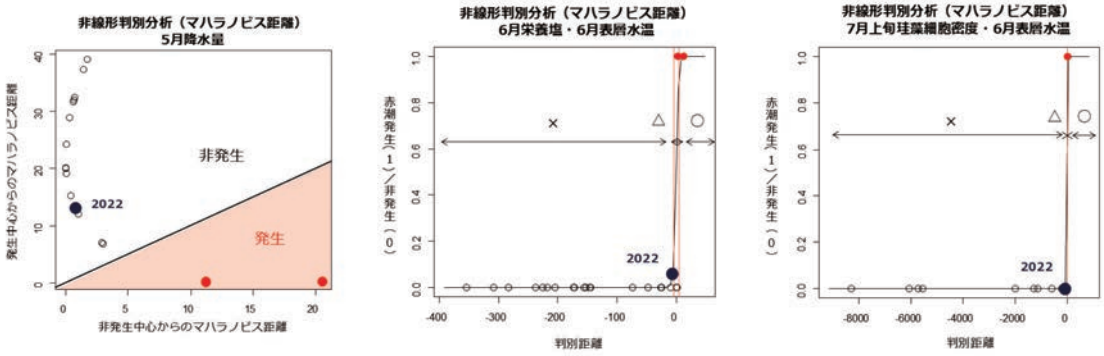

図36　徳島県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。赤丸が発生年，白丸が非発生年，青丸が2022年（非発生年）を表す。

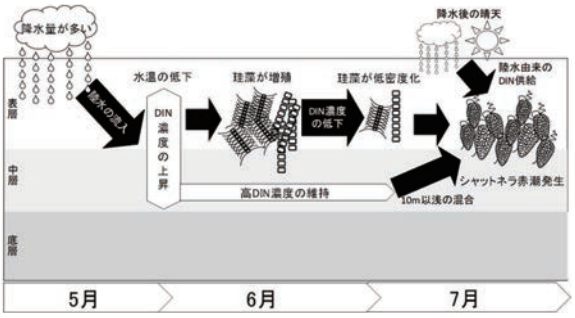

図 37　徳島県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

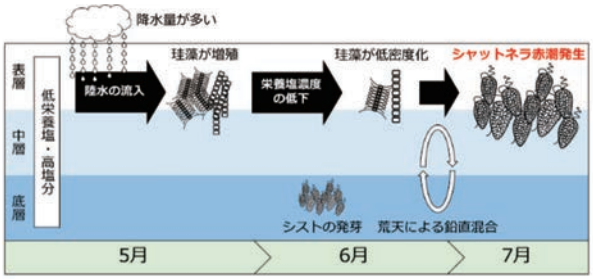

図 38　香川県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

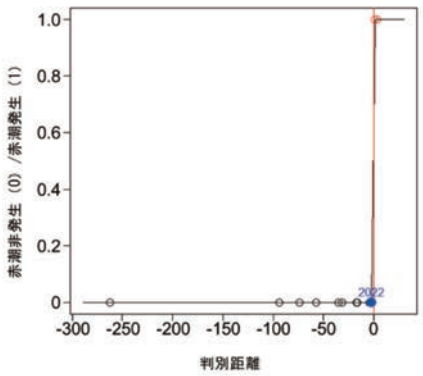

図 39　香川県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。使用データは 5 月の塩分と PO_4-P（早期予察）。青丸が 2022 年の予察結果（非発生）を表す。

