

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)

清藤真樹・扇田いずみ

目 的

猛暑時のホタテガイへい死率を低減させるための手法の一つとして、陸奥湾海況自動観測システム(通称ブイロボット)から水温を統計的に予測する手法を開発し、ホタテガイ養殖漁場に設置する自動観測ブイとの関係をとらえることで湾内全体の海況を把握し、早期に高水温海域から避難させるなどの養殖管理に役立てることを目的とする。

材料と方法

1. ブイロボットデータの統計的解析

(独)水産総合研究センター東北区水産研究所が開発した水温経験的予測システムを利用し、現在の3基体制(12層)になった1985年以降の3基のブイの各4層、計12地点の半旬平均値を用いて主成分分析を行った。また、同システムを利用して水温予測自己回帰モデルを作成した。

主成分分析は、多くの変数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、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ことが必要があり、その選択にあたっては、各主成分の固有値と寄与率を比較する必要がある。その主成分の選択の目安には、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こと、③累積寄与率が80%以上であることが目安となる。また、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る。モデルの次数はモデルの当てはまりの良さを示す統計量=赤池情報量基準(AIC=Akaike's Information Criterion)を用いて決定し数値が小さいほど良くなる。これによって得られた自己回帰値に各地点のベクトルを乗することで予測偏差が得られ、平均値と和することで予測水温となる。

(1) 3ブイ12層による解析

3基のブイ、各4層の計12系列を用いて、主成分分析を行い、自己回帰モデルを作成し、3地点12層の水温予測モデルを作成した。

(2) 1ブイ4層による解析

精度の比較といずれかのブイが欠測の場合でも予測を可能とするため、各ブイの4層のみについても主成分分析を行って、自己回帰モデルを作成した。

(3) 予測水温の頂点の補正

3地点12層、1地点4層の自己回帰予測モデルによる水温予測では、特に必要とされる異常高水温時に、実測の最高水温値に達しない場合があり、ホタテガイ養殖管理の注意喚起としては不十分と考えられるため、主成分スコアと自己回帰モデル値の関係から補正を試みた。X軸に主成分スコア、Y軸に自己回帰モデル値をとると、完全一致となれば傾き1となるが、実際には傾きが1以下となる。これを1になるように自己回帰モデル値を修正した。

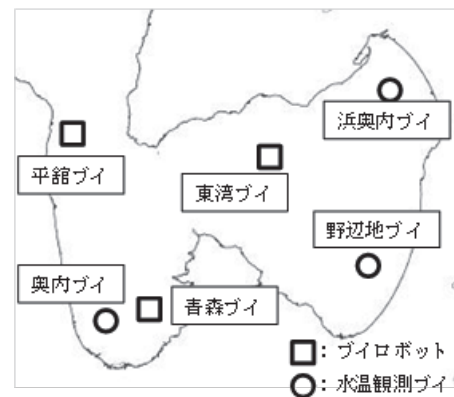


図1. ブイロボ及び簡易ブイの設置位置.

2. ホタテガイ養殖漁場内と水温予測モデルとの関係

養殖漁場内の水温観測として青森市奥内、野辺地町、むつ市浜奥内に設置している水温自動観測ブイ（簡易ブイ）を設置しているがデータ収集期間が短く、予測モデル作成は難しいため、ブイロボットの水温との関係により、予測近似値を得ることとした。

結果

1. ブイロボットデータの統計的解析

(1) 3地点12層による解析

3ブイ4層の計12点の水温観測データから得られた固有値を図2に、寄与率を図3に示した。

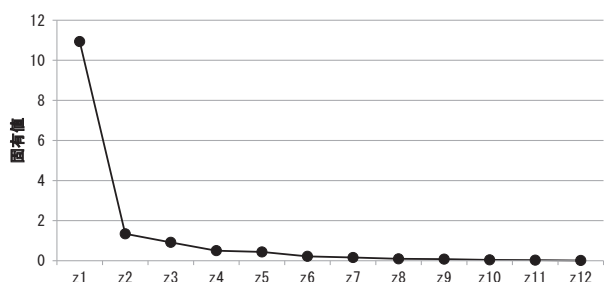


図2. 各主成分の固有値.

