

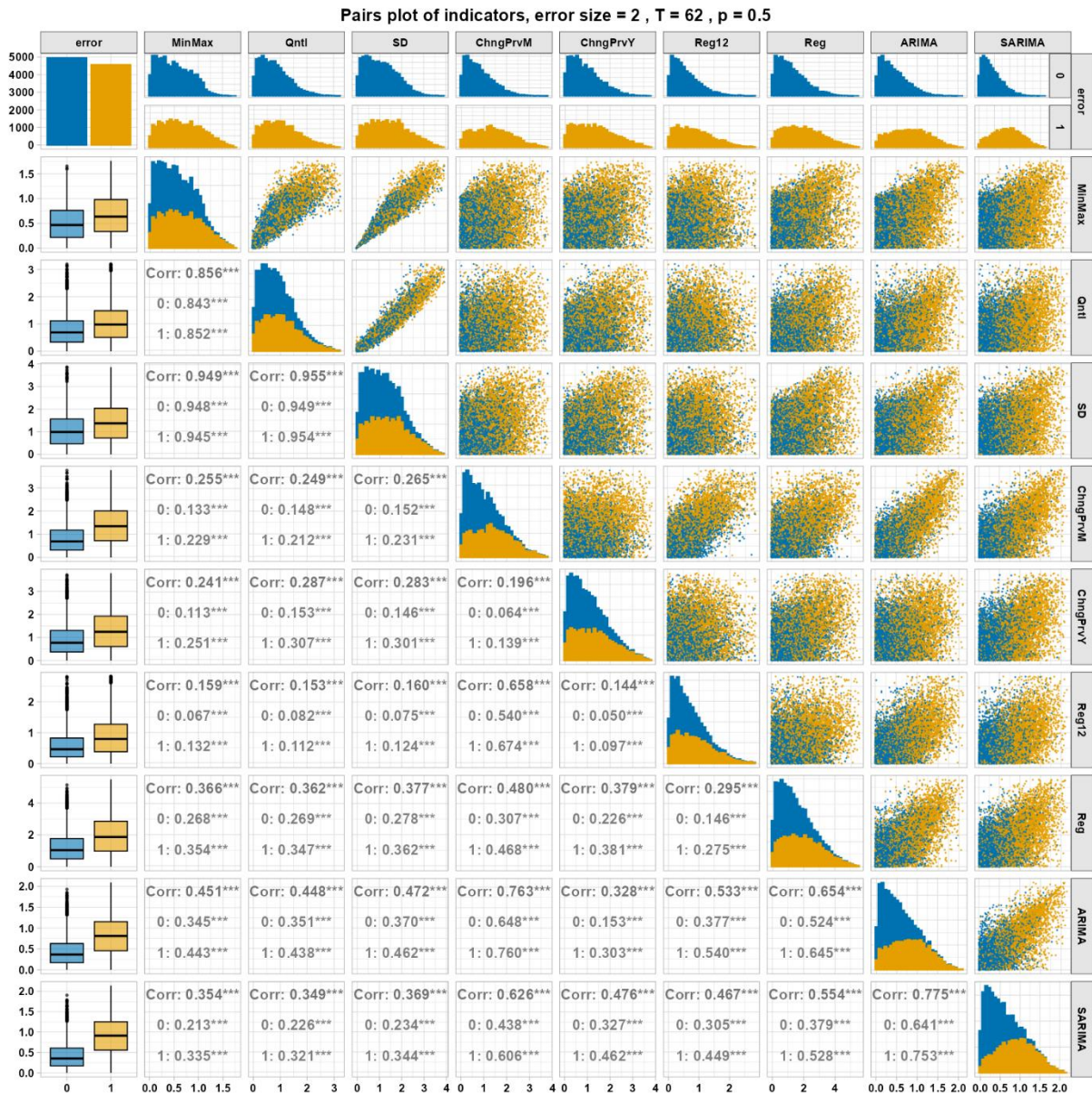
## 経済時系列データにおける外れ値検出指標のパフォーマンスに係る比較検討 オンライン・アペンディックス

### 補遺 1 検出指標間の相関関係

検出指標の候補の選定が妥当であったか確認するため、 $T=62$ ,  $\text{Error Size}=2$  としたときの検出指標ごとの相関関係をまとめた。

シミュレーションによる分析で算出された検出指標の相関関係を表したものが補図 1 である。いずれの検出指標の組についても、相関係数は統計的に有意に正であった。SD と Qntl・MinMax の間では相関係数が 95%程度になり、特に強い相関関係にあることが分かる。また本文で比較的高いパフォーマンスが確認された検出指標に着目すると、ChngPrevM と ARIMA の相関係数は 76%、ChngPrevM と SARIMA の相関係数は 63%、ARIMA と SARIMA の相関係数は 78%であった。

更に補図 1 の最上段は検出指標のヒストグラムを実際の外れ値の存否別に表したもので、 $\text{error}=0$  の行は実際に外れ値がないデータから算出される検出指標の分布、 $\text{error}=1$  は実際に外れ値があるデータから算出される検出指標の分布となっている。これを見ると、ROC-AUC と PR-AUC が大きかった SARIMA、ARIMA、ChngPrvM 等の検出指標について、外れ値でないもの ( $\text{error}=0$ ) と外れ値 ( $\text{error}=1$ ) のヒストグラムのピークのずれが他の検出指標より大きく、外れ値検出のパフォーマンスが比較的高いことが視覚的に読み取れる。



補図 1 検出指標同士の相関関係 (シミュレーション、T=62, Error Size=2, p=0.5)

**Note:** 検出指標の組み合わせについて、散布図 (右上) と相関係数 (左下) をまとめた。外れ値がないデータ (error=0) と外れ値があるデータ (error=1) に関して、上行はヒストグラム、左列は箱ひげ図で分布を表した。対角線上は、外れ値がないデータ (error=0) と外れ値があるデータ (error=1) を積上げた、各検出指標のヒストグラム。見やすさのため、各審査指標について 99 パーセントより大きい値を取る観察を除いて図示しているため、実際のデータセットの数と図中の観察数は一致しない。