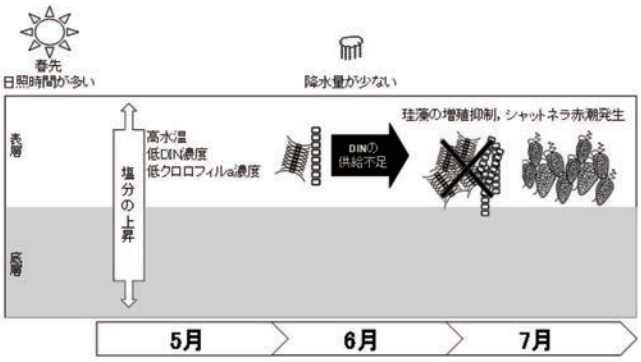

図 40　岡山県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

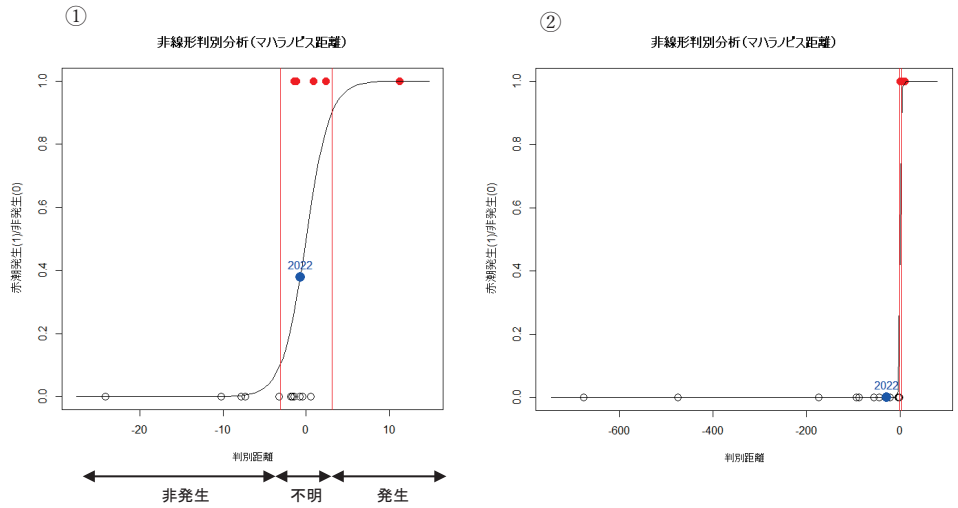

図 41　岡山県播磨灘海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。
左：予察モデル①，右：予察モデル②。青丸が 2022 年の予察結果を示す。

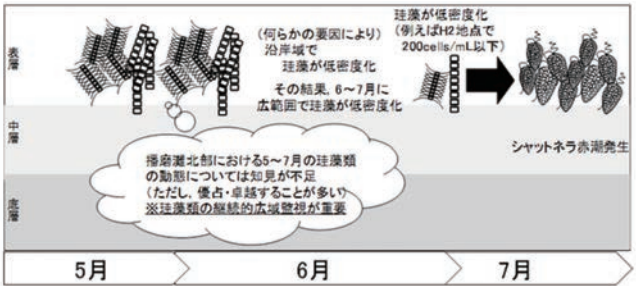

図 42　兵庫県海域におけるシャットネラ
赤潮発生シナリオ模式図

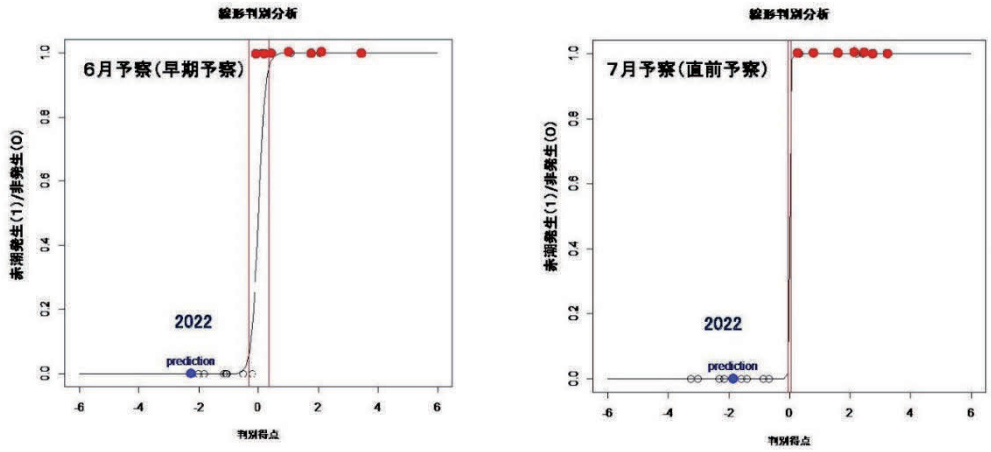

図 43　兵庫県海域におけるシャットネラ赤潮発生予察結果。使用データは 5 月表層水温，底層水温，6 月の珪藻密度（早期予察）または 7 月の珪藻密度（直前予察）。赤丸が発生年，白丸が非発生年，青丸が 2022 年（＝非発生年：予察的中）を表す。

