37	16.33
	11	16.29	16.27	16.23	16.11	15.49	15.51	15.47	15.44	14.16	14.15	14.12	14.09
	12	12.95	12.97	12.93	12.74	11.63	11.68	11.64	11.65	10.35	10.28	9.99	9.73
1993	1	10.61	10.62	10.55	10.28	8.71	8.73	8.67	8.68	7.24	7.22	7.06	6.68
	2	9.29	9.29	9.23	9.04	7.59	7.61	7.5	7.48	5.56	5.49	5.27	5.07
	3	8.99	8.98	8.94	8.79	7.7	7.77	7.72	7.51	6.21	6.26	5.87	5.51
	4	9.39	9.34	9.28	9.09	8.46	8.45	8.32	8.14	7.51	7.44	7.28	7.17
	5	11.12	10.79	10.56	10.34	11.31	10.34	9.71	9.42	10.89	9.88	8.59	8.44
	6	14.49	13.99	13.16	12.23	15.04	13.69	12.49	11.46	14.11	13.41	11.65	10.45
	7	17.11	16.6	15.57	14.2	17.57	16.02	15.07	13.42	16.94	16.29	14.12	10.75
	8	19.75	19.38	18.55	17.04	19.52	18.52	17.57	15.66	18.61	17.95	16.28	12.8
	9	20.75	20.66	20.27	19.23	20.72	20.6	20.12	18.66	20.25	20.15	19.78	17.09
	10	18.56	18.55	18.51	18.13	18.16	18.18	18.19	18.12	17.79	17.82	17.8	17.57
	11	16.16	16.17	16.12	15.88	15.15	15.17	15.16	15.02	13.88	13.85	13.79	13.72
	12	13.5	13.51	13.49	13.21	11.82	11.83	11.79	11.75	10.07	9.88	9.54	9.3

表 1－3 解析データセット

年	月	平館				青森				東湾			
		1m層	15m層	30m層	45m層	1m層	15m層	30m層	44m層	1m層	15m層	30m層	48m層
1994	1	10.9	10.93	10.92	10.77	8.86	8.88	8.83	8.81	6.57	6.49	6.35	6.14
	2	9.29	9.32	9.29	8.92	7.72	7.74	7.71	7.69	4.96	4.97	4.83	4.76
	3	8.16	8.19	8.16	7.87	6.77	6.81	6.78	6.74	5.21	5.22	5.16	5.14
	4	8.78	8.68	8.58	8.31	8.2	7.88	7.63	7.38	6.86	6.53	6.18	6.13
	5	11.17	10.94	10.7	10.41	11.32	10.62	10.17	9.42	10.67	10.01	8.89	7.29
	6	15.67	14.59	13.4	12.22	16.13	13.9	12.34	11.33	15.98	13.68	11.01	9.29
	7	19.83	18.66	17.11	15.26	20.31	17.76	16.65	14.34	19.78	16.96	13.91	10.99
	8	23.4	22.58	20.85	18.32	24.7	21.94	20.07	16.99	24.22	21.73	18.35	14.29
	9	24.11	24.01	23.37	21.03	24	23.73	23.45	20.32	23.66	23.28	20.1	17.88
	10	20.92	20.91	20.78	20.21	20.47	20.43	20.45	19.16	20.23	20.23	19.48	18.82
	11	17.01	17.02	17	16.87	16.36	16.38	16.38	16.37	15.49	15.5	15.46	15.28
	12	13.83	13.85	13.83	13.68	12.17	12.11	12.11	12.05	10.1	10.1	10.03	9.91
1995	1	11.01	11.03	11.01	10.87	9.29	9.3	9.21	9.15	6.89	6.84	6.73	6.61
	2	8.8	8.8	8.76	8.65	7.13	7.18	7.19	7.17	6.06	5.99	5.73	5.29
	3	8.5	8.48	8.45	8.31	6.93	6.98	6.78	6.45	5.89	5.79	5.65	5.61
	4	9.22	9.08	8.99	8.76	8.43	8.14	7.89	7.77	7.34	6.91	6.68	6.62
	5	12.02	11.57	11.09	10.53	12.44	11.39	10.34	9.85	11.68	11.19	9.19	7.45
	6	14.8	14.35	13.58	12.5	15.29	13.79	12.93	11.72	14.76	13.92	12.13	9.21
	7	19.09	18.35	17.08	15.26	20.03	17.99	16.78	14.4	19.7	17.41	14.37	12.31
	8	23.29	22.91	21.78	19.59	23.37	22.77	21.17	18.41	23.02	22.39	20.64	16.37
	9	23.11	23.11	22.75	21.08	22.93	22.94	22.67	20.86	22.48	22.47	22.38	19.43
	10	20.13	20.15	20.01	19.27	19.74	19.81	20.01	19.4	19.66	19.66	19.71	18.38
	11	16.81	16.84	16.83	16.73	15.92	15.96	15.94	15.87	14.54	14.54	14.51	14.42
	12	13.08	13.12	13.1	12.99	11.41	11.47	11.47	11.48	10.1	10.1	10.02	9.9
1996	1	10.11	10.14	10.12	9.93	8.04	8.1	8.09	8.08	6.32	6.29	6.17	5.87
	2	8.36	8.39	8.34	8.07	5.87	5.94	6	5.98	3.55	3.55	3.53	3.53
	3	7.7	7.7	7.6	7.04	6.2	6.16	6.12	6.07	3.95	3.93	3.9	3.95
	4	8.08	7.98	7.88	7.6	7.5	7.18	6.96	6.72	5.76	5.45	5.37	5.2
	5	10.19	9.94	9.73	9.37	10.51	9.48	9.06	8.54	9.44	8.82	8.11	6.49
	6	14.14	13.64	12.47	11.5	14.42	12.95	11.4	10.16	14.01	12.81	10.14	8.66
	7	17.83	17.46	16.42	14.95	18.38	16.41	15.41	13.4	17.78	16.38	13.15	9.53
	8	21.96	21.65	19.92	17.83	21.99	21	19.07	16.64	21.6	20.43	17.14	13.44
	9	21.53	21.47	20.75	18.87	21.46	21.3	20.42	18.36	21.02	20.93	19.29	15.58
	10	19.17	19.15	18.95	18.13	19.1	19.09	19.05	18.25	18.65	18.68	18.69	17.48