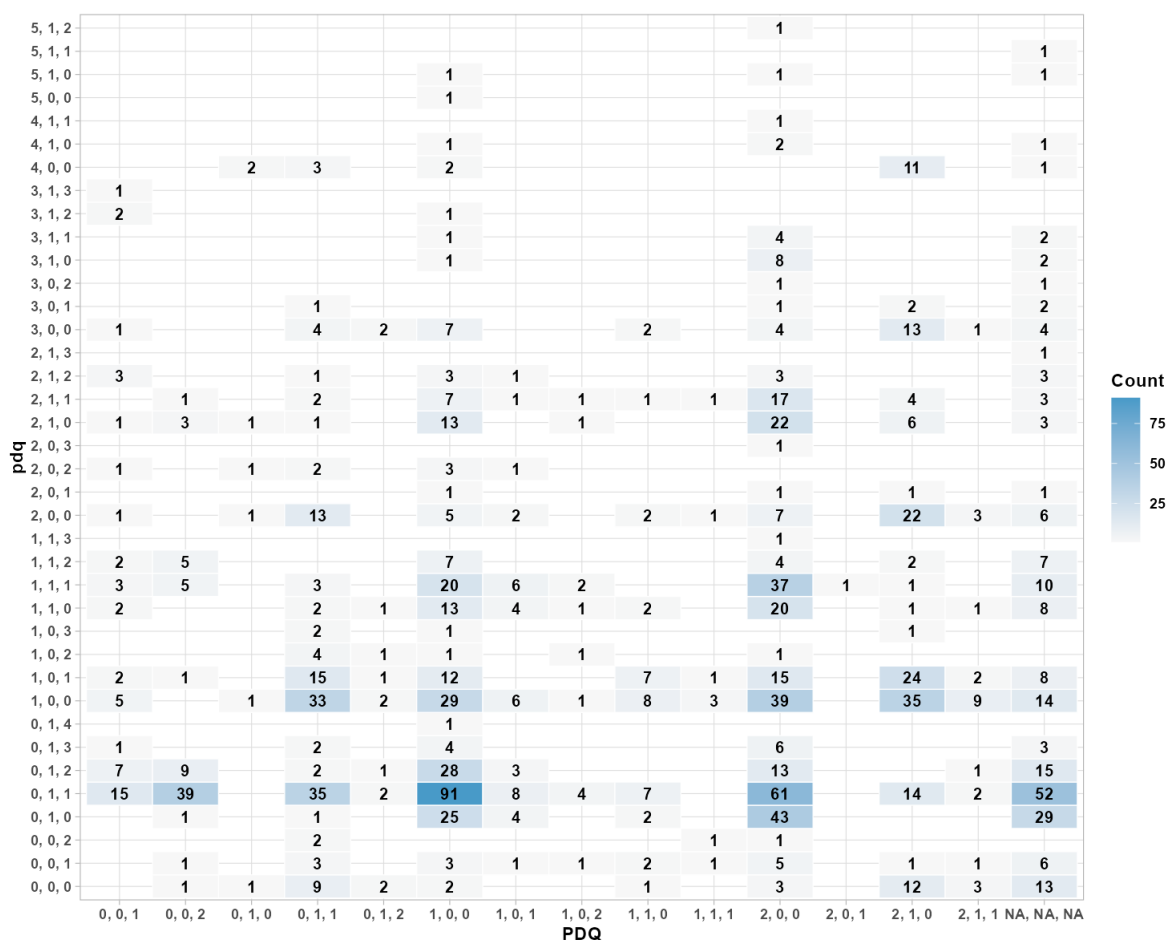
同様に、実データによる分析で算出された検出指標の相関関係を表したものが補図 2 である。いずれの検出指標の組についても、相関係数は統計的に有意に正であった。SD と Qntl・MinMax の間では相関係数が 90% を超えており、特に強い相関関係にあることが分かる。またパフォーマンスが高かった検出指標に着目すると、ChngPrevM と ARIMA の相関係数は 81%、ChngPrevM と SARIMA の相関係数は 64%、ARIMA と SARIMA の相関係数は 74% だった。

更に検出指標のヒストグラムを実際の外れ値であるか否か別に表した補図 2 の最上段を見ると、ROC-AUC と PR-AUC が大きかった SARIMA、ARIMA、ChngPrvM 等の検出指標



## 補遺 2 使用した実データの特徴

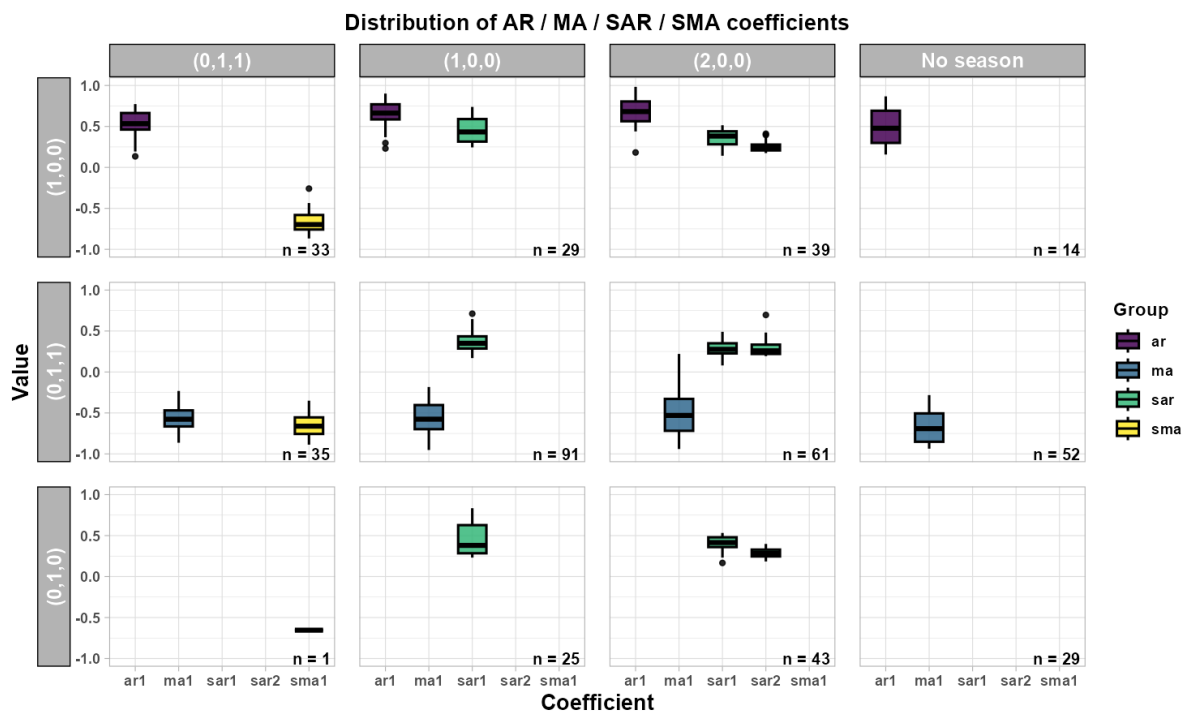
本文で使用した経済産業省生産動態統計調査の時系列データについて、その特徴を確認する。2017年11月～2024年12月の期間で秘匿による欠損値を含まない生産量のデータを選択した結果、1341系列のデータが得られた。これらについて、AICCが最も小さくなるようなSARIMAモデルを選択し、その係数を推定した。このSARIMAモデルの分布をまとめたものが補図3であり、 $(p,d,q)(P,D,Q)_{12} = (0,1,1)(1,0,0)_{12}$ に最も良く当てはまる系列が91個、 $(p,d,q)(P,D,Q)_{12} = (0,1,1)(2,0,0)_{12}$ に最も良く当てはまる系列が61個、 $(p,d,q) = (0,1,1)$ のモデルに最も良く当てはまる系列が52個と多かった。