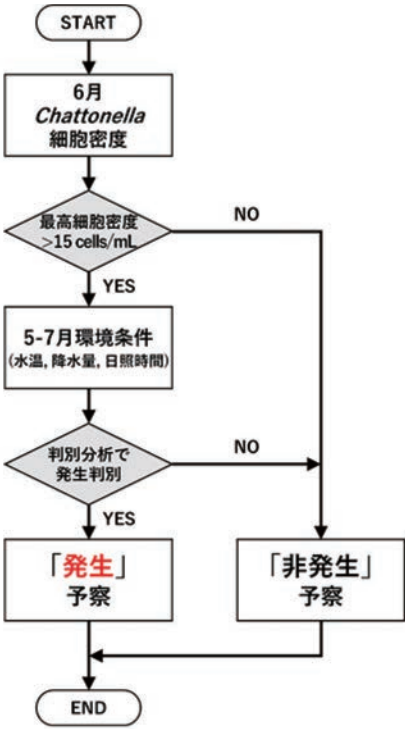

図 44　大阪府海域における
シャットネラ赤潮予察フローチャート。

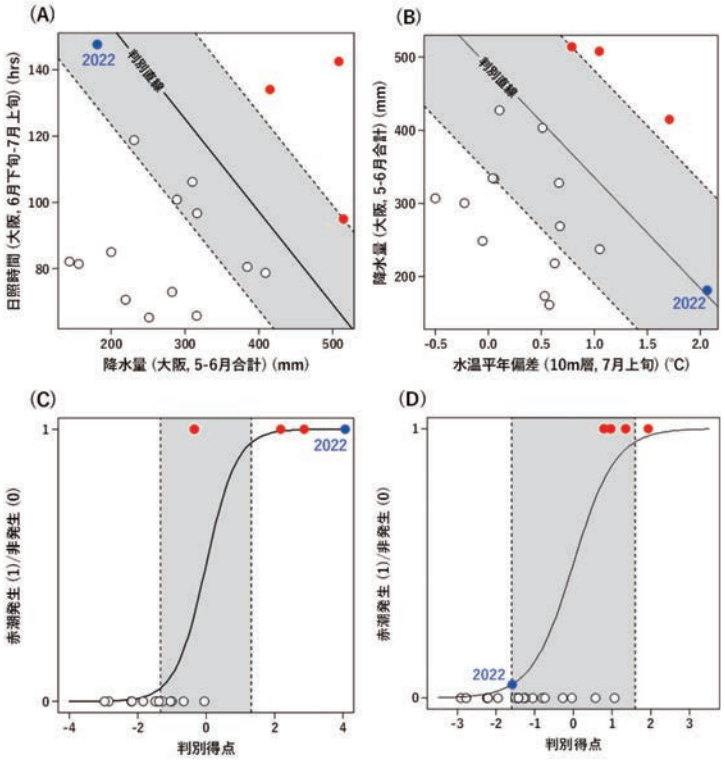

図 45　大阪府におけるシャットネラ赤潮発生予察結果。
●：赤潮発生年，○：非発生年，青記号・青字：予察結果。
網掛けは「△」予察範囲。
(A) 5～6 月合計降水量，6 月下旬～7 月上旬日照時間による予察（判別期間：1999～2014 年）。
(B) 7 月上旬水温平年偏差，5～6 月合計降水量による予察（判別期間：1999～2014 年）。
(C) 6 月下旬～7 月上旬日照時間，7 月上旬水温平年偏差による予察（判別期間：1999～2014 年）。
(D) 5～6 月合計降水量，6 月下旬～7 月上旬日照時間による予察（判別期間：1999～2021 年）。