	11	15.52	15.53	15.51	15.34	14.76	14.78	14.78	14.76	13.85	13.89	13.85	13.84
	12	13	13.02	13.01	12.92	11.53	11.54	11.51	11.44	9.52	9.48	9.2	8.94
1997	1	11.19	11.21	11.2	11.12	9.68	9.7	9.65	9.58	7.91	7.9	7.58	7.18
	2	9.29	9.3	9.29	9.17	7.83	7.82	7.72	7.64	6.23	6.21	6.02	5.7
	3	8.38	8.37	8.35	8.15	7.03	7.01	6.97	6.91	5.17	5.11	4.99	4.93
	4	9.24	9.11	9	8.79	8.73	8.53	8.28	7.88	7.29	7.08	6.78	6.55
	5	11.35	11.09	10.71	10.26	11.83	11.1	10.45	9.63	10.99	10.62	10.24	9.35
	6	14.81	14.18	13.4	12.48	15.71	13.57	12.51	11.49	14.77	12.86	11.87	10.17
	7	20.08	19.18	17.88	16.15	21.07	18.86	17.56	15.28	20.68	18.54	16.68	12.67
	8	22.8	22.54	21.07	18.75	23.26	22.32	20.79	17.8	23.07	22.02	20.19	15.86
	9	22.8	22.72	21.73	19.52	22.77	22.74	21.78	19.36	21.74	21.76	21.59	17.06
	10	18.95	18.95	18.76	18.2	18.62	18.62	18.64	17.99	18.31	18.31	18.31	17.39
	11	16.29	16.3	16.25	16.18	15.35	15.37	15.38	15.37	14.33	14.32	14.27	14.14
	12	13.74	13.75	13.71	13.5	11.8	11.83	11.87	11.89	10.32	10.32	10.33	10.25
1998	1	9.3	9.59	9.69	9.76	7.93	7.96	8	8.03	6.74	6.76	6.8	6.63
	2	8.47	8.45	8.29	7.96	4.92	5.08	5.2	5.27	3.61	3.61	3.68	3.6
	3	8.36	8.33	8.24	7.99	6.55	6.64	6.58	6.48	4.03	4.04	4.16	4.13
	4	9.58	9.44	9.32	9.07	9.2	8.58	8.22	7.83	7.64	7.08	6.49	5.54
	5	12.49	12	11.52	10.87	12.87	11.58	10.92	10.25	12.02	11.44	9.51	6.73
	6	14.5	14.32	13.65	12.66	15.03	13.93	12.83	11.89	14.54	14.01	12.59	10.67
	7	18.54	17.97	16.47	15.01	19.26	16.95	15.77	14.52	18.91	17.17	15.64	12.31
	8	22.05	21.63	20.16	17.95	21.81	20.9	19.64	16.99	21.13	20.36	18.04	15.07
	9	22.83	22.67	21.39	18.97	22.93	22.65	21.45	18.53	22.36	22.16	20.93	16.59
	10	20.34	20.41	20.13	19.05	19.81	19.85	19.85	18.82	19.5	19.52	19.59	17.63
	11	17.1	17.15	17.15	17.08	15.74	15.78	15.82	15.85	14.97	14.99	15	15.04
	12	12.77	12.84	13.06	13.22	10.75	10.82	10.85	10.9	8.76	8.76	8.81	8.87
1999	1	8.94	9.12	9.78	10.2	6.4	6.53	6.62	6.74	4.65	4.64	4.68	4.88
	2	6.71	7.42	8.41	8.51	4.37	4.46	4.5	5.38	2.54	2.52	2.54	2.88
	3	5.14	6.56	7.64	7.74	4.12	4.14	5.26	6.32	2.72	2.6	2.89	5.29
	4	6.62	7.26	8.12	8.1	6.72	6.22	7.79	7.75	5.37	4.38	5.62	7.32
	5	10.96	10.77	10.53	10.19	11.04	10.16	9.69	9.16	10.29	9.54	8.76	7.58
	6	15.66	15	14.1	12.92	16.61	13.86	12.8	11.97	15.84	14.02	12.36	9.22
	7	18.63	17.93	16.68	15.09	19.7	17.26	16.17	14.54	19.21	17.03	14.36	11.77
	8	24.63	23.52	20.82	18.46	25.25	22.62	20.49	17.12	25.34	22.05	18.75	15.3
	9	23.28	23.22	22.17	20.15	23.2	23.12	22.42	19.8	23.21	23.2	22.4	18.17
	10	20.15	20.17	20.03	19.38	19.73	19.73	19.77	19.62	19.47	19.47	19.49	19.16
	11	17.06	17.09	17.03	16.93	16	16.08	16.14	16.16	15.12	15.14	15.15	15.09
	12	13.87	13.89	13.85	13.68	11.86	11.88	11.9	11.87	9.72	9.73	9.62	9.42
2000	1	11.55	11.46	11.41	11.23	9.76	9.84	9.92	9.94	7.52	7.6	7.62	7.47
	2	9.49	9.7	9.67	9.58	7.45	7.46	7.48	7.45	4.74	4.82	4.87	4.98
	3	8.54	8.51	8.43	8	6.17	6.21	6.22	6.17	3.8	3.82	3.88	4
	4	8.72	8.59	8.46	8.24	7.43	7.18	7.06	6.84	5.81	5.66	5.51	5.09
	5	11.03	10.49	10.21	9.87	11.69	9.93	9.32	8.77	10.7	9.36	8.14	6.14
	6	15.56	14.57	13.28	12.09	16.5	13.51	12.59	11.29	15.99	13.49	11.2	8.15
	7	20.05	19.22	17.61	15.67	20.74	18.69	17.65	14.54	20.4	17.95	14.67	11.9
	8	24.36	23.84	21.28	18.3	24.86	23.44	21.48	16.9	24.57	22.68	19.44	15.61
	9	23.78	23.66	22.64	20.55	23.41	23.33	22.71	20.24	23.02	23.02	22.33	17.59
	10	20.65	20.63	20.5	19.65	20.44	20.44	20.47	20.17	19.81	19.83	19.86	19.52
	11	15.55	15.58	15.62	15.28	15.44	15.45	15.49	15.49	14.6	14.62	14.63	14.59
	12	12.09	12.09	12.02	11.73	9.86	9.99	10.04	10.18	8.65	8.63	8.62	8.57