補図3 実データに最も当てはまりのいい SARIMA モデルの分布

**Note:** 実データから得られた 1341 系列のデータについて、AICC が最も小さくなるような SARIMA モデルの分布。(P,D,Q)=(NA,NA,NA)となっているものは ARIMA モデルが最も当てはまりが良かったことを意味している。

更に補図 3 で得られた主な SARIMA モデルに関して、推定された係数の分布を示したものが補図 4 である。これによるといずれのモデルについても、自己相関項の係数 (AR) はプラスに、移動平均項の係数 (MA) はマイナスになり、季節性を考慮して 12 ないし 24 か月分ずらした自己相関項の係数 (SAR) はプラスに、移動平均項の係数 (SMA) はマイナスになった。



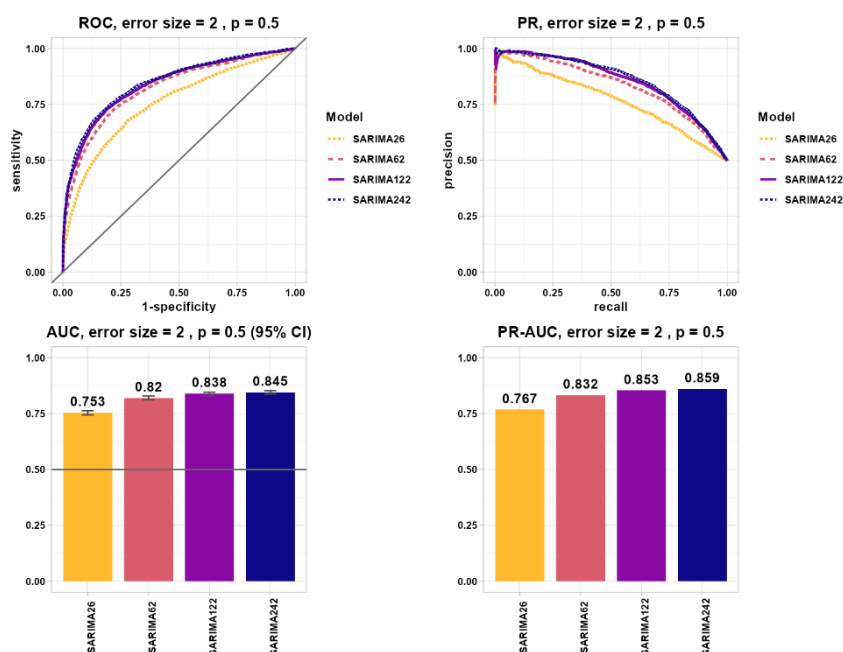
補図 4 推定された SARIMA モデルの係数の分布

**Note:** 補図 3 で示した SARIMA モデルのうち代表的なものについて、各項 (AR,MA,SAR1, SAR2,SMA) の係数の分布を表す箱ひげ図。(P,D,Q)=(NA,NA,NA)となっているものは、季節調整項が無い ARIMA モデル。n は各モデルへの当てはまりが良かった実データの系列の数。

### 補遺 3 様々な T を設定した場合の SARIMA モデルによる検出指標のパフォーマンス比較

SARIMA モデルを用いた検出指標において、季節性は過去のデータの動きから推定されるため、参照する時系列データの期間の長さ T が大きいほど外れ値の検出には有利だと考えられる。実際に本文の分析結果からも、T = 62 に設定した SARIMA の方が、T = 26 に設定した SARIMA より外れ値検出のパフォーマンスが高かった。

このことを踏まえ、シミュレーションデータを用いて、T を更に大きくすることで SARIMA モデルによる検出指標のパフォーマンスが向上するのか確かめた<sup>1</sup>。その結果（補図 5）、T=26 に設定したときの指標（SARIMA26）の ROC-AUC は 0.753、T=62 に設定したときの指標（SARIMA62）は 0.820、T=122 に設定したときの指標（SARIMA122）の ROC-AUC は 0.838、T=242 に設定したときの指標（SARIMA242）の ROC-AUC は 0.845 となり、T を大きくすることで検出指標のパフォーマンスは改善するものの、その改善幅は逡減した。PR-AUC についても同様の大小関係が見られた。



補図 5 SARIMA モデルによる検出指標のパフォーマンス

**Note:** 検出指標に関して、ROC 曲線（左図上段）とその線下面積（ROC-AUC）（左図下段）、PR 曲線（右図上段）とその線下面積（PR-AUC）（右図下段）をまとめた。パラメーターは、外れ値の発生確率  $p = 0.5$ 、もっともらしい値からの乖離の大きさ Error Size=2 に固定した。検出指標の作成に当たって参照する時系列データの期間の長さは T=26,62,122,242 とした。ROC-AUC のエラーバーは、ブートストラップ法を用いて算出した 95% 信頼区間。

<sup>1</sup> シミュレーションによるデータとして、初期値を 0 としたデータを 600 期分生成したうえで、601-T 期から 600 期までの値を使用して SARIMA モデルに基づく検出指標を作成した。また  $p=0.5$ 、Error Size=2 に設定した。

#### 補遺 4 大きな経済ショックを除いた場合の結果の頑健性

本文では 2017 年 11 月～2024 年 12 月の期間のデータを用いたが、この間に含まれる新型コロナウイルス感染症による経済ショックが分析結果に影響を及ぼした可能性がある。そこでデータの期間を 2012 年 1 月～2019 年 12 月のものに絞って、新型コロナウイルス感染症の影響を除いた分析でも、本文での分析と同様の結果が得られるかを確認した。

本文と同様の手順で実データによる分析を行った結果が補表 1 である。概ね定性的には本文と同様の結果が得られたが、 $p=0.05, 0.1$  での MinMax の PR-AUC が ChngPrevM のそれを上回る点で、本文とは異なる結果が得られた。極端な値の影響を受けやすい最大値と最小値に基づく指標は、大きな経済ショックを除いたデータであれば、外れ値の検出に有用だと考えることができる。