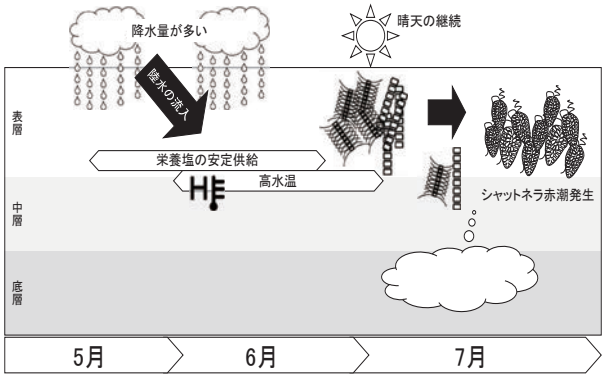

図 46　大阪府海域におけるシャットネラ
赤潮発生シナリオ模式図

表 6　ユーカンピア赤潮の判別予察・結果。発生含有率は「○」「△」「×」と判別されたうち発生年の含まれた割合を，括弧内の分母は「○」「△」「×」と判別された母数を，分子はユーカンピア赤潮発生回数を示す。2016〜2021 年の予察の的中については，予察と結果が一致した場合を「◎」，「△」と予察して発生した場合を「○」，「△」と予察して非発生の場合を「△」，予察と結果が一致しなかった場合を「×」と表す。

海域	判別手法	目的変量	説明変量	説明変数の数	判別期間（年）	発生含有率（%）			2016年			2017年			2018年			2019年			2020年			2021年		
						○	△	×	予察	結果	的中	予察	結果	的中	予察	結果	的中	予察	結果	的中	予察	結果	的中	予察	結果	的中
香川県（播磨灘）	線形判別分析	1〜3月の赤潮発生 or 局所発生	12月北風 12月表層珪藻密度	2	2005〜2015	100 (1/1)	25 (1/4)	0 (0/5)	×	○	×	△	×	△	×	×	◎	×	×	◎	×	×	◎	×	×	◎
香川県（備讃瀬戸）	線形判別分析	1〜3月の赤潮発生 or 局所発生	11月西風 12月降水量	2	2005〜2015	100 (4/4)	50 (2/4)	0 (0/3)	×	○	×	○	○	◎	△	×	△	△	×	△	○	×	×	○	×	×
岡山県（播磨灘）	線形判別分析	1月の赤潮発生 or 局所発生	11月西風 1月PO_4-P(B-1m)	2	2005〜2015	100 (4/4)	33 (1/3)	0 (0/4)	×	○	×	△	×	△	△	×	△	×	○	×	×	×	◎	×	×	◎
岡山県（播磨灘）	マハラノビス距離	1月の赤潮発生 or 局所発生	12月日照時間(姫路) 1月PO_4-P(B-1m)	2	2005〜2015	67 (2/3)	75 (3/4)	0 (0/3)	×	○	×	△	×	△	×	×	◎	×	○	×	○	×	×	×	×	◎
岡山県（備讃瀬戸）	線形判別分析	1月の赤潮発生 or 局所発生	12月日照時間(岡山) 12月PO_4-P(B-1m) 1月水温(B-1m)	3	2005〜2015	100 (3/3)	60 (3/5)	0 (0/3)	×	○	×	○	○	◎	×	×	◎	×	×	◎	△	×	△	○	×	×
岡山県（備讃瀬戸）	マハラノビス距離	1月の赤潮発生 or 局所発生	1月水温(B-1m) 1月SiO_2(B-1m)	2	2005〜2015	- (0/0)	86 (6/7)	0 (0/4)	×	○	×	△	○	○	△	×	△	×	×	◎	△	×	△	×	×	◎
兵庫県（1〜2月）	マハラノビス距離	1〜2月の大量発生 or 局所発生	11月のN/P比 1月のPO_4-P	2	2005〜2015	100 (7/7)	-	0 (4/4)	○	○	◎	○	○	◎	○	×	×	×	×	◎	○	×	×	×	×	◎
兵庫県（3月）	マハラノビス距離	3月の大量発生 or 局所発生	2月の最高細胞数 2月の日照時間 2月のPO_4-P	3	2005〜2015	100 (6/6)	-	0 (5/5)	○	○	◎	○	○	◎	○	×	×	△	×	△	○	×	×	○	×	×