表 1 - 4 解析データセット

年	月	平館パイ				青森パイ				東湾パイ			
		1m層	15m層	30m層	45m層	1m層	15m層	30m層	44m層	1m層	15m層	30m層	48m層
2001	1	9.9	9.91	9.89	9.67	7.58	7.64	7.58	7.63	5.89	5.86	5.79	5.51
	2	8.33	8.35	8.33	7.98	6	6.04	5.9	5.84	2.87	2.85	2.91	3
	3	7.89	7.89	7.84	7.63	6.63	6.7	6.61	6.54	3.87	3.83	3.9	3.94
	4	8.91	8.72	8.53	8.35	8.67	8.28	8.06	7.66	7.28	6.82	6.59	6.33
	5	11.17	10.85	10.46	10.08	11.63	10.46	9.78	9.44	10.86	9.69	8.8	8.28
	6	15	14.5	13.6	12.49	15.41	14.01	12.75	11.39	14.65	13.66	11.92	9.12
	7	19.97	19.34	17.7	15.56	20.27	18.7	17.48	14.84	19.97	18.17	15.76	11.87
	8	21.65	21.43	20.1	17.64	21.55	20.38	19.11	16.3	20.88	20.39	18.29	13.47
	9	21.61	21.57	19.83	17.23	21.25	21.03	19.82	16.57	20.78	20.84	19.52	15.3
	10	18.81	18.84	18.54	17.74	18.16	18.15	18	17.16	17.84	17.87	17.91	16.26
	11	16.37	16.37	16.34	16.23	15.22	15.21	15.23	15.23	14.27	14.29	14.31	14.31
	12	11.94	11.93	11.93	11.85	10.32	10.32	10.33	10.31	8.59	8.57	8.53	8.42
2002	1	10.05	10.03	10.03	9.98	8.21	8.21	8.2	8.05	5.54	5.51	5.48	5.36
	2	8.82	8.79	8.78	8.67	6.93	6.91	6.92	6.85	5.3	5.23	5.23	5.25
	3	8.71	8.69	8.68	8.58	7.48	7.49	7.41	7.21	5.04	5.01	5.03	4.99
	4	10.01	9.84	9.7	9.46	10.03	9.43	9.09	8.35	9.19	8.9	8.12	6.97
	5	11.99	11.66	11.42	11.13	12.4	11.49	10.77	10.18	12.01	11.61	10.4	9.08
	6	15.77	15.15	13.99	12.89	16.1	14.93	13.48	12.29	15.86	15.08	13.02	10.17
	7	19.2	18.44	17.15	15.52	19.62	17.7	16.82	14.9	19.18	17.5	14.97	12.48
	8	22.43	22.08	20.61	18.36	22.3	21.77	20.47	17.08	21.89	21.65	19.59	15.77
	9	22.21	22.19	21.22	19.22	22	21.9	21.23	18.41	21.67	21.51	20.24	16.75
	10	19.67	19.7	19.55	19.01	19.21	19.23	19.21	18.62	18.95	18.95	19.04	17.7
	11	15.72	15.69	15.7	15.6	13.99	14.08	14.1	14.1	12.77	12.75	12.73	12.72
	12	12.07	12.07	12.06	12.08	9.55	9.75	9.8	9.83	7.91	7.93	7.93	8.02
2003	1	9.38	9.37	9.31	9.17	6.15	6.27	6.38	6.55	4.52	4.54	4.48	4.51
	2	8.62	8.6	8.51	8.34	6.16	6.09	6.02	5.92	2.8	2.86	3.09	3.73
	3	7.54	7.52	7.52	7.46	5.51	5.38	5.33	5.38	3.48	3.44	3.49	3.83
	4	8.54	8.53	8.6	8.55	7.59	6.86	6.68	6.53	6.3	5.78	5.29	5.15
	5	11.36	10.77	10.33	9.88	11.93	10.21	9.63	9	11.02	9.8	8.33	5.77
	6	14.61	13.99	13.01	11.89	15.48	13.94	12.5	11.46	15	13.58	11.02	7.97
	7	16.83	16.49	15.26	13.69	17.18	16.21	14.67	12.69	16.62	16.18	14.52	10.63
	8	20.57	19.96	18.32	16.58	20.64	19.29	17.85	15.37	20.25	19.03	16.77	13.16
	9	21.31	21.16	20.38	18.83	21.01	20.9	20.39	17.98	20.51	20.48	19.86	16.35
	10	19.06	19.04	18.89	18.34	18.56	18.54	18.58	18.11	18.14	18.16	18.11	17.13
	11	16.64	16.63	16.61	16.61	15.58	15.55	15.6	15.59	14.5	14.48	14.41	14.35
	12	13.68	13.7	13.7	13.67	11.88	11.94	12.11	12.15	10.44	10.43	10.37	10.29
2004	1	10.49	10.52	10.53	10.54	8.47	8.47	8.62	8.63	7.22	7.2	7.18	7.1
	2	9.27	9.28	9.21	8.87	5.83	5.79	5.98	5.99	4.61	4.64	4.71	4.82
	3	6.59	6.82	7.28	7.34	5.31	5.3	5.38	5.5	3.83	3.75	3.78	4.28
	4	8.52	8.75	8.91	8.96	6.79	6.63	6.8	7.12	5.9	5.98	5.55	6.21
	5	11.23	11.08	11.05	10.77	11.15	9.89	10.2	9.71	10.19	9.29	8.09	7.88
	6	15.85	15.16	14.27	13.19	16.41	14.76	13.14	12.22	15.91	14.19	11.06	8.72
	7	20.14	19.47	18.34	16.8	20.64	18.87	18.01	16.09	20.56	18.16	14.6	12.24
	8	23.6	23	21.87	19.63	24.34	22.55	21.41	18.48	24.3	22.4	20.84	16.59
	9	21.72	21.6	21.49	20.82	21.78	21.75	21.56	20.54	21.69	21.61	21.58	18.7
	10	19.33	19.36	19.3	18.41	19.23	19.37	19.51	18.75	19.15	19.11	19.22	18.22
	11	16.8	16.76	16.74	16.46	15.7	15.72	15.74	15.7	15.31	15.27	15.32	15.16
	12	13.28	13.29	13.29	13.12	11.55	11.58	11.63	11.66	10.17	10.16	10.18	10.08
2005	1	10.51	10.53	10.55	10.42	7.19	7.23	7.32	7.42	5.84	5.87	5.92	5.92
	2	8.75	8.74	8.72	8.42	5.4	5.52	5.8	6.05	3.53	3.59	3.67	4.01
	3	7.62	7.78	7.82	7.82	4.24	4.24	4.36	4.45	2.85	2.83	2.92	3.42
	4	7.5	8.05	8.5	8.52	6.43	6.29	6.52	6.43	5.3	4.94	3.8	5.19
	5	10.06	10.01	10.24	10.02	9.96	9.42	9.23	8.98	9.16	8.65	7.72	6.14
	6	14.45	13.68	12.83	12.01	15.38	12.91	12.27	11.37	14.68	12.15	9.62	8.03
	7	19.28	18.65	17.3	15.17	19.34	17.94	16.59	14.21	18.45	17.06	14.8	11.39
	8	24.04	23.12	21.38	18.34	24.87	22.66	20.87	17.01	24.34	22.02	18.24	14.36
	9	23.23	23.13	22.39	20.08	23.2	23.24	22.47	19.09	23.23	23.2	22.77	16.6
	10	20.2	20.19	19.89	18.36	20.08	20.06	20.04	18.17	20.02	20.02	20.03	17.44
	11	16.71	16.8	16.81	16.73	16.04	16.07	16.09	16.2	15.27	15.28	15.28	15.29
	12	13.01	13.04	13.01	12.91	10.71	10.75	10.73	10.74	9.13	9.11	9.04	8.99
2006	1	7.83	8.08	8.27	8.48	6.92	6.99	6.98	7.02	4.79	4.78	4.73	4.77
	2	6.75	6.85	7.04	7.1	3.91	4	4.04	4.14	2.58	2.48	2.41	2.61
	3	7.63	7.59	7.26	6.65	4.98	5.08	5.08	5.21	3.26	3.25	3.33	3.54
	4	6.9	7.05	7.51	7.56	5.85	5.54	5.76	5.74	4.78	4.58	4.47	4.89
	5	10.45	10.14	9.79	9.53	10.53	8.84	8.31	8.24	9.61	8.22	6.62	6.09
	6	14.32	13.73	12.63	11.56	14.73	13.11	11.61	10.41	13.88	12.5	9.63	8.35
	7	18.51	18.02	16.7	15.01	18.89	17.4	16.11	13.88	18.32	17.25	14.63	10.66
	8	23.31	22.33	20.31	18.22	23.78	21.74	19.93	16.92	23.39	21.75	18.6	15.07
	9	22.45	22.23	20.78	18.72	22.69	22.55	20.83	18.02	22.78	22.58	20.65	16.36
	10	19.04	19.01	18.68	17.58	18.57	18.46	18.73	17.19	18.71	18.72	18.73	16.72
	11	16.76	16.76	16.75	16.59	15.67	15.69	15.68	15.64	14.92	14.93	14.86	14.89
	12	13.15	13.19	13.26	13.2	11.55	11.65	11.84	11.78	10.03	10.05	10.05	10.04
2007	1	11.21	11.24	11.2	11.07	8.61	8.76	8.88	8.98	6.54	6.56	6.62	6.83
	2	10.02	10.03	9.99	9.85	7.14	7.17	7.14	7.19	4.84	4.85	4.9	5.17
	3	9.39	9.4	9.36	9.25	6.62	6.73	6.7	6.77	4.72	4.71	5.08	5.76
	4	9.2	9.4	9.53	9.56	8.26	7.95	8.15	7.92	6.62	6.32	6.13	6.23
	5	11.67	11.41	11.37	11.24	11.6	10.86	10.23	9.85	10.14	9.56	8.78	7.83
	6	16.82	15.44	14.55	13.64	17.82	14.31	13.72	13.09	17.42	12.87	11.85	9.48
	7	18.97	17.94	16.4	14.92	19.15	17.41	15.8	14.38	18.51	16.32	14.52	12.17
	8	22.71	21.98	20.46	17.92	23.35	21.94	20.75	17.21	23.19	21.53	19.18	15.26
	9	22.67	22.51	21.65	19.36	22.49	22.22	21.34	19.21	22.54	22.32	21.46	17.56
	10	19.93	19.88	19.62	18.45	19.7	19.71	19.66	18.47	19.47	19.49	19.5	18.39
	11	16.55	16.55	16.51	16.37	15.4	15.56	15.57	15.6	14.64	14.68	14.67	14.66
	12	12.93	12.93	12.91	12.81	11	11.07	11.1	11.11	9.02	9.07	9.11	9.13