**補表 1 各検出指標のパフォーマンス（大きな経済ショックを除いた実データ、 $T=62$ , Error Size=2）**

p	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Threshold					
				F1 Score	Sensitivity/Recall	Specificity	Precision	Accuracy	
(under the maximum F1 score)									
0.5	MinMax	0.656	0.704	0.022	0.668	0.986	0.032	0.505	0.509
	Qntl	0.679	0.69	0	0.668	1	0.004	0.501	0.502
	SD	0.674	0.702	0.023	0.667	0.995	0.013	0.502	0.504
	ChngPrvM	0.742	0.738	0.611	0.701	0.802	0.513	0.622	0.657
	ChngPrvY	0.719	0.717	0.5	0.69	0.847	0.393	0.583	0.62
	Reg12	0.693	0.705	0.163	0.671	0.906	0.205	0.533	0.556
	Reg	0.721	0.729	0.836	0.686	0.807	0.454	0.597	0.631
	ARIMA	0.787	0.782	0.459	0.736	0.791	0.643	0.689	0.717
	SARIMA	0.84	0.829	0.542	0.781	0.828	0.708	0.739	0.768
0.1	MinMax	0.658	0.303	1.054	0.332	0.274	0.958	0.422	0.89
	Qntl	0.681	0.211	1.28	0.305	0.413	0.856	0.242	0.812
	SD	0.674	0.242	2.033	0.323	0.316	0.929	0.331	0.868
	ChngPrvM	0.743	0.276	1.253	0.351	0.563	0.817	0.255	0.792
	ChngPrvY	0.716	0.235	1.736	0.318	0.361	0.899	0.284	0.845
	Reg12	0.71	0.264	1.02	0.33	0.435	0.867	0.266	0.824
	Reg	0.742	0.273	2.317	0.356	0.416	0.897	0.31	0.849
	ARIMA	0.795	0.34	0.786	0.415	0.566	0.871	0.328	0.841
	SARIMA	0.841	0.416	0.936	0.478	0.566	0.911	0.414	0.877
0.05	MinMax	0.641	0.181	1.123	0.251	0.212	0.975	0.307	0.937
	Qntl	0.666	0.111	1.55	0.203	0.298	0.914	0.154	0.883
	SD	0.659	0.131	2.099	0.221	0.268	0.939	0.189	0.906
	ChngPrvM	0.721	0.148	1.599	0.228	0.368	0.902	0.165	0.875
	ChngPrvY	0.715	0.13	1.858	0.225	0.324	0.918	0.172	0.888
	Reg12	0.668	0.133	1.28	0.215	0.284	0.929	0.173	0.897
	Reg	0.717	0.151	2.608	0.264	0.354	0.93	0.211	0.901
	ARIMA	0.764	0.182	0.844	0.271	0.464	0.897	0.192	0.875
	SARIMA	0.82	0.242	0.94	0.329	0.526	0.912	0.239	0.893

**Note:** 検出指標のパフォーマンスをまとめた。パラメーターは、検出指標の作成に当たって参照する時系列データの期間の長さ  $T=62$ 、もっともらしい値からの乖離の大きさ Error Size=2 に固定した。外れ値の発生確率  $p$  は、0.5, 0.1, 0.05 を設定した。Threshold より右の列については、各指標の F1 score を最大化する値に閾値を固定したときの値を報告している。

補遺 5 パラメーターのすべての組み合わせに関する各検出指標のパフォーマンス比較

Error Size, T, p の組み合わせ別の各検出指標のパフォーマンスについて、ROC-AUC と PR-AUCに加え、F1 値を最大化する閾値と、その閾値における F1 値、感度、特異度、適合度、正解率を報告する。

補表 2 各検出指標のパフォーマンス比較 (シミュレーション)

Error Size	T	P	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/						
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy	
3	62	0.5	MinMax	0.733	0.776	0.336	0.684	0.844	0.376	0.575	0.61	
			Qntl	0.729	0.754	0.668	0.681	0.784	0.48	0.601	0.632	
			SD	0.736	0.777	0.835	0.68	0.813	0.422	0.584	0.617	
			ChngPrvM	0.86	0.877	1.219	0.787	0.804	0.761	0.771	0.783	
			ChngPrvY	0.787	0.813	1.134	0.725	0.748	0.686	0.704	0.717	
			Reg12	0.788	0.797	0.609	0.734	0.808	0.606	0.672	0.707	
			Reg	0.829	0.85	1.504	0.76	0.817	0.665	0.709	0.741	
			ARIMA	0.894	0.906	0.724	0.823	0.833	0.809	0.813	0.821	
			SARIMA	0.943	0.947	0.732	0.874	0.91	0.829	0.841	0.869	
	0.1	0.1	0.1	MinMax	0.721	0.408	1.14	0.426	0.358	0.964	0.525	0.903
				Qntl	0.718	0.323	1.767	0.377	0.365	0.936	0.389	0.879
				SD	0.724	0.39	2.425	0.401	0.351	0.955	0.467	0.895
				ChngPrvM	0.863	0.586	1.944	0.543	0.583	0.937	0.508	0.902
				ChngPrvY	0.784	0.439	2.284	0.43	0.384	0.955	0.489	0.898
				Reg12	0.789	0.388	1.324	0.435	0.479	0.92	0.399	0.876
				Reg	0.823	0.516	2.937	0.491	0.509	0.937	0.475	0.895
				ARIMA	0.894	0.664	1.188	0.617	0.587	0.965	0.649	0.927
				SARIMA	0.945	0.786	1.253	0.707	0.661	0.977	0.759	0.945
	0.05	0.05	0.05	MinMax	0.726	0.308	1.177	0.364	0.342	0.972	0.389	0.94
				Qntl	0.728	0.2	1.784	0.286	0.366	0.937	0.235	0.909
				SD	0.73	0.285	2.689	0.337	0.296	0.976	0.391	0.942
				ChngPrvM	0.863	0.472	2.39	0.478	0.444	0.978	0.519	0.952
				ChngPrvY	0.763	0.28	2.406	0.327	0.318	0.967	0.336	0.935
				Reg12	0.789	0.254	1.683	0.335	0.332	0.966	0.339	0.934
				Reg	0.816	0.367	3.443	0.39	0.382	0.97	0.399	0.94
				ARIMA	0.901	0.534	1.2	0.52	0.576	0.966	0.474	0.947
				SARIMA	0.943	0.663	1.412	0.613	0.528	0.99	0.729	0.967
	26	0.5	0.5	MinMax	0.794	0.827	0.635	0.722	0.774	0.631	0.677	0.703
				Qntl	0.788	0.808	0.993	0.725	0.748	0.684	0.703	0.716
				SD	0.801	0.835	1.233	0.728	0.77	0.655	0.691	0.713
				ChngPrvM	0.859	0.878	1.141	0.785	0.817	0.735	0.755	0.776
				ChngPrvY	0.807	0.831	1.46	0.74	0.748	0.728	0.733	0.738
				Reg12	0.8	0.811	0.694	0.74	0.783	0.666	0.701	0.725
				Reg	0.841	0.858	1.017	0.771	0.808	0.713	0.738	0.76
				ARIMA	0.888	0.9	0.735	0.813	0.824	0.798	0.803	0.811
				SARIMA	0.89	0.899	0.645	0.817	0.834	0.792	0.801	0.813
0.1		0.1	0.1	MinMax	0.772	0.463	1.311	0.468	0.43	0.955	0.514	0.902
				Qntl	0.773	0.402	1.851	0.44	0.451	0.934	0.43	0.885
				SD	0.78	0.487	2.412	0.48	0.455	0.951	0.508	0.901
				ChngPrvM	0.854	0.561	2.147	0.534	0.491	0.961	0.585	0.914
				ChngPrvY	0.802	0.461	2.525	0.463	0.452	0.945	0.475	0.895
				Reg12	0.799	0.402	1.308	0.426	0.467	0.92	0.392	0.874
				Reg	0.838	0.518	1.988	0.508	0.482	0.954	0.538	0.907
				ARIMA	0.881	0.61	1.214	0.587	0.564	0.96	0.611	0.921
				SARIMA	0.886	0.592	0.998	0.561	0.584	0.945	0.54	0.909
0.05		0.05	0.05	MinMax	0.812	0.372	1.472	0.402	0.36	0.977	0.456	0.947
				Qntl	0.805	0.285	1.929	0.34	0.426	0.943	0.282	0.917
				SD	0.819	0.404	2.726	0.427	0.384	0.978	0.48	0.948
				ChngPrvM	0.874	0.466	2.19	0.473	0.508	0.966	0.443	0.944
				ChngPrvY	0.812	0.372	2.864	0.402	0.38	0.973	0.427	0.944
				Reg12	0.805	0.262	1.49	0.337	0.404	0.948	0.289	0.92
				Reg	0.841	0.414	2.048	0.449	0.506	0.961	0.404	0.938
				ARIMA	0.908	0.524	1.313	0.534	0.544	0.974	0.525	0.953
				SARIMA	0.89	0.498	1.183	0.5	0.48	0.977	0.522	0.952