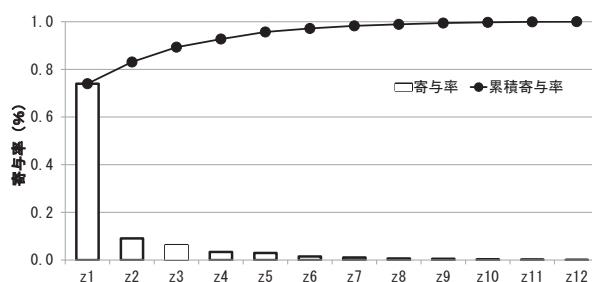


図3. 各主成分の寄与率.

主成分は第1主成分(z1)のみを選択し、自己回帰式は下記のようにあらわされた。

$$Z_1 = 0.274_{TA1} + 0.263_{TA15} + 0.253_{TA30} + 0.224_{TAB} + 0.310_{A01} + 0.306_{A015} + 0.308_{A030} + 0.268_{A0b} + 0.332_{T01} + 0.317_{T015} + 0.310_{T030} + 0.281_{T0b}$$

(Z_1 =第1主成分。TAn=平館ブイ1m、15m、30m、底層。A0n=青森ブイ1m、15m、30m、底層。T0n=青森ブイ1m、15m、30m、底層。)

次にAICを用いて、モデルの次数を5に決定し(図4)、自己回帰モデルは、

$$Z_t = 1.10Z_{t-1} - 0.24Z_{t-2} + 0.09Z_{t-3} - 0.08Z_{t-4} + 0.06Z_{t-5}$$

(半旬 t の主成分スコア) となった。

主成分スコアの実測値とモデルによる予測値の比較を図5に示した。また、この Z_n に固有ベクトルを乗じた予測偏差から予測水温を得た(図6)。

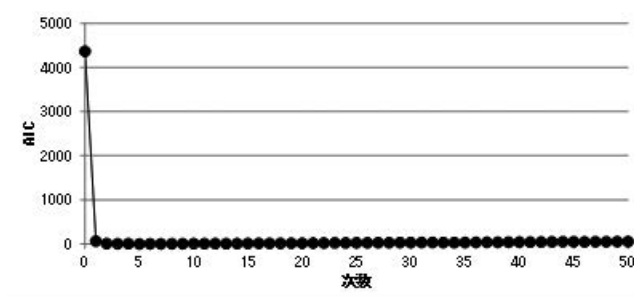


図4. 第1主成分自己回帰モデルのAIC分布.

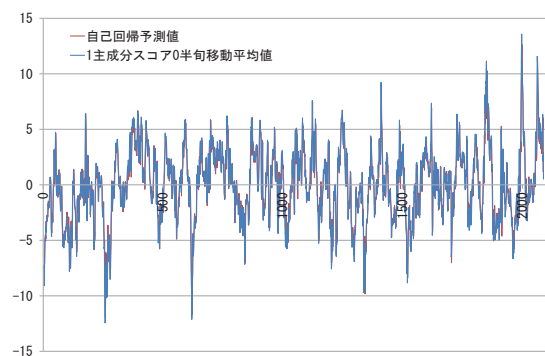
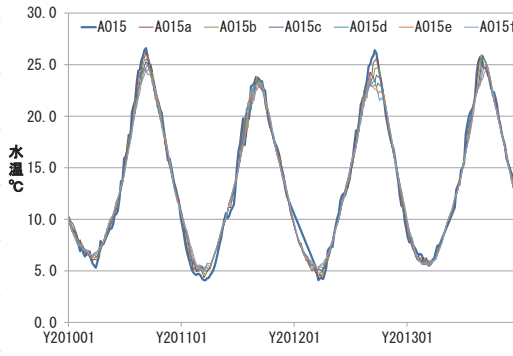


図5. 第1主成分スコアと自己回帰予測値.



固有ベクトル	
平館 1m	0.274
平館 15m	0.263
平館 30m	0.253
平館 底層	0.224
平館 1m	0.310
平館 15m	0.306
平館 30m	0.308
平館 底層	0.268
平館 1m	0.332
平館 15m	0.317
平館 30m	0.310
平館 底層	0.281

図6. 青森ブイ15m層の実測値と予測値.