表 1-5 解析データセット

年	月	平館ブイ				青森ブイ				東湾ブイ			
		1m層	15m層	30m層	45m層	1m層	15m層	30m層	44m層	1m層	15m層	30m層	48m層
2008	1	10.58	10.58	10.53	10.31	8.38	8.39	8.37	8.34	5.68	5.71	5.75	5.76
	2	8.27	8.26	8.23	8.04	5.26	5.26	5.27	5.27	3.28	3.31	3.38	3.44
	3	7.94	7.91	8.05	7.98	6.66	6.54	6.3	6.06	3.74	3.58	3.31	3.58
	4	8.72	8.84	8.87	8.79	8.22	7.76	7.81	7.72	6.44	6.14	5.75	4.75
	5	11.29	11	10.6	10.05	11.29	10.43	9.95	9.35	10.34	9.71	8.85	6.44
	6	14.55	13.98	13.2	12.05	15.37	13.37	12.44	11.5	14.48	12.85	10.98	9.03
	7	19.42	18.26	16.31	14.13	20.62	17.72	16.07	13.61	20.12	17.56	13.38	11.26
	8	22.42	21.81	19.92	17.46	22.32	21.09	19.4	16.61	22.13	20.56	17.78	14.3
	9	22.58	22.35	21.18	18.09	22.5	22.17	20.96	17.51	21.78	20.91	19.66	16.73
	10	19.25	19.17	18.88	17.75	19.21	19.18	19.18	17.92	18.84	18.8	18.85	16.51
	11	16.6	16.57	16.48	16.25	15.82	15.77	15.71	15.63	14.66	14.63	14.57	14.39
	12	13.9	13.89	13.88	13.84	12.9	12.93	12.93	12.85	11.2	11.12	10.94	10.61
2009	1	10.87	10.9	10.86	10.67	9.05	9.08	9.08	9.09	7.55	7.5	7.42	7.27
	2	9.36	9.39	9.36	9.19	7.74	7.85	7.85	7.82	5.79	5.77	5.81	5.85
	3	8.25	8.25	8.17	7.77	6.65	6.63	6.56	6.54	5.24	5.17	5.17	5.24
	4	9.35	9.24	9.15	8.97	8.86	8.64	8.34	8.07	7.1	6.88	6.3	5.93
	5	11.82	11.28	10.96	10.56	11.9	10.89	10.4	9.74	11.28	10.6	9.53	8.21
	6	14.49	14.06	13.56	12.67	15.11	13.23	12.5	11.88	14.58	13.22	11.41	9.95
	7	19.26	18.76	17.84	16.36	19.46	18.19	17.57	15.97	18.95	17.46	15.66	13.19
	8	21.67	21.19	19.89	17.75	21.79	20.54	19.33	17.27	21.59	20.37	18.56	15.51
	9	21.31	21.25	20.69	18.86	21.29	21.2	20.84	18.68	21.08	21.05	20.53	17.1
	10	19.03	18.98	18.76	17.71	18.88	18.87	18.87	18.02	18.7	18.74	18.72	16.91
	11	16	16.02	16.07	16.01	15.83	15.82	15.86	15.85	14.79	15.43	15.42	15.44
	12	13.36	13.39	13.33	13.18	11.27	11.26	11.15	11.21	9.86	**12.06	**12.00	**12.00
2010	1	10.97	11	10.96	10.5	8.83	8.87	8.9	8.87	6.45	**8.68	**8.58	**8.56
	2	8.93	8.95	8.86	8.4	6.96	6.95	6.97	6.94	4.79	5.31	5.16	5.12
	3	7.87	7.88	7.75	7.34	6.03	6.03	6.05	5.89	4.64	4.6	4.64	4.77
	4	8.45	8.4	8.33	8.25	7.37	7.03	6.78	6.6	5.99	5.7	5.36	5.36
	5	10.22	9.96	9.8	9.56	11.33	9.58	9.36	8.93	9.36	8.33	7.18	6.88
	6	15.46	13.71	12.52	11.37	16.95	12.75	12.05	11.2	16.22	11.15	9.04	7.8
	7	20.45	18.98	16.91	14.32	21.63	18.52	16.77	13.6	21.63	17.6	14.35	11.75
	8	25	24.53	23.13	19.98	25.54	24.14	22.67	18.8	25.53	23.02	20.14	16.93
	9	25.4	25.32	24.59	21.67	25.41	25.36	24.84	21.7	25.17	25.07	23.77	19.6
	10	21.38	21.32	21.08	19.72	21.71	21.71	21.63	20.6	20.96	21.04	20.99	19.04
	11	16.9	16.88	16.74	16.32	15.69	15.59	15.51	15.49	15.55	15.59	15.56	15.16
	12	13.67	13.64	13.57	13.49	12.39	12.44	12.43	12.44	11.15	11.14	10.92	10.61

注 1) 「*」: 1 ヶ月分の欠測のため、内挿した値

注 2) 「**」: 2 ヶ月連続の欠測のため、内挿した値

注 3) 「#」: 平館 15m 層及び 45m 層データから推定した値

注 4) 「##」: 大島各層データから推定した値

更に、1975 年～1984 年のデータについては、東湾ブイは観測開始が 1985 年であり、その間のデータが存在しないため、東湾ブイに最も近い地点に位置していた大島ブイの 1975 年～1984 年までの水温値から推定したものをを用いた。なお、この推定は、1985 年～1994 年までの大島ブイの各層データと東湾ブイの各層データから作成した下記モデルを当てはめておこなった。

$$T_{T01mEst} = T_{001mMeas} \times 1.0992 - 1.906$$

$$T_{T015mEst} = T_{0015mMeas} \times 1.0801 - 1.697$$

$$T_{T030mEst} = T_{0030mMeas} \times 1.0344 - 1.339$$

$$T_{T048mEst} = T_{0050mMeas} \times 1.0279 - 1.096$$

$T_{001mMeas} \sim T_{0050mMeas}$: 大島ブイ 1m 層～大島ブイ 50m 層の実測値

$T_{T01mEst} \sim T_{T048mEst}$: 東湾ブイ 1m 層～東湾ブイ 48m 層の推定値

以上により整備したデータセットを表 1 に示した。

(2)統計的解析による水温予測手法の開発

水温予測モデルの開発には、水温経験的予測システム ver.2.0((独)水産総合研究センター東北区水産研究所)を使用した。このシステムは、水温変動について自己回帰モデルを作成し、このモデルを用いて予測を行うシステムである。自己回帰分析にあたっては計算が複雑化することを避けるため、データセットをクラスター解析により地理的、空間的(湾内の深度方向)なクラスターでまとめた上で、クラスター間の主成分を求め、説明変数になるべく少なくした。クラスター解析の類似度とクラスタリングには、最も基本的なユークリッド距離と最長距離法を使用した。主成分分析は分散共分散行列を使用した。