Error Size	T	P	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/						
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy	
2	62	0.5	MinMax	0.632	0.665	-	0.667	1	0	0.5	0.5	
			Qntl	0.632	0.648	0.004	0.667	0.999	0.005	0.501	0.502	
			SD	0.636	0.665	0.001	0.667	1	0	0.5	0.5	
			ChngPrvM	0.725	0.746	0.748	0.685	0.764	0.535	0.621	0.649	
			ChngPrvY	0.658	0.681	0	0.667	1	0	0.5	0.5	
			Reg12	0.67	0.678	0.116	0.668	0.934	0.138	0.52	0.536	
			Reg	0.702	0.725	0.631	0.675	0.857	0.32	0.557	0.588	
			ARIMA	0.762	0.783	0.393	0.709	0.807	0.53	0.632	0.669	
			SARIMA	0.814	0.83	0.486	0.75	0.815	0.64	0.693	0.728	
	0.1	MinMax	0.614	0.214	1.059	0.257	0.236	0.934	0.283	0.864		
		Qntl	0.616	0.178	1.477	0.241	0.29	0.876	0.207	0.818		
		SD	0.618	0.205	1.977	0.248	0.302	0.874	0.211	0.817		
		ChngPrvM	0.712	0.307	1.841	0.353	0.363	0.923	0.344	0.867		
		ChngPrvY	0.664	0.242	1.816	0.289	0.34	0.888	0.251	0.833		
		Reg12	0.658	0.207	1.18	0.263	0.303	0.889	0.232	0.83		
		Reg	0.687	0.258	2.375	0.302	0.389	0.869	0.247	0.821		
		ARIMA	0.761	0.358	0.923	0.398	0.468	0.902	0.346	0.858		
		SARIMA	0.816	0.458	0.984	0.463	0.499	0.927	0.432	0.884		
	0.05	MinMax	0.638	0.151	1.088	0.206	0.226	0.949	0.189	0.913		
		Qntl	0.638	0.104	1.709	0.185	0.246	0.925	0.148	0.891		
		SD	0.641	0.135	2.314	0.192	0.23	0.939	0.165	0.903		
		ChngPrvM	0.731	0.196	2.129	0.261	0.27	0.958	0.253	0.924		
		ChngPrvY	0.659	0.145	2.252	0.218	0.23	0.954	0.207	0.918		
		Reg12	0.675	0.113	1.299	0.198	0.288	0.915	0.151	0.883		
		Reg	0.705	0.171	2.889	0.223	0.284	0.933	0.183	0.901		
		ARIMA	0.76	0.244	1.185	0.3	0.294	0.965	0.307	0.932		
		SARIMA	0.807	0.312	1.208	0.355	0.334	0.971	0.379	0.939		
	26	0.5	0.5	MinMax	0.671	0.701	-	0.667	1	0	0.5	0.5
				Qntl	0.669	0.685	0.011	0.667	0.995	0.01	0.501	0.503
				SD	0.677	0.708	0.017	0.667	0.996	0.008	0.501	0.502
				ChngPrvM	0.726	0.749	0.569	0.683	0.821	0.418	0.585	0.619
				ChngPrvY	0.684	0.706	0.317	0.67	0.905	0.203	0.532	0.554
				Reg12	0.677	0.687	0.076	0.669	0.964	0.081	0.512	0.523
				Reg	0.713	0.729	0.386	0.681	0.866	0.322	0.561	0.594
				ARIMA	0.751	0.768	0.431	0.7	0.782	0.548	0.634	0.665
				SARIMA	0.751	0.768	0.344	0.701	0.806	0.506	0.62	0.656
0.1		MinMax	0.692	0.278	1.138	0.324	0.351	0.91	0.302	0.854		
		Qntl	0.687	0.244	1.528	0.311	0.388	0.877	0.259	0.828		
		SD	0.696	0.291	2.159	0.324	0.341	0.915	0.308	0.858		
		ChngPrvM	0.727	0.318	1.938	0.344	0.328	0.936	0.362	0.875		
		ChngPrvY	0.675	0.26	2.016	0.307	0.385	0.875	0.255	0.826		
		Reg12	0.67	0.228	1.112	0.301	0.377	0.874	0.25	0.825		
		Reg	0.71	0.288	1.58	0.332	0.393	0.892	0.288	0.842		
		ARIMA	0.765	0.353	0.957	0.385	0.46	0.897	0.331	0.853		
		SARIMA	0.748	0.344	0.857	0.385	0.446	0.903	0.339	0.858		
0.05		MinMax	0.703	0.173	1.281	0.25	0.282	0.949	0.225	0.915		
		Qntl	0.693	0.132	1.664	0.217	0.344	0.904	0.159	0.876		
		SD	0.706	0.184	2.36	0.245	0.286	0.945	0.215	0.912		
		ChngPrvM	0.748	0.21	2.044	0.285	0.322	0.951	0.255	0.919		
		ChngPrvY	0.698	0.193	2.922	0.251	0.212	0.975	0.309	0.937		
		Reg12	0.67	0.124	1.2	0.211	0.344	0.899	0.152	0.871		
		Reg	0.723	0.18	1.969	0.235	0.254	0.952	0.218	0.917		
		ARIMA	0.779	0.232	1.201	0.3	0.314	0.959	0.287	0.927		
		SARIMA	0.762	0.247	1.008	0.311	0.368	0.947	0.269	0.918		
1.5		62	0.5	MinMax	0.587	0.607	-	0.667	1	0	0.5	0.5
				Qntl	0.589	0.592	0.001	0.667	1	0.001	0.5	0.5
				SD	0.59	0.604	-	0.667	1	0	0.5	0.5
				ChngPrvM	0.647	0.663	0.014	0.667	0.996	0.011	0.502	0.503
				ChngPrvY	0.606	0.62	0.006	0.667	0.998	0.005	0.501	0.502
				Reg12	0.61	0.611	0.007	0.667	0.996	0.01	0.501	0.503
				Reg	0.632	0.641	0.003	0.667	1	0.003	0.501	0.501
				ARIMA	0.682	0.696	0.078	0.672	0.953	0.114	0.518	0.534
				SARIMA	0.722	0.738	0.278	0.689	0.843	0.397	0.583	0.62
	0.1	MinMax	0.58	0.167	0.904	0.212	0.285	0.844	0.169	0.788		