(2) 1ブイ4層による解析

それぞれの自己回帰モデルは、AICより平館ブイでは次数8、青森ブイでは次数5、東湾ブイでは次数3をとり、自己回帰モデルは、

$$TA_t = 0.82TA_{t-1} - 0.05TA_{t-2} + 0.10TA_{t-3} - 0.04TA_{t-4} + 0.06TA_{t-5} - 0.01TA_{t-6} - 0.06TA_{t-7} + 0.06TA_{t-8}$$

$$A0_t = 1.03A0_{t-1} - 0.19A0_{t-2} + 0.06A0_{t-3} - 0.04A0_{t-4} + 0.05A0_{t-5}$$

$$T0_t = 0.95T0_{t-1} - 0.08T0_{t-2} + 0.05T0_{t-3}$$

(半旬 t の主成分スコア) となった。

主成分スコアの実測値とモデルによる予測値の比較を図5に示した。また、 TA_t 、 $A0_t$ 、 $T0_t$ に各固有ベクトルを乗した予測偏差から予測水温を得た (図7、8)。

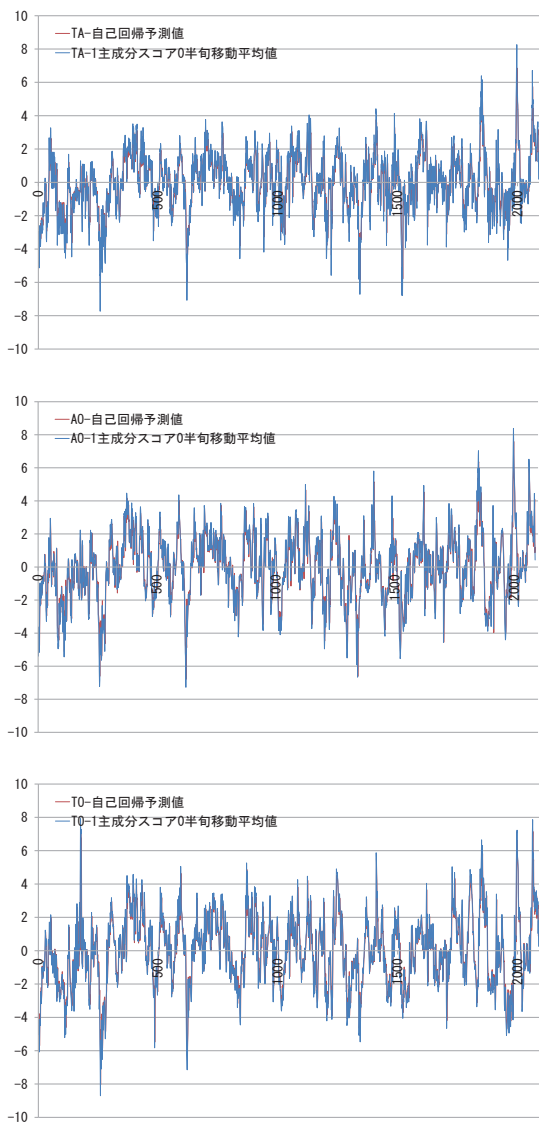


図7. 第1主成分スコアと自己回帰予測値.