結 果

1 ホタテガイ養殖漁場内の水温モニタリング

奥内ブイ、野辺地ブイ及び浜奥内ブイの半旬別の平均水温を図2に示した。また、各ブイの観測期間の水温の範囲を表2に示した。

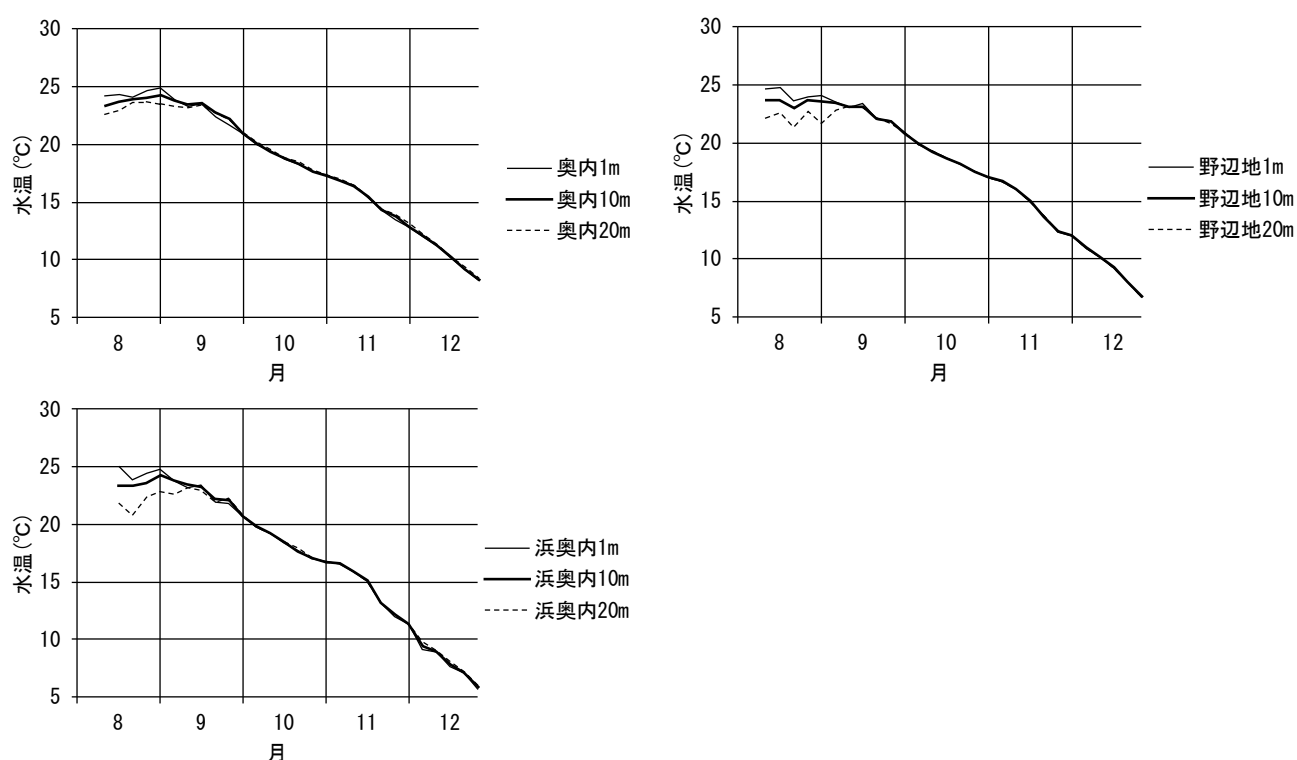


図2 各ブイにおける半旬別の平均水温

表2 水温の範囲

ブイ	水深	毎時観測値				日平均値				半旬別平均値			
		最低	起時	最高	起時	最低	起時	最高	起時	最低	起時	最高	起時
奥内	1m層	7.63	12/29	25.86	08/14	7.77	12/29	25.20	09/01	8.15	12-6	24.88	09-1
	10m層	7.84	12/29	24.92	08/29	7.99	12/29	24.42	09/05	8.21	12-6	24.25	09-1
	20m層	8.23	12/31	24.56	09/05	8.36	12/31	24.04	09/04	8.49	12-6	23.64	08-6
野辺地	1m層	6.42	12/29	26.46	08/16	6.56	12/29	25.84	08/16	6.74	12-6	24.83	08-4
	10m層	6.47	12/29	25.02	08/11	6.60	12/29	24.22	08/11	6.77	12-6	23.73	08-3
	20m層	6.44	12/29	23.79	08/12	6.57	12/29	23.41	08/28	6.72	12-6	23.16	09-3
浜奥内	1m層	4.18	12/26	26.20	08/13	5.22	12/27	25.35	09/02	5.66	12-6	25.05	08-4
	10m層	5.35	12/31	24.87	09/03	5.62	12/31	24.45	09/05	5.91	12-6	24.22	09-1
	20m層	5.54	12/30	24.42	09/04	5.77	12/30	24.09	09/05	6.05	12-6	23.17	09-3

半旬別平均水温について、観測開始直後は成層期で、各ブイの 1m 層～20m 層の鉛直方向の水温差は 1.52℃～3.09℃であり、8 月下旬～9 月上旬に最高水温となった。ただし、最も高かったのは浜奥内ブイ 1m 層の 8 月第 4 半旬で 25.05℃であった。

9 月中旬には鉛直混合による水温躍層の解消により、水温の上下の温度差がなくなり、徐々に低下して 12 月下旬に最低となった。最も低かったのは浜奥内ブイ 1m 層で 5.66℃となった。

2 ブイロボットデータの統計的解析

(1) ブイロボットデータのクラスター解析

クラスター解析によるデンドログラムを図 3 に示した。図 3 から、ユークリッド距離 11.4 で 6 個のクラスターに分類可能となった。各クラスターにまとめられる各層を表 3 に示した。それぞれのクラスターは地理的、空間的關係から下記のように分類されたと考えられる。

C1：湾口部表層

C2：西湾奥部中層

C3：湾中央部表層

C4：西湾底層

C5：東湾底層

C6：東湾中層

※表層：表面～15m 程度、中層：15m～30m 程度、底層：30m 程度～海底

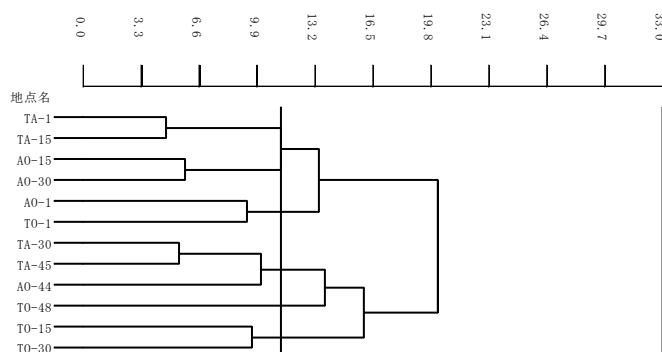


図 3 ブイロボット月別平均水温のデンドログラム

※TA：平館ブイ、AO：青森ブイ、TO：東湾ブイ
数字は水深で各層を表す。

表 3 ブイロボットデータのクラスター区分

クラスター	観測層
C1	平館1m層 平館15m層
C2	青森15m層 青森30m層
C3	青森1m層 東湾1m層
C4	平館30m層 平館45m層 青森44m層
C5	東湾48m層
C6	東湾15m層 東湾30m層

また、ユークリッド距離 16.1 で 3 個の小グループに分類すると、小グループ 1(小 G1)では C1～C3 が結合され、小グループ 2(小 G2)では C4 と C5 が結合された。サブグループ 3 では C6 が独立した。それぞれの小グループは下記のように分類されたと考えられる。

小 G1：全湾表層＋西湾中層

小 G2：全湾底層

小 G3：東湾中層

※小 G：小グループの略

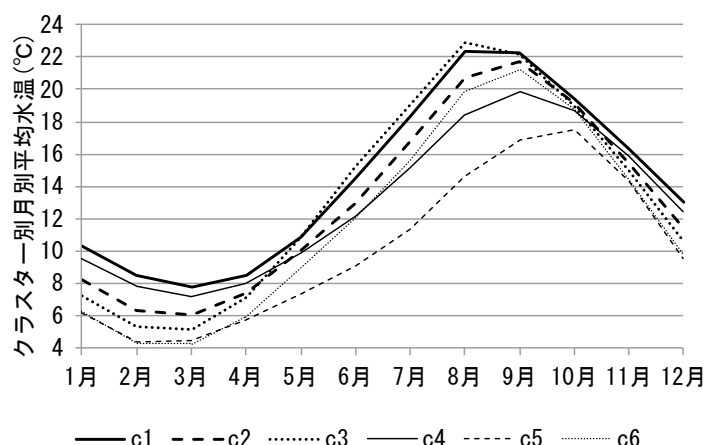


図 4 クラスター別平均水温

更に、ユークリッド距離 20.6 では 2 個の大グループに集約できる。大グループ 1(G1)は小 G1 が独立し、大グループ 2(G2)が小 G2 と小 G3 が結合される。各大グループについて、G1 が全湾上層、G2 が全湾下層に分類されたと考えられる(ここで、上層は表面～30m 程度、下層は 15m 程度～海底を表す)。