Error Size	T	P	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/					
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy
						(under the maximum F1 score)					
			Qntl	0.576	0.139	0.741	0.204	0.593	0.53	0.123	0.537
			SD	0.579	0.162	1.849	0.212	0.288	0.842	0.168	0.786
			ChngPrvM	0.66	0.218	1.662	0.292	0.341	0.889	0.255	0.834
			ChngPrvY	0.594	0.161	1.297	0.22	0.406	0.747	0.151	0.713
			Reg12	0.604	0.159	0.898	0.23	0.386	0.781	0.164	0.741
			Reg	0.644	0.205	2.08	0.263	0.398	0.819	0.196	0.777
			ARIMA	0.693	0.255	0.819	0.315	0.427	0.858	0.25	0.815
			SARIMA	0.723	0.302	0.861	0.352	0.429	0.888	0.299	0.842
		0.05	MinMax	0.588	0.093	1.08	0.141	0.156	0.944	0.128	0.905
			Qntl	0.577	0.073	1.405	0.126	0.254	0.854	0.084	0.824
			SD	0.584	0.086	2.235	0.135	0.172	0.927	0.111	0.89
			ChngPrvM	0.644	0.1	1.672	0.168	0.28	0.892	0.12	0.861
			ChngPrvY	0.615	0.106	2.234	0.172	0.182	0.951	0.164	0.913
			Reg12	0.592	0.075	1.269	0.144	0.212	0.909	0.109	0.874
			Reg	0.635	0.096	2.226	0.155	0.33	0.846	0.101	0.82
			ARIMA	0.675	0.115	0.871	0.185	0.332	0.881	0.128	0.853
			SARIMA	0.711	0.165	1.112	0.241	0.25	0.957	0.233	0.921
	26	0.5	MinMax	0.594	0.62	0	0.667	1	0	0.5	0.5
			Qntl	0.598	0.609	0.004	0.667	0.999	0.003	0.5	0.501
			SD	0.599	0.624	0.001	0.667	1	0	0.5	0.5
			ChngPrvM	0.652	0.672	0.024	0.668	0.992	0.02	0.503	0.506
			ChngPrvY	0.612	0.626	0.002	0.667	1	0.001	0.5	0.501
			Reg12	0.615	0.627	-	0.667	1	0	0.5	0.5
			Reg	0.636	0.646	0.001	0.667	1	0.001	0.5	0.5
			ARIMA	0.663	0.681	0.031	0.668	0.982	0.041	0.506	0.511
			SARIMA	0.665	0.678	0.009	0.667	0.994	0.013	0.502	0.504
		0.1	MinMax	0.599	0.184	0.956	0.23	0.325	0.833	0.178	0.782
			Qntl	0.598	0.163	1.246	0.23	0.374	0.792	0.167	0.75
			SD	0.601	0.181	1.773	0.23	0.328	0.83	0.177	0.78
			ChngPrvM	0.661	0.211	1.247	0.277	0.49	0.772	0.193	0.744
			ChngPrvY	0.62	0.181	1.726	0.243	0.379	0.807	0.179	0.764
			Reg12	0.615	0.162	0.966	0.233	0.348	0.818	0.175	0.771
			Reg	0.64	0.192	1.183	0.258	0.447	0.775	0.181	0.743
			ARIMA	0.666	0.222	0.895	0.283	0.352	0.874	0.237	0.822
			SARIMA	0.667	0.229	0.775	0.293	0.375	0.869	0.241	0.819
		0.05	MinMax	0.621	0.12	1.275	0.177	0.194	0.948	0.163	0.91
			Qntl	0.619	0.099	1.584	0.174	0.294	0.89	0.124	0.861
			SD	0.623	0.124	2.777	0.18	0.134	0.981	0.272	0.939
			ChngPrvM	0.656	0.142	1.835	0.214	0.3	0.921	0.166	0.89
			ChngPrvY	0.603	0.113	2.541	0.168	0.184	0.947	0.154	0.909
			Reg12	0.603	0.092	1.204	0.173	0.276	0.899	0.126	0.868
			Reg	0.644	0.125	1.568	0.189	0.32	0.891	0.134	0.862
			ARIMA	0.689	0.151	1.129	0.225	0.264	0.943	0.196	0.909
			SARIMA	0.672	0.153	1.078	0.217	0.212	0.961	0.221	0.923

**Note:** 検出指標のパフォーマンスをまとめた。Threshold より右の列については、各指標の F1 score を最大化する値に閾値を固定したときの値を報告している。

**補表 3 各検出指標のパフォーマンス比較（実データ）**

Error Size	T	p	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/					
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy
						(under the maximum F1 score)					
3	62	0.5	MinMax	0.789	0.821	0.413	0.724	0.815	0.564	0.652	0.69
			Qntl	0.804	0.827	0.815	0.739	0.776	0.674	0.704	0.725
			SD	0.808	0.838	1.192	0.742	0.751	0.726	0.733	0.739
			ChngPrvM	0.908	0.907	1.239	0.841	0.842	0.84	0.84	0.841
			ChngPrvY	0.854	0.852	0.951	0.789	0.828	0.729	0.753	0.779
			Reg12	0.865	0.869	0.762	0.797	0.819	0.763	0.776	0.791
			Reg	0.87	0.881	1.701	0.8	0.804	0.793	0.795	0.799
			ARIMA	0.938	0.937	0.745	0.876	0.872	0.88	0.879	0.876
			SARIMA	0.967	0.961	0.875	0.915	0.916	0.913	0.914	0.915
		0.1	MinMax	0.786	0.479	1.043	0.479	0.409	0.967	0.579	0.911
			Qntl	0.809	0.455	1.524	0.5	0.532	0.934	0.472	0.894