海域	判別手法	目的変量	説明変量	説明変数の数	判別期間（年）	発生含有率（%）			2016年11月			2017年11月			2018年11月			2019年11月			2020年11月			2021年11月		
						○	△	×	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中
大阪府	マハラノビス距離	各旬の赤潮発生 or 局所発生	当該旬降水量 1旬前降水量	2	2005.11〜2016.2（11, 12, 1, 2月のみ）	100 (1/1)	20 (4/20)	0 (0/23)	△	×	△	○	×	×	△	×	△	△	×	△	△	×	△	△	×	△
									2016年12月			2017年12月			2018年12月			2019年12月			2020年12月			2021年12月		
									予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中
									△	×	△	×	×	◎	△	×	△	×	×	◎	×	×	◎	○	×	×
									2017年1月			2018年1月			2019年1月			2020年1月			2021年1月			2022年1月		
									予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中
									△	×	△	△	×	△	×	×	◎	△	×	△	×	×	◎	×	×	◎
									2017年2月			2018年2月			2019年2月			2020年2月			2021年2月			2022年2月		
									予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中	予測	結果	的中
									△	○	○	×	×	◎	△	×	△	×	×	◎	△	○	○	×	×	◎

表７　ユーカンピア赤潮発生予察モデル高精度化の取り組みと予察精度の検証

海域	解析手法	目的変量	説明変数	判別期間（年）	*n*	判別期間における判別率（%）＊判断保留（△）予察年を除く	判別期間における△予察含有率	評価期間における結果				Man-whitney *U*-test			評価期間における予察精度	
								予察対象年	予察結果	発生状況	的中状況	説明変数①	説明変数②	説明変数③	的中率（%）	△予察含有率（%）
徳島県（播磨灘）	マハラノビス距離	2～3月の発生 or 局所発生	①1月の北風風速合計値 ②1月の兵庫県海域のユーカンピア最高細胞密度	2005-2016	12	100 (5/5)	58.3 (7/12)	2017	△	×	○	p=0.229	p=0.6	−	100	40
				2005-2017	13	100 (5/5)	61.5 (8/13)	2018	×	×	◎	p=0.397	p=0.409	−		
				2005-2018	14	100 (7/7)	50 (7/14)	2019	×	×	◎	p=0.31	p=0.368	−		
				2005-2019	15	100 (7/7)	53.3 (8/15)	2020	△	×	○	p=0.386	p=0.295	−		
				2005-2020	16	100 (9/9)	43.8 (7/16)	2021	×	×	◎	p=0.312	p=0.296	−		
香川県（備讃瀬戸）	マハラビノス距離	1～3月の大量発生 or 局所発生	①11月西風 ②12月降水量	2005-2015	11	100 (11/11)	0 (0/11)	2016	×	○	×	p = 0.07	p = 0.07	−	0	83
				2005-2016	12	100 (4/4)	67 (8/12)	2017	△	○	○	p = 0.09	p = 0.09	−		
				2005-2017	13	100 (7/7)	46 (6/13)	2018	△	×	△	p = 0.06	p = 0.06	−		
				2005-2018	14	100 (4/4)	71 (10/14)	2019	△	○	○	p = 0.16	p = 0.07	−		
				2005-2019	15	100 (4/4)	73 (11/15)	2020	△	×	△	p = 0.16	p = 0.06	−		
				2005-2020	16	100 (2/2)	88 (14/16)	2021	△	×	△	p = 0.31	p =0.22	−		
岡山県（播磨灘）	線形判別分析	1～2月の大量発生 or 局所発生	①11月の西風 ②1月底層のPO4-P	2005-2015	11	100 (8/8)	27 (3/11)	2016	×	○	×	p>0.1	p>0.1	−	0 （△を除く割合）	67
				2005-2016	12	100 (7/7)	42 (5/12)	2017	○	×	×	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2017	13	100 (5/5)	62 (8/13)	2018	△	×	△	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2018	14	100 (5/5)	64 (9/14)	2019	△	○	○	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2019	15	100 (1/1)	93 (14/15)	2020	△	×	△	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2020	16	100 (2/2)	88 (14/16)	2021	△	×	△	p>0.1	p>0.1	−		
	マハラビノス距離	1～2月の大量発生 or 局所発生	①12月の日照時間 ②1月底層のPO4-P	2005-2015	11	100 (7/7)	36 (4/11)	2016	×	○	×	p>0.1	p>0.1	−	25 （△を除く割合）	33
				2005-2016	12	100 (3/3)	75 (9/12)	2017	△	×	△	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2017	13	100 (4/4)	69 (9/13)	2018	○	×	×	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2018	14	100 (5/5)	64 (9/14)	2019	×	○	×	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2019	15	100 (3/3)	80 (12/15)	2020	×	×	◎	p>0.1	p>0.1	−		
				2005-2020	16	100 (4/4)	75 (12/16)	2021	△	×	△	p>0.1	p>0.1	−		