これらをまとめると、陸奥湾の水温変動は、大きくは上層と下層に区分され、下層は東湾中層と全湾底層に区分される。更に、上層は湾口部表層、西湾奥部中層及び湾中央部表層に区分され、全湾底層は西湾底層と東湾底層に区分されたと考えられる。

ここで、クラスター別の水温変動を確かめるため、クラスター別に累年平均した水温を図4に示す。

C1は、年間を通じて他クラスターよりも高い水温を示していた。これは、津軽海峡から陸奥湾内に流入する津軽暖流由来の外海水の影響が強く出たためと考えられる。C2はC1に対して一様に2℃ほど低く、C1よりも下層にあることを表していると考えられる。C3は、最低値と最高値の較差が最も大きくなった。C3は、地理的空間的には湾中央部表層に分類されるため、気温の影響を強く受ける一方で、定常的で変動を抑制する外海水の流入が弱いため、暖まりやすく冷めやすいことを表しているものと考えられる。C4は、水温の変動が小さく安定しており、C3とは逆に、変動の少ない外海水に支配されており、気温の影響を受けにくいことを表していると考えられる。C5は、年間を通じて最も水温が低く、図3のとおり他クラスターからも離れた距離にある。これは、陸奥湾固有水が表わされたものと考えられる。C6は、冬季はC5と同程度に水温が低く、陸奥湾固有水の影響を受けていると考えられ、夏季はC2と同程度に水温が高くなり、中層に流れ込む外海水の影響を受けたと考えられる。

これらの水温変動の特徴は、各クラスターに含まれるブイ位置や観測水深の地理的空間的特徴を良くとらえており、クラスター区分の確からしさが確認されたと考えられた。

(2) クラスターの主成分分析

陸奥湾の水温変動をクラスターでまとめることができたため、統計的解析のための説明変数をさらに減らすために、C1～6のクラスター別平均水温について主成分分析を行った。解析の結果、下記の6つの主成分が得られた。

$$z_1 = 0.361 \times T_{C1} + 0.435 \times T_{C2} + 0.431 \times T_{C3} + 0.356 \times T_{C4} + 0.390 \times T_{C5} + 0.464 \times T_{C6}$$

$$z_2 = -0.333 \times T_{C1} - 0.114 \times T_{C2} - 0.540 \times T_{C3} + 0.213 \times T_{C4} + 0.728 \times T_{C5} + 0.093 \times T_{C6}$$

$$z_3 = 0.346 \times T_{C1} + 0.205 \times T_{C2} - 0.247 \times T_{C3} + 0.613 \times T_{C4} - 0.092 \times T_{C5} - 0.626 \times T_{C6}$$

$$z_4 = 0.002 \times T_{C1} - 0.221 \times T_{C2} + 0.555 \times T_{C3} - 0.216 \times T_{C4} + 0.514 \times T_{C5} - 0.577 \times T_{C6}$$

$$z_5 = 0.733 \times T_{C1} - 0.612 \times T_{C2} - 0.195 \times T_{C3} - 0.095 \times T_{C4} + 0.101 \times T_{C5} + 0.174 \times T_{C6}$$

$$z_6 = -0.318 \times T_{C1} - 0.576 \times T_{C2} + 0.340 \times T_{C3} + 0.629 \times T_{C4} - 0.186 \times T_{C5} + 0.145 \times T_{C6}$$

z : 主成分 $T_{C1} \sim T_{C6}$: C1～C6の水温

主成分分析は、多くの変数の値をできるだけ情報の損失なしに、1個または少数個の総合的指標で代表させる分析方法であるが、今回のクラスター別平均水温を説明するに当たっては、計算が複雑になるのを防ぐために、主成分の数を更に抑える必要がある。主成分の選択には、各主成分の固有値と寄与率を比較する必要がある。固有値を図5に、寄与率を図6に示した。

主成分選択の目安としては、①固有値が1以上であること②直近の寄与率との差が大きい③累積寄与率が80%以上であることがあげられる。今回の主成分の中でこれに該当するのは第1主成分(z_1)のみであるため、これを採用することとした。

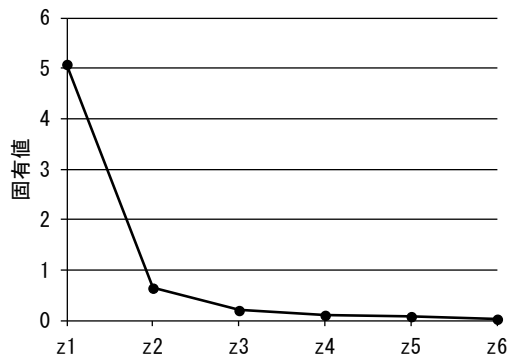


図5 各主成分の固有値

ここで、第1主成分の変動に対して、各クラスターがどれほど影響するかを確認するため、各クラスターの因子負荷量を図7に示した。図7の結果から、全クラスターの因子負荷量が正の値を示した。このことは、第1主成分の変動に対してすべてのクラスターが同じ符号で変動することを意味している。そのため、第1主成分は湾内水温変動の全体的な変動を表わしていることになる。また、各クラスター間の因子負荷量には大きな差は見られないものの、比較的值が大きいのはC2(西湾奥部中層)、C3(湾中央部表層)及びC6(東湾中層)となっており、最も大きいのはC6である。この3個のクラスターの内、C2とC6を変動させる要因として考えられるのは、中層での外海水との交換である。また、C3については、日射や気温の影響を強く受けると考えられる。

これらのことを総括すると、陸奥湾の水温変動は、全域全層でほぼ一様な動きをするものであるが、中層(15m~30m)では外海水の交換が、湾中央部表層水では日射や気温が、変動を引き起こす主な要因となることが考えられた。

考 察

(1) 水温予測自己回帰モデルの作成

計算の結果から得られた、陸奥湾の水温変動にかかる第1主成分を使用して、水温予測のためのモデル作成を試みる。月別平均水温から求められる第1主成分は、それ自身が時系列データであるため、第1主成分の自己回帰モデルを作成することとする。自己回帰は、自らの時系列の過去データから、ある時間のデータを得る方法であり、その式は下記のようにあらわされる。

$$z_t = a_1 \times z_{t-1} + a_2 \times z_{t-2} + \dots + a_m \times z_{t-m}$$

z_t : ある月 t で観測された水温から計算された主成分スコア a : 自己回帰係数

$t-m$: ある月 t の m ヶ月前

最適な自己回帰モデルを求めるために最も問題となるのは、モデルの次数をいくつに設定するか、ということである。本報告では次数の判定として赤池情報量基準(AIC=Akaike's Information Criterion)を用いる。AICはモデルの当てはまりの良さを示す統計量であり、数値が小さいほど当てはまりがよいモデルということになる。図8に第1主成分自己回帰モデルのAIC分布を示す。この図から、AICが最低になる次数は2になることが分かった。