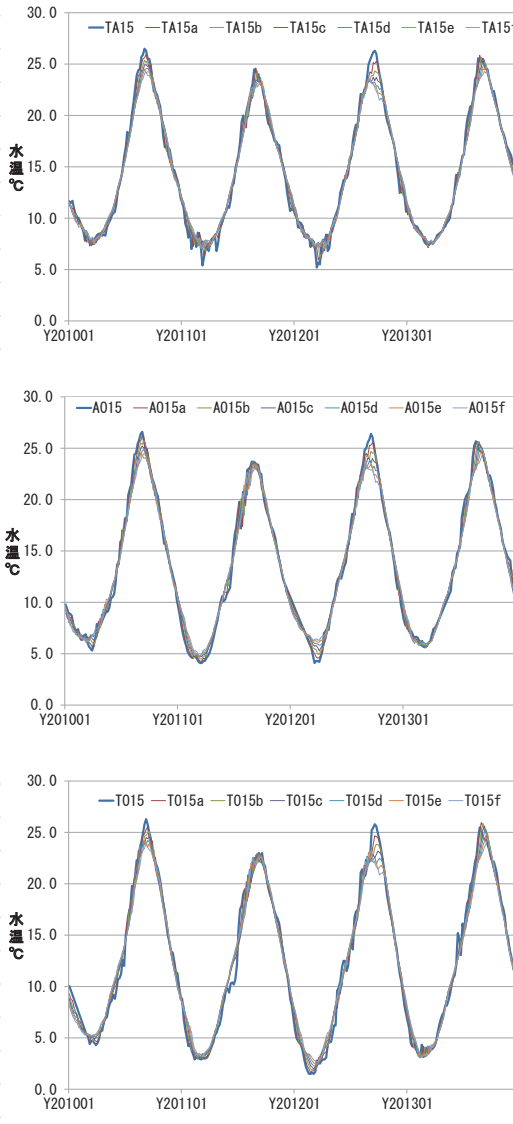


図8. 各ブイ15m層の実測値と予測値.

固有ベクトル	
平館 1m	0.529
平館 15m	0.513
平館 30m	0.501
平館 底層	0.453

固有ベクトル	
平館 1m	0.522
平館 15m	0.512
平館 30m	0.516
平館 底層	0.447

固有ベクトル	
平館 1m	0.487
平館 15m	0.504
平館 30m	0.522
平館 底層	0.486

(3) 予測水温の頂点の補正

X軸に主成分スコア、Y軸に自己回帰モデル値の傾きを1になるように自己回帰モデル値を修正し、各固有ベクトルから水温予測値を算出することにより、若干ではあるが最高水温地点への追随性に若干の改善が見られた (図9)。

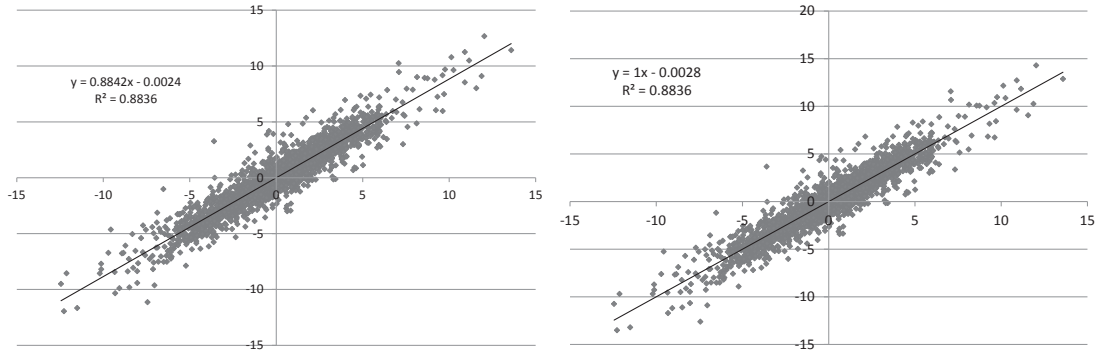


図9. 3地点4層モデルの主成分スコアと自己回帰モデル値の傾き補正（左：補正前、右：補正後）。

2. ホタテガイ養殖漁場内の水温モニタリング

基本的に近隣の近い水深のものとの相関が高いが、野辺地については、10m層と20m層で青森ブイとの相関が高くなった（表1）。これらの関係を用いることにより、ブイロボットを用いた水温予測値から、養殖漁場内の水温予測が可能となった。

表1. ブイロボット実測値と簡易ブイ実測値の関係

		奥内			野辺地			浜奥内		
		1m	10m	20m	1m	10m	20m	1m	10m	20m
平館	1m	0.97	0.98	0.97	0.96	0.97	0.95	0.93	0.96	0.95
	15m	0.95	0.98	0.98	0.94	0.97	0.97	0.90	0.95	0.97
	30m	0.91	0.96	0.98	0.89	0.96	0.98	0.84	0.92	0.97
青森	1m	1.00	0.98	0.96	0.99	0.95	0.89	0.98	0.98	0.91
	15m	0.96	0.99	1.00	0.94	0.99	0.98	0.90	0.97	0.98
	30m	0.92	0.97	0.99	0.89	0.97	0.99	0.84	0.94	0.98
東湾	1m	0.99	0.98	0.96	1.00	0.97	0.91	0.99	0.99	0.94
	15m	0.96	0.98	0.99	0.95	0.98	0.97	0.93	0.98	0.98
	30m	0.88	0.93	0.95	0.84	0.93	0.97	0.81	0.91	0.97