表 7　（続き）

海域	解析手法	目的変量	説明変数	判別期間（年）	*n*	判別期間における判別率（%）＊判断保留（△）予察年を除く	判別期間における△予察含有率	評価期間における結果				Man–whitney *U*–test			評価期間における予察精度	
								予察対象年	予察結果	発生状況	的中状況	説明変数①	説明変数②	説明変数③	的中率（%）	△予察含有率（%）
兵庫県（播磨灘）	マハラビノス距離	3月の大量発生 or 局所発生	①2月の最高細胞数 ②2月の日照時間 ③2月のPO_4-P ※1	2005–2015	11	100 (11/11)	0 (0/11)	2016	○	○	◎	$p < 0.01$	$p = 0.14$	$p < 0.05$	80	16
	マハラビノス距離			2005–2016	12	100 (12/12)	0 (0/12)	2017	○	○	◎	$p < 0.01$	$p = 0.17$	$p < 0.05$		
	マハラビノス距離 線形判別分析			2005–2017	13	100 (9/9)	30 (4/13)	2018	○	×	×	$p < 0.05$	$p = 0.38$	$p < 0.05$		
	線形判別分析			2005–2018	14	100 (7/7)	50 (7/14)	2019	×	×	◎	$p < 0.05$	$p = 0.70$	$p < 0.05$		
	線形判別分析			2005–2019	15	100 (8/8)	46 (7/15)	2020	△	×	△	$p < 0.05$	$p = 0.64$	$p < 0.05$		
	線形判別分析			2005–2020	16	100 (9/9)	43 (7/16)	2021	×	×	◎	$p < 0.05$	p =0.40	$p < 0.01$		
大阪府（大阪湾）	マハラビノス距離	（地場発生赤潮）11～2月各月の大量発生 or 局所発生	①前月の透明度 ②前月の海水密度 ③前月の鉛直安定度 ※1	1996–2015（各年11～2月）	80	91 (32/35)	56 (45/80)	2016.11	×	×	◎	$p = 0.052$	$p < 0.05$	$p = 0.78$	89 (8/9)	63 (15/24)
								2016.12	△	×	△					
								2017.01	△	×	△					
								2017.02	△	○	○					
								2017.11	△	×	△					
								2017.12	×	×	◎					
								2018.01	×	×	◎					
								2018.02	×	×	◎					
								2018.11	×	×	◎					
								2018.12	×	×	◎					
								2019.01	△	×	△					
								2019.02	△	×	△					
								2019.11	△	×	△					
								2019.12	△	×	△					
								2020.01	○	×	×					
								2020.02	△	×	△					
								2020.11	△	×	△					
								2020.12	△	×	△					
								2021.01	△	×	△					
								2021.02	△	○	○					
								2021.11	×	×	◎					
								2021.12	×	×	◎					
								2022.01	△	×	△					
								2022.02	△	×	△					
	マハラビノス距離	（地場発生赤潮）11～2月各月の大量発生 or 局所発生	①前月の透明度 ②前月の海水密度 ③前月の鉛直安定度 ※1	1996–2015（各年11～2月）	80	91 (32/35)	56 (45/80)	2016.11	×	×	◎	$p = 0.052$	$p < 0.05$	$p = 0.78$	82 (9/11)	54 (13/24)
								2016.12	△	×	△					
								2017.01	△	×	△					
								2017.02	△	○	○					
				1996–2016（各年11～2月）	84	92 (36/39)	54 (45/84)	2017.11	△	×	△	$p = 0.053$	p < 0.05	p = 0.54		
								2017.12	×	×	◎					
								2018.01	×	×	◎					
								2018.02	×	×	◎					
				1996–2017（各年11～2月）	88	91 (40/44)	50 (44/88)	2018.11	×	×	◎	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p = 0.55$		
								2018.12	×	×	◎					
								2019.01	△	×	△					
								2019.02	△	×	△					
								2019.11	×	×	◎					
				1996–2018（各年11～2月）	92	89 (41/46)	50 (46/92)	2019.12	△	×	△	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p = 0.58$		
								2020.01	○	×	×					
								2020.02	○	×	×					
								2020.11	△	×	△					
				1996–2019（各年11～2月）	96	91 (41/45)	53 (51/96)	2020.12	△	×	△	$p = 0.059$	$p < 0.05$	$p = 0.62$		
								2021.01	△	×	△					
								2021.02	△	○	○					
								2021.11	×	×	◎					
				1996–2020（各年11～2月）	100	91 (32/35)	65 (65/100)	2021.12	×	×	◎	$p = 0.09$	$p < 0.05$	$p = 0.84$		
								2022.01	△	×	△					
								2022.02	△	×	△					