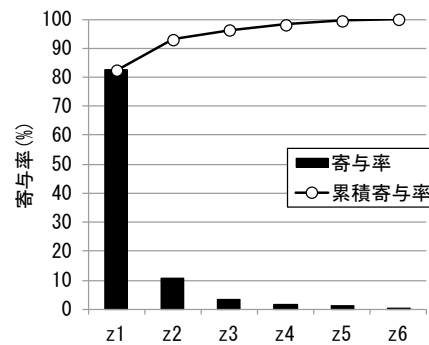


図6 各主成分の寄与率

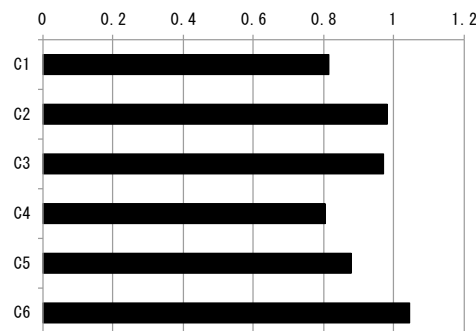


図7 第1主成分の因子負荷量

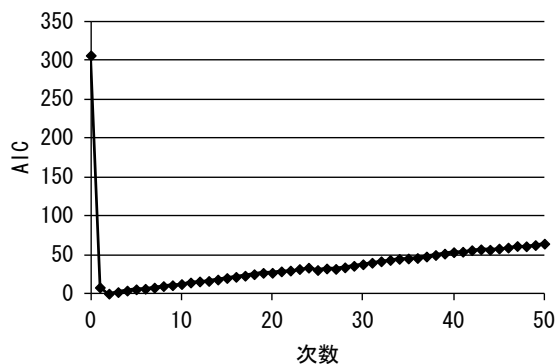


図8 第1主成分自己回帰モデルのAIC分布

次数を 2 とした第 1 主成分の自己回帰モデルは次式のとおり計算される。

$$z_t = -0.139 \times z_{t-2} + 0.877 \times z_{t-1}$$

ここで、この自己回帰モデルの係数の符号と大きさから、第 1 主成分は、1 か月前のスコアに強く依存し、2 か月前と 1 か月前の符号が逆転していることから、急激な変動を再現するのが得意なモデルであるといえる。一方で、正偏差や負偏差が続く動きを再現するのは不得意であると考えられる。

主成分スコアの実測値からの計算値と、モデルによる計算値(予測値)の比較を図 9 に示した。

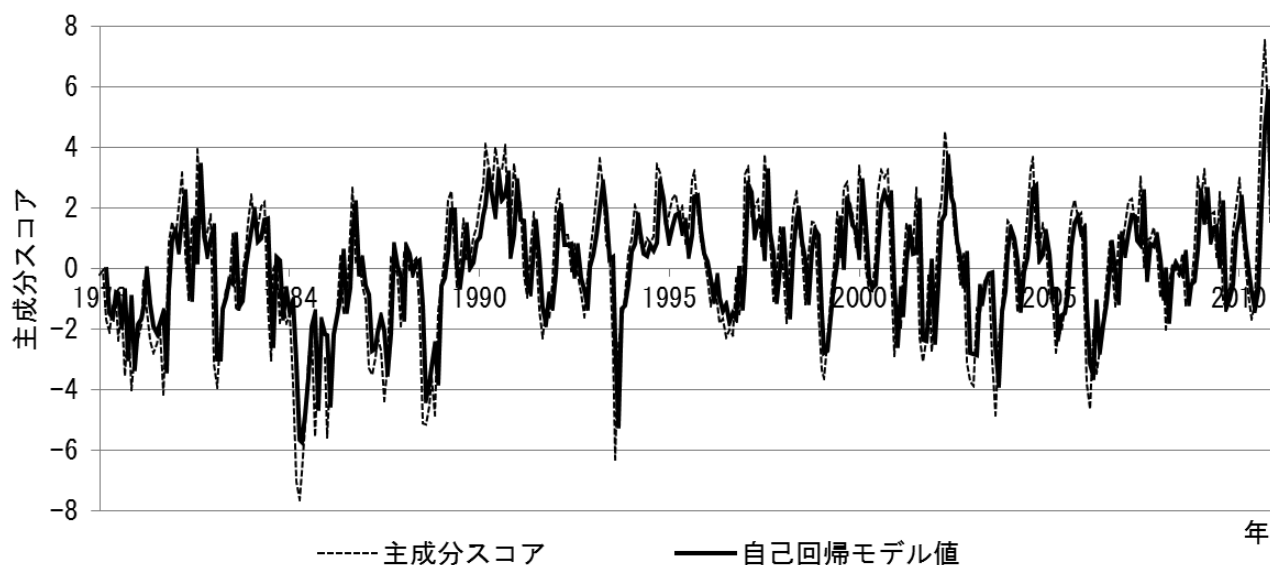


図 9 第 1 主成分の主成分スコアと自己回帰モデル値の比較

主成分スコアと自己回帰モデルの予測値を比較すると、変動傾向が類似しており、スコアも近い値を示すことが分かり、自己回帰モデルで第 1 主成分を説明可能であることが示唆された。

自己回帰モデルの予測値に対し、各クラスターの固有ベクトル(表 4)を乗じれば、クラスター別の予測平年偏差水温が計算できる。

ここで、C1 の実測水温とモデル予測水温の比較を図 10 に、相関関係を図 11 に示した。図 10 から、実測水温と予測水温は変動の傾向も類似しており、図 11 から決定係数 (R^2) が 0.9834 と実測水温と予測水温の相関関係が非常に高いことがわかった。

クラスター	固有ベクトル
C1	0.361
C2	0.435
C3	0.431
C4	0.356
C5	0.390
C6	0.464

表 4 各クラスターの固有ベクトル

同様に C2、C3、C4、C5 及び C6 の相関を図 12 に示した。図から、すべてのクラスターにおいて、実測水温とモデル予測水温に高い相関関係があり、モデル予測水温で実測水温が説明可能なことが示唆された。

(2)2011 年水温のモデル実験

2010 年までの実測値で作成した自己回帰モデルにより 2011 年の水温を再現した結果を図 13 に示した。決定係数 (R^2) は 0.9466~0.9699 であり、実測値に対して予測値の当てはまりが良いことが示された。ただし、C2、C3、C5 及び C6 の 2 月~3 月に見られたような平年よりも極端に低い水温については、うまく再現できていない。ここで用いた統計的手法は、過去に出現した観測値に基づくため、平年値に近くなる予測は得意だが、過去に出現していない平年とかけ離れた現象については、再現ができない。本研究は、最