考 察

3地点12層、1地点4層、補正なし、補正ありの4モデルの精度について、実測値との±1℃以内の比率から検証した（表2）。

3地点12層モデルと1地点4モデルの補正なしのモデルでは、東湾ブイの上層を除き1地点4層モデルの方の成績がよく、補正ありでは、ほぼ半々の成績となった。また、3地点12層モデルの補正なし、補正ありを比較すると、補正なしの成績が高く、1地点4層モデルの補正なし、補正ありを比較すると補正なしの成績が良かった。

以上の通り、1地点4層モデルの精度の高い予測モデルが得られたが、高水温時の追従性は補正モデルに劣ったので、1地点4層モデルを基本とし、補正ありのモデルを併用し、養殖管理情報として用いることが適当と考えられた。

表2. 4モデルの実測値±1.0°C以内の比率の比較

±1度以内(%)							
補正なし							
	A	a	b	c	d	e f	
3 地 点	TA1	89.5	85.0	81.9	79.7	78.8	77.8
	TA15	93.5	88.3	85.5	84.1	82.7	82.1
	TA30	91.7	88.1	86.4	84.5	83.2	82.5
	TAb	86.9	84.2	83.1	82.4	80.8	80.7
	AO1	87.0	81.4	77.6	74.0	71.3	69.9
	AO15	95.0	87.1	83.1	79.1	76.9	75.2
	AO30	93.7	87.5	83.6	80.8	78.7	77.0
	AOb	87.7	84.9	81.8	79.9	78.3	76.7
	TO1	84.9	81.4	78.0	75.8	73.0	69.4
	TO15	93.5	88.9	84.1	80.8	77.5	74.9
	TO30	88.0	86.2	82.6	78.3	76.2	73.0
	TOb	83.4	81.3	78.7	77.7	75.9	73.2
補正あり							
	A'	a	b	c	d	e f	
1 地 点 4 層	TA1	88.3	83.2	80.5	78.9	78.1	77.2
	TA15	93.5	88.3	85.5	84.1	82.7	82.1
	TA30	91.1	86.9	85.5	83.7	82.9	81.7
	TAb	86.2	84.1	82.7	82.3	80.7	80.7
	AO1	86.0	80.8	76.5	73.4	70.8	69.3
	AO15	94.0	87.1	82.6	79.8	76.4	75.2
	AO30	93.5	86.8	82.7	80.7	77.9	76.4
	AOb	87.5	84.3	81.6	79.8	77.9	76.9
	TO1	83.9	80.3	77.5	74.1	72.1	69.3
	TO15	93.3	87.6	83.8	80.4	78.1	75.0
	TO30	88.7	85.9	82.7	78.9	76.3	73.1
	TOb	83.1	81.0	79.4	77.5	75.3	73.3
補正なし							
	B	a	b	c	d	e f	
1 地 点 4 層	TA1	90.9	85.3	82.9	80.0	78.1	77.4
	TA15	95.1	89.7	86.8	84.2	82.4	81.5
	TA30	93.3	89.1	87.3	85.2	83.6	83.1
	TAb	88.7	85.7	84.0	83.6	81.8	81.3
	AO1	87.9	83.1	78.1	74.9	72.5	70.6
	AO15	95.8	89.0	83.4	80.2	77.3	76.2
	AO30	94.3	87.8	83.8	81.0	77.5	77.3
	AOb	87.8	84.1	81.0	79.2	77.8	76.9
	TO1	83.4	79.1	76.0	73.4	70.6	68.9
	TO15	91.7	86.3	81.7	79.0	76.1	74.6
	TO30	90.1	85.5	81.3	78.1	74.9	73.3
	TOb	85.6	82.4	79.3	77.7	75.2	74.2
補正あり							
	B'	a	b	c	d	e f	
1 地 点 4 層	TA1	88.1	82.7	80.8	78.9	76.9	76.6
	TA15	93.3	86.5	84.8	83.7	81.4	80.5
	TA30	90.7	85.9	85.8	84.2	82.6	82.2
	TAb	86.7	84.0	83.3	82.1	81.9	81.4
	AO1	86.7	81.5	77.0	74.1	71.8	70.3
	AO15	94.3	87.4	83.1	79.6	76.6	75.8
	AO30	93.1	86.5	82.5	80.5	77.5	76.6
	AOb	86.9	83.5	80.7	79.2	77.2	76.7
	TO1	81.6	77.7	75.4	73.2	71.2	69.0
	TO15	90.1	84.6	80.7	78.7	77.0	74.4
	TO30	89.7	84.6	80.7	78.0	75.5	73.8
	TOb	83.8	81.3	78.4	77.0	75.9	74.7