表 8　2022 年から運用のユーカンピア赤潮発生予察モデル一覧

海域	解析手法	目的変量	説明変数	説明変数の数	教師データ期間（年）
徳島県（播磨灘）	マハラノビス距離	2～3月の発生 or 局所発生	1月の北風風速合計値 1月の兵庫県沿岸の最高細胞密度	2	2005年から予察対象年の前年まで
香川県（播磨灘）	線形判別分析	1～3月の赤潮発生 or局所発生	12月北風 12月表層珪藻細胞密度	2	2005-2015
香川県（備讃瀬戸）	線形判別分析	1～3月の赤潮発生 or局所発生	11月西風 12月降水量	2	2005-2015
岡山県（播磨灘）	マハラノビス距離	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	11月底層水温 11月クロロフィルa濃度 1月クロロフィルa濃度	3	2011-2021
岡山県（備讃瀬戸）	線形判別分析	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	12月日照時間(岡山) 12月PO4-P(B-1m) 1月水温(B-1m)	3	2005-2015
	マハラノビス距離	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	1月水温(B-1m) 1月SiO2(B-1m)	2	2005-2015
兵庫県（播磨灘）	マハラノビス距離	1～2月の大量発生 or 局所発生	11月のN/P比 1月のPO4-P	2	2005-2015
	線形判別分析	3月の大量発生 or 局所発生	2月の最高細胞数 2月の日照時間 2月のPO4-P	3	2005-2021
大阪府（大阪湾）	マハラノビス距離	（地場発生赤潮）11～2月各月の大量発生 or 局所発生	前月の透明度 前月の10m層の海水密度σ_T 前月の鉛直安定度(5m層σ_T-底層σ_T)	3	1996-2015

表 9. 徳島県海域における 2005 年～2021 年の 1～3 月における *E. zodiacus* 発生状況一覧。発生，局所発生等の基準は高木ほか（2014）に従い，AA：大発生年（>=250 cells/mL），A：発生年（>=100 cells/mL），B：局所発生年（<100 cells/mL），C：春期発生年（3 月にのみ>100 cells/mL）で評価した。※は欠測。

年度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
発生基準	B	B	B	B	B	B	AA	A	B	B	C	A	B	B	B	B	B
1月	1	0	0	48	0	4	**918**	16	0	9	81	58	16	1	7	22	1
2月	0	79	0	45	0	16	252	**140**	9	6	47	**188**	0	0	0	91	4
3月	2	0	0	65	15	1	3	235	84	12	**504**	※	0	0	0	8	1