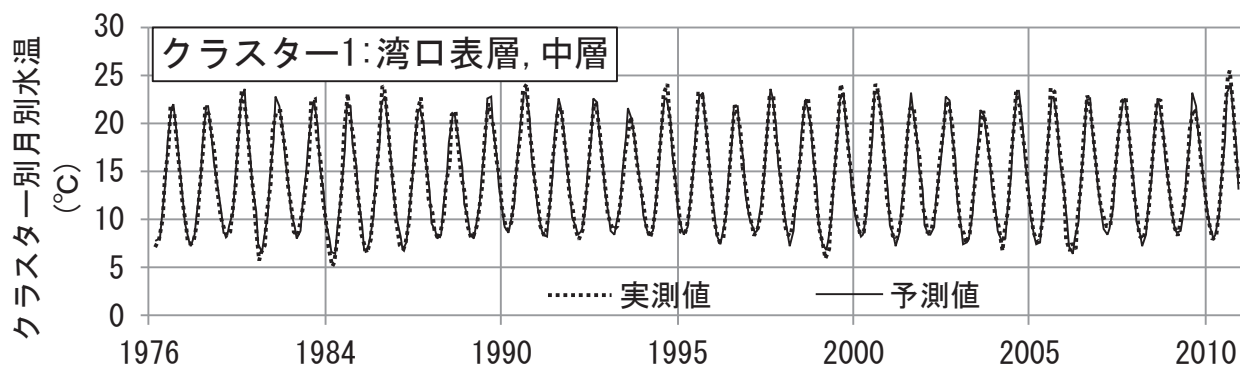


図 10 クラスター1の実測水温と自己回帰モデル予測水温の比較

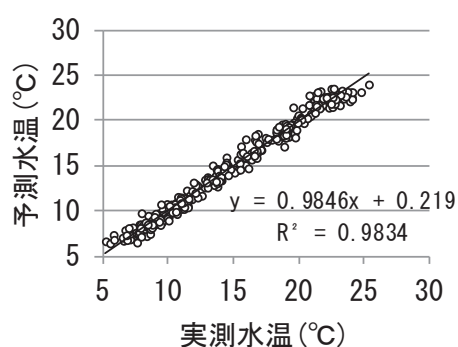


図 11 クラスター1の実測水温と自己回帰モデル予測水温の散布図

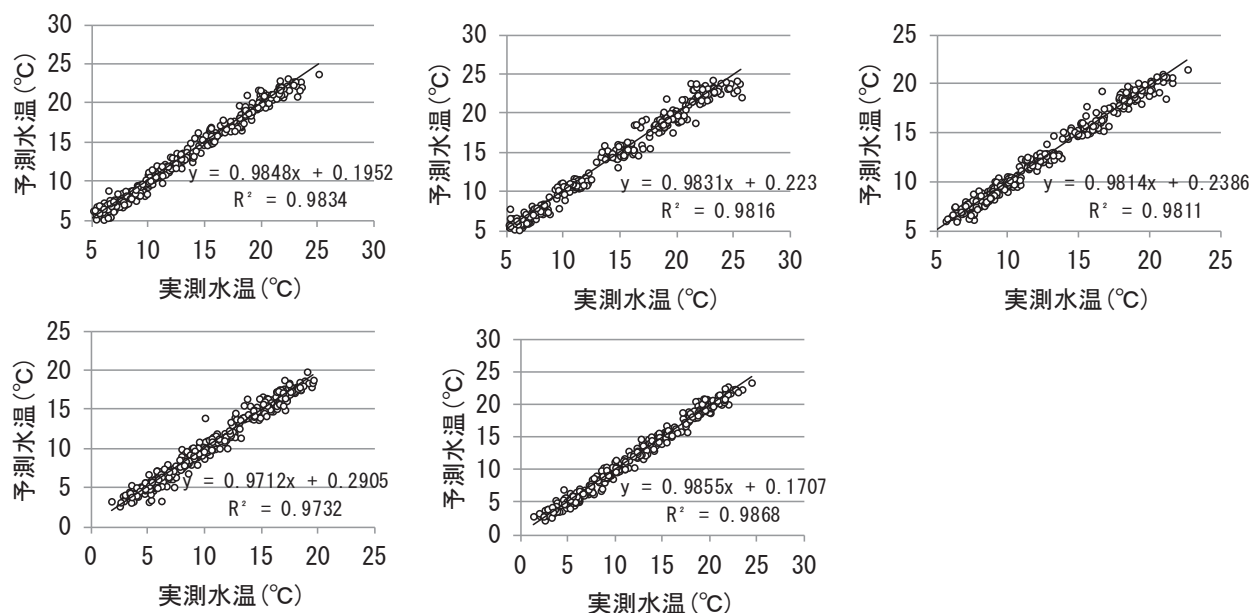


図 12 各クラスターの実測水温と自己回帰モデル予測水温の散布図

右上: C2、上中: C3、左上: C4、右下: C5、下中: C6

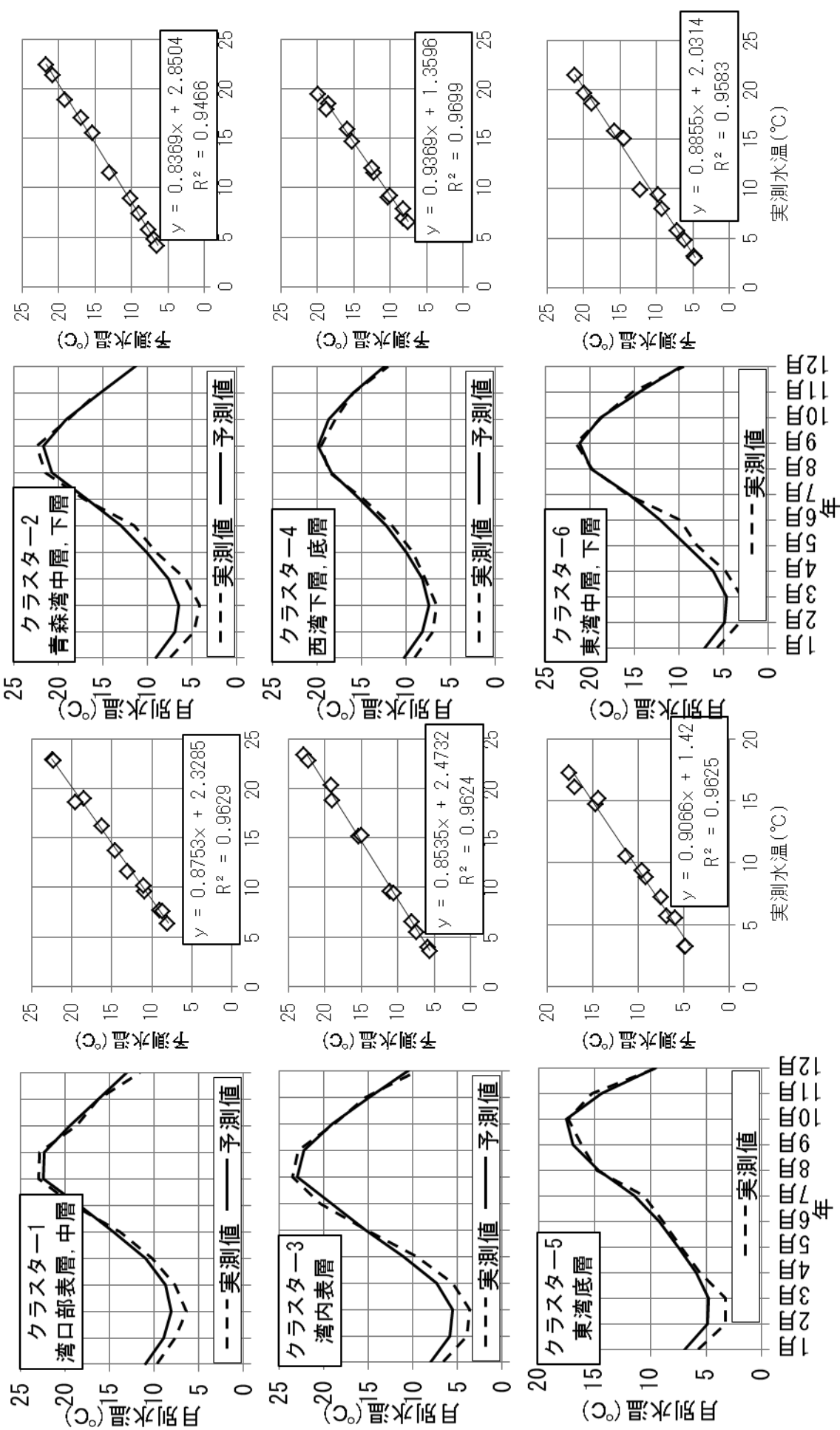


図 13 2011 年水温のモデル実験結果

終的には異常高水温の発生を予測できるモデルの作成をめざしているため、今後は、異常高水温や低水温の発生を誘引している要素をモデルに取り込んで、精度を上げていく必要がある。