A-A'	a	b	c	d	e	f
TA1	1.3	1.7	1.4	0.8	0.7	0.6
TA15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TA30	0.6	1.2	0.9	0.8	0.2	0.8
TAb	0.6	0.1	0.4	0.1	0.0	-0.0
AO1	1.0	0.6	1.0	0.6	0.5	0.6
AO15	1.0	0.0	0.5	-0.7	0.5	-0.0
AO30	0.2	0.6	0.9	0.1	0.8	0.7
AOb	0.2	0.5	0.2	0.1	0.4	-0.2
TO1	1.1	1.1	0.5	1.7	0.8	0.1
TO15	0.2	1.3	0.3	0.4	-0.6	-0.1
TO30	-0.7	0.3	-0.1	-0.6	-0.1	-0.1
TOb	0.3	0.3	-0.7	0.2	0.6	-0.1

B-B'	a	b	c	d	e	f
TA1	2.8	2.6	2.2	1.1	1.2	0.8
TA15	1.8	3.2	2.0	0.5	1.1	1.0
TA30	2.6	3.2	1.5	1.0	1.1	0.9
TAb	2.0	1.7	0.7	1.5	-0.1	-0.1
AO1	1.2	1.6	1.1	0.8	0.7	0.2
AO15	1.5	1.5	0.4	0.6	0.7	0.4
AO30	1.2	1.4	1.3	0.5	0.0	0.6
AOb	0.9	0.6	0.2	0.0	0.6	0.2
TO1	1.7	1.5	0.6	0.2	-0.6	-0.0
TO15	1.5	1.7	1.0	0.3	-0.9	0.2
TO30	0.4	0.9	0.6	0.1	-0.6	-0.5
TOb	1.8	1.1	0.9	0.7	-0.7	-0.5

A-B	a	b	c	d	e	f
TA1	-1.4	-0.3	-1.1	-0.3	0.7	0.4
TA15	-1.5	-1.4	-1.3	-0.1	0.2	0.6
TA30	-1.6	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.5
TAb	-1.9	-1.4	-0.9	-1.2	-1.1	-0.6
AO1	-0.9	-1.7	-0.5	-0.9	-1.3	-0.6
AO15	-0.8	-1.8	-0.3	-1.2	-0.3	-1.0
AO30	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	1.2	-0.2
AOb	-0.1	0.8	0.8	0.7	0.5	-0.2
TO1	1.6	2.3	2.0	2.5	2.4	0.4
TO15	1.8	2.6	2.4	1.8	1.4	0.3
TO30	-2.2	0.7	1.3	0.2	1.2	-0.3
TOb	-2.2	-1.1	-0.6	0.1	0.7	-1.0

A'-B'	a	b	c	d	e	f
TA1	0.2	0.5	-0.3	0.0	1.2	0.6
TA15	0.2	1.8	0.7	0.4	1.3	1.6
TA30	0.4	1.0	-0.3	-0.4	0.3	-0.4
TAb	-0.5	0.1	-0.5	0.2	-1.2	-0.7
AO1	-0.6	-0.7	-0.4	-0.7	-1.0	-1.0
AO15	-0.3	-0.3	-0.5	0.1	-0.2	-0.6
AO30	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	-0.3
AOb	0.6	0.8	0.8	0.6	0.7	0.2
TO1	2.2	2.6	2.1	1.0	0.9	0.3
TO15	3.1	3.1	3.2	1.8	1.1	0.6
TO30	-1.0	1.3	2.0	0.9	0.8	-0.6
TOb	-0.7	-0.3	1.1	0.5	-0.6	-1.4

a	1半旬先
b	2半旬先
c	3半旬先
d	4半旬先
e	5半旬先
f	6半旬先