Error Size	T	p	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/					
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy
						(under the maximum F1 score)					
			SD	0.808	0.496	2.074	0.515	0.498	0.952	0.533	0.906
			ChngPrvM	0.906	0.608	1.965	0.644	0.633	0.963	0.655	0.93
			ChngPrvY	0.866	0.486	1.639	0.509	0.574	0.924	0.458	0.889
			Reg12	0.864	0.504	1.205	0.51	0.61	0.913	0.439	0.883
			Reg	0.883	0.558	2.717	0.583	0.588	0.952	0.579	0.916
			ARIMA	0.94	0.694	1.107	0.718	0.703	0.972	0.734	0.945
			SARIMA	0.971	0.776	1.178	0.777	0.793	0.972	0.762	0.955
		0.05	MinMax	0.797	0.366	1.122	0.414	0.36	0.98	0.488	0.949
			Qntl	0.81	0.309	1.746	0.413	0.448	0.962	0.382	0.936
			SD	0.816	0.37	2.313	0.451	0.446	0.972	0.457	0.946
			ChngPrvM	0.908	0.457	2.222	0.529	0.498	0.98	0.563	0.956
			ChngPrvY	0.861	0.315	1.886	0.384	0.454	0.952	0.333	0.927
			Reg12	0.857	0.368	1.468	0.424	0.5	0.955	0.368	0.932
			Reg	0.866	0.397	3.104	0.481	0.476	0.973	0.486	0.949
			ARIMA	0.938	0.559	1.173	0.63	0.65	0.978	0.611	0.962
			SARIMA	0.964	0.636	1.218	0.699	0.766	0.978	0.643	0.967
	26	0.5	MinMax	0.787	0.806	0.63	0.722	0.765	0.644	0.683	0.705
			Qntl	0.781	0.767	0.918	0.734	0.792	0.633	0.683	0.713
			SD	0.795	0.797	1.216	0.739	0.777	0.674	0.704	0.725
			ChngPrvM	0.86	0.864	1.112	0.791	0.835	0.724	0.751	0.78
			ChngPrvY	0.76	0.778	1.284	0.709	0.747	0.639	0.674	0.693
			Reg12	0.793	0.797	0.719	0.737	0.767	0.686	0.71	0.727
			Reg	0.819	0.825	0.944	0.755	0.82	0.649	0.7	0.735
			ARIMA	0.871	0.867	0.731	0.807	0.822	0.785	0.793	0.804
			SARIMA	0.861	0.855	0.708	0.801	0.849	0.729	0.758	0.789
		0.1	MinMax	0.758	0.36	1.191	0.425	0.441	0.929	0.409	0.881
			Qntl	0.759	0.28	1.564	0.37	0.538	0.848	0.282	0.817
			SD	0.77	0.323	2.173	0.412	0.472	0.909	0.365	0.865
			ChngPrvM	0.839	0.456	1.923	0.494	0.532	0.931	0.462	0.891
			ChngPrvY	0.749	0.314	2.397	0.398	0.454	0.908	0.354	0.863
			Reg12	0.775	0.336	1.21	0.405	0.492	0.896	0.344	0.855
			Reg	0.793	0.379	1.933	0.43	0.447	0.93	0.414	0.881
			ARIMA	0.852	0.44	1.147	0.505	0.542	0.933	0.473	0.894
			SARIMA	0.85	0.415	1.145	0.479	0.601	0.899	0.398	0.869
		0.05	MinMax	0.775	0.265	1.325	0.335	0.388	0.951	0.294	0.923
			Qntl	0.769	0.159	1.965	0.255	0.406	0.906	0.186	0.881
			SD	0.783	0.204	2.306	0.302	0.434	0.924	0.232	0.9
			ChngPrvM	0.856	0.346	2.446	0.417	0.402	0.972	0.434	0.944
			ChngPrvY	0.742	0.214	2.704	0.312	0.394	0.94	0.258	0.913
			Reg12	0.808	0.255	1.736	0.314	0.306	0.966	0.323	0.933
			Reg	0.819	0.276	2.086	0.366	0.458	0.945	0.304	0.921
			ARIMA	0.867	0.313	1.375	0.406	0.43	0.964	0.385	0.937
			SARIMA	0.862	0.301	1.492	0.4	0.46	0.956	0.354	0.931
2	62	0.5	MinMax	0.661	0.701	0.011	0.667	0.992	0.017	0.502	0.504
			Qntl	0.686	0.705	0.039	0.669	0.986	0.038	0.506	0.512
			SD	0.68	0.709	0.03	0.667	0.99	0.02	0.503	0.505
			ChngPrvM	0.794	0.787	0.745	0.738	0.808	0.617	0.678	0.712
			ChngPrvY	0.731	0.726	0.489	0.7	0.832	0.454	0.604	0.643
			Reg12	0.744	0.749	0.424	0.702	0.813	0.497	0.618	0.655
			Reg	0.741	0.751	0.97	0.697	0.783	0.537	0.629	0.66
			ARIMA	0.828	0.822	0.491	0.768	0.808	0.703	0.731	0.756
			SARIMA	0.87	0.857	0.586	0.809	0.83	0.777	0.789	0.804
		0.1	MinMax	0.66	0.272	1.043	0.303	0.233	0.966	0.435	0.893
			Qntl	0.685	0.242	1.356	0.331	0.369	0.904	0.3	0.851
			SD	0.678	0.253	1.889	0.326	0.324	0.926	0.327	0.866
			ChngPrvM	0.795	0.335	1.384	0.411	0.546	0.877	0.33	0.844
			ChngPrvY	0.728	0.249	1.255	0.34	0.481	0.85	0.263	0.813
			Reg12	0.756	0.307	0.985	0.377	0.524	0.861	0.295	0.827
			Reg	0.737	0.288	2.323	0.376	0.405	0.916	0.35	0.865
			ARIMA	0.834	0.401	0.809	0.476	0.571	0.908	0.408	0.874
			SARIMA	0.872	0.452	0.893	0.517	0.601	0.92	0.454	0.888
		0.05	MinMax	0.636	0.174	1.045	0.237	0.218	0.967	0.261	0.93
			Qntl	0.656	0.139	1.494	0.224	0.294	0.93	0.181	0.898
			SD	0.648	0.155	1.902	0.238	0.314	0.93	0.191	0.899
			ChngPrvM	0.802	0.213	1.703	0.303	0.396	0.936	0.246	0.909

Error Size	T	p	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/					
						Threshold	F1 Score	Recall	Specificity	Precision	Accuracy
						(under the maximum F1 score)					
			ChngPrvY	0.751	0.167	1.585	0.25	0.362	0.919	0.191	0.892
			Reg12	0.761	0.19	1.302	0.259	0.338	0.933	0.21	0.903
			Reg	0.747	0.184	2.383	0.284	0.402	0.925	0.219	0.899
			ARIMA	0.823	0.265	1.003	0.373	0.41	0.959	0.342	0.931
			SARIMA	0.875	0.316	1.004	0.415	0.518	0.949	0.347	0.927
	26	0.5	MinMax	0.665	0.687	0.033	0.667	0.979	0.046	0.506	0.512
			Qntl	0.667	0.655	0.024	0.667	0.992	0.02	0.503	0.506
			SD	0.674	0.676	0.003	0.667	1	0.001	0.5	0.501
			ChngPrvM	0.735	0.738	0.444	0.695	0.871	0.364	0.578	0.618
			ChngPrvY	0.666	0.671	0.155	0.668	0.958	0.088	0.512	0.523
			Reg12	0.687	0.692	0.239	0.671	0.873	0.272	0.545	0.573
			Reg	0.7	0.703	0.416	0.678	0.856	0.333	0.562	0.595
			ARIMA	0.746	0.737	0.447	0.708	0.787	0.564	0.643	0.676
			SARIMA	0.743	0.728	0.485	0.71	0.788	0.569	0.646	0.678
		0.1	MinMax	0.652	0.225	1.088	0.315	0.346	0.905	0.289	0.849
			Qntl	0.663	0.182	1.358	0.273	0.443	0.8	0.198	0.765
			SD	0.661	0.205	1.742	0.288	0.413	0.838	0.221	0.796
			ChngPrvM	0.725	0.262	1.578	0.328	0.429	0.868	0.266	0.825
			ChngPrvY	0.655	0.199	2.217	0.271	0.324	0.881	0.233	0.826
			Reg12	0.672	0.205	1.002	0.284	0.413	0.833	0.216	0.791
			Reg	0.688	0.234	1.531	0.316	0.422	0.861	0.252	0.817
			ARIMA	0.734	0.257	0.764	0.335	0.556	0.804	0.24	0.779
			SARIMA	0.732	0.25	0.886	0.326	0.511	0.819	0.239	0.789
		0.05	MinMax	0.665	0.14	1.254	0.248	0.296	0.943	0.214	0.91
			Qntl	0.663	0.103	1.537	0.188	0.414	0.842	0.121	0.821
			SD	0.666	0.121	2.201	0.212	0.316	0.913	0.16	0.883
			ChngPrvM	0.732	0.163	2.065	0.261	0.304	0.946	0.229	0.914
			ChngPrvY	0.667	0.12	2.702	0.211	0.254	0.939	0.181	0.905
			Reg12	0.682	0.128	1.399	0.214	0.276	0.931	0.174	0.898
			Reg	0.699	0.142	1.998	0.223	0.278	0.936	0.187	0.903
			ARIMA	0.745	0.168	1.235	0.266	0.306	0.948	0.235	0.916
			SARIMA	0.746	0.157	1.097	0.234	0.418	0.887	0.162	0.863
1.5	62	0.5	MinMax	0.597	0.635	0	0.667	1	0.001	0.5	0.501
			Qntl	0.622	0.64	0	0.667	1	0.002	0.501	0.501
			SD	0.614	0.637	0.002	0.667	1	0.001	0.5	0.501
			ChngPrvM	0.712	0.704	0.411	0.687	0.84	0.396	0.582	0.618
			ChngPrvY	0.649	0.646	0.023	0.667	0.99	0.021	0.503	0.506
			Reg12	0.675	0.679	0.124	0.668	0.926	0.154	0.523	0.54
			Reg	0.654	0.664	0.011	0.667	0.997	0.007	0.501	0.502
			ARIMA	0.735	0.729	0.34	0.696	0.782	0.536	0.628	0.659
			SARIMA	0.777	0.766	0.385	0.732	0.807	0.602	0.67	0.705
		0.1	MinMax	0.587	0.196	0.964	0.218	0.185	0.943	0.265	0.867
			Qntl	0.611	0.176	1.303	0.253	0.292	0.887	0.224	0.828
			SD	0.607	0.179	1.63	0.251	0.304	0.876	0.213	0.818
			ChngPrvM	0.699	0.223	1.096	0.306	0.513	0.795	0.218	0.767
			ChngPrvY	0.652	0.177	0.94	0.265	0.518	0.734	0.178	0.712
			Reg12	0.65	0.195	0.982	0.276	0.361	0.86	0.223	0.81
			Reg	0.661	0.204	2.057	0.283	0.35	0.875	0.237	0.822
			ARIMA	0.727	0.257	0.672	0.342	0.493	0.846	0.262	0.811
			SARIMA	0.76	0.282	0.665	0.369	0.569	0.831	0.273	0.805
		0.05	MinMax	0.619	0.131	1.044	0.197	0.176	0.968	0.224	0.928
			Qntl	0.652	0.11	1.365	0.209	0.324	0.907	0.154	0.878
			SD	0.637	0.115	2.059	0.194	0.206	0.952	0.183	0.914
			ChngPrvM	0.706	0.127	1.498	0.214	0.342	0.902	0.155	0.874
			ChngPrvY	0.675	0.108	1.179	0.18	0.426	0.827	0.114	0.807
			Reg12	0.656	0.121	1.032	0.181	0.336	0.875	0.124	0.848
			Reg	0.683	0.121	2.502	0.216	0.27	0.935	0.18	0.902
			ARIMA	0.748	0.161	0.845	0.261	0.376	0.921	0.199	0.893
			SARIMA	0.78	0.183	1.068	0.272	0.278	0.96	0.266	0.926
	26	0.5	MinMax	0.614	0.627	-	0.667	1	0	0.5	0.5
			Qntl	0.613	0.605	0.003	0.668	1	0.008	0.502	0.504
			SD	0.617	0.617	-	0.667	1	0	0.5	0.5
			ChngPrvM	0.662	0.664	0.113	0.671	0.958	0.102	0.516	0.53
			ChngPrvY	0.596	0.603	0.011	0.667	0.996	0.008	0.501	0.502
			Reg12	0.614	0.617	0.004	0.667	0.998	0.004	0.501	0.501

Error Size	T	p	Indicator	ROC-AUC	PR-AUC	Sensitivity/ Threshold F1 Score Recall Specificity Precision Accuracy					
						(under the maximum F1 score)					
			Reg	0.637	0.638	0.038	0.667	0.982	0.036	0.505	0.509
			ARIMA	0.665	0.659	0.202	0.67	0.864	0.283	0.546	0.574
			SARIMA	0.658	0.649	0.028	0.668	0.982	0.042	0.506	0.512
	0.1		MinMax	0.594	0.158	1.019	0.234	0.275	0.88	0.203	0.82
			QntI	0.609	0.144	1.173	0.237	0.443	0.745	0.162	0.715
			SD	0.605	0.149	1.594	0.233	0.37	0.799	0.17	0.756
			ChngPrvM	0.665	0.188	1.13	0.264	0.517	0.734	0.178	0.712
			ChngPrvY	0.593	0.147	2.132	0.215	0.265	0.866	0.18	0.806
			Reg12	0.606	0.157	1.003	0.233	0.331	0.832	0.18	0.782
			Reg	0.627	0.168	1.353	0.244	0.371	0.814	0.182	0.77
			ARIMA	0.672	0.189	0.841	0.284	0.404	0.84	0.219	0.797
			SARIMA	0.662	0.176	0.798	0.27	0.468	0.777	0.189	0.746
	0.05		MinMax	0.6	0.089	1.086	0.181	0.282	0.904	0.134	0.873
			QntI	0.613	0.082	1.739	0.158	0.286	0.877	0.109	0.848
			SD	0.607	0.085	1.741	0.159	0.352	0.838	0.103	0.814
			ChngPrvM	0.653	0.099	1.927	0.18	0.228	0.931	0.149	0.896
			ChngPrvY	0.603	0.078	2.03	0.142	0.302	0.845	0.093	0.818
			Reg12	0.611	0.079	1.323	0.145	0.196	0.921	0.115	0.884
			Reg	0.632	0.085	1.294	0.153	0.408	0.794	0.094	0.774
			ARIMA	0.656	0.098	1.034	0.175	0.266	0.907	0.131	0.875
			SARIMA	0.665	0.095	1.148	0.172	0.27	0.901	0.126	0.87

**Note:** 検出指標のパフォーマンスをまとめた。Threshold より右の列については、各指標の F1 score を最大化する値に閾値を固定したときの値を報告している。