

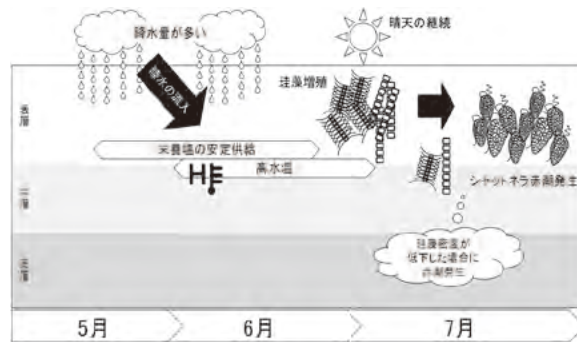


図 45 大阪府海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

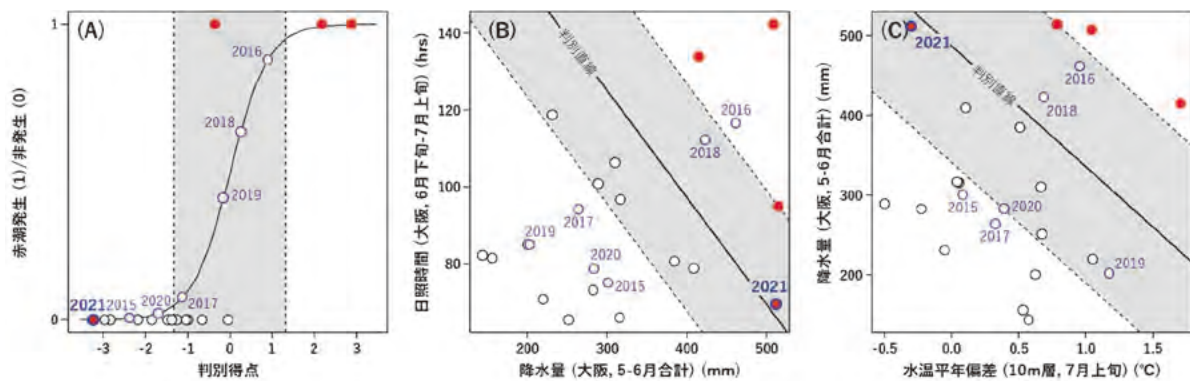


図 46 大阪府におけるシャットネラ赤潮発生予察結果。●：赤潮発生年，○：非発生年，青記号・青字：予察結果（2015~2020 年は非発生年，2021 年は発生年）。網掛けは「△」予察範囲。

- (A) 7 月上旬水温平年偏差，5~6 月合計降水量による予察。
 (B) 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。
 (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。

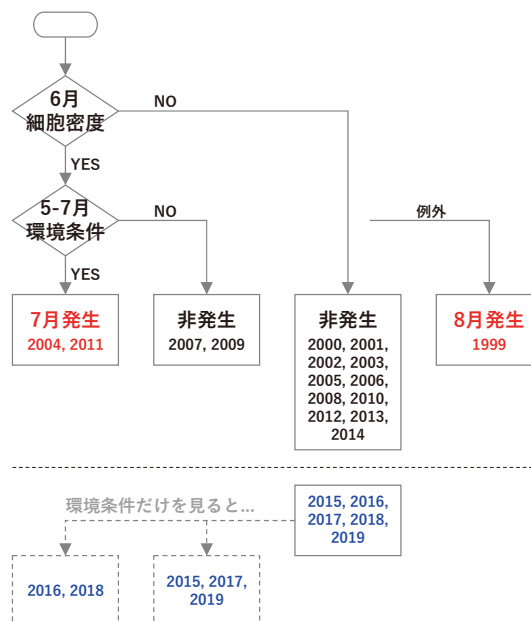


図 47 6 月の *Chattonella* 細胞密度を加えた赤潮発生フローチャート

表 6 シャットネトラ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

広域 湾・瀬	小海域	解析手法	説明変数	判別期間(年)	n	判別期間における 判別率(%)		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				
						* 判断保留(△) 予察年を除く	判別率(△) 予察含有率	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(%)		
北海道 (徳島沖)	マハラノビス距離	① 6月栄養塩(10m層) *1	1999-2021	23	100 (19/19)	17.4 (4/23)	◎	-	-	-	-	p = 0.07	p < 0.01	-	-	-		
	マハラノビス距離	① 7月上旬珪藻細胞数(0-5m層) ② 6月表層水温(5m層) *1	1999-2021	23	100 (23/23)	0 (0/23)	◎	-	-	-	-	p < 0.01	p < 0.05	-	-	-		
	マハラノビス距離	① 5月降水量 ② 6月PO ₄ -P ③ 珪藻細胞密度 *1	1999-2018	20	94.7 (18/19)	5.0 (1/20)	◎	2019	×	×	◎	p < 0.01	p = 0.23	p = 0.55				
			1999-2019	21	95.0 (19/20)	4.8 (1/21)	◎	2020	×	×	◎	p < 0.01	p = 0.26	p = 0.69	66.7	0		
			1999-2020	22	95.0 (19/20)	9.1 (2/22)	◎	2021	○	×	×	p < 0.01	p = 0.21	p = 0.59				
	北海道 (岡山沖)	マハラノビス距離	① 5月表層水温 ② 5月表層塩分 ③ 6月表層DIN *1	2006-2018	13	100 (10/10)	23.1 (3/13)	◎	2019	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.41	p < 0.01			
				2006-2019	14	100 (11/11)	21.4 (3/14)	◎	2020	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.37	p < 0.01	66.7	0	
				2006-2020	15	100 (11/11)	26.7 (4/15)	◎	2021	×	○	×	p = 0.06	p = 0.34	p < 0.01			
				2006-2018	13	100 (11/11)	15.4 (2/13)	◎	2019	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.41	p < 0.05			
2006-2019				14	100 (11/11)	21.4 (3/14)	◎	2020	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.37	p < 0.05	66.7	0		
播磨瀬	マハラノビス距離	① 5月表層水温 ② 5月表層塩分 ③ 7月底層水温 *1	2006-2020	15	100 (12/12)	20.0 (3/15)	◎	2021	×	○	×	p = 0.06	p = 0.34	p < 0.05				
	マハラノビス距離	① 5月表層水温 ② 5月底層水温 ③ 6月表層密度 *2	1999-2014 (2012年を除く)	15	100 (12/12)	20 (3/15)	◎	2015	○	○	◎	p < 0.05	p = 0.56	p < 0.05				
			1999-2015	16	100 (12/12)	25 (4/16)	◎	2016	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.34	p = 0.12				
			1999-2016	17	100 (13/13)	24 (4/17)	◎	2017	×	○	×	p < 0.05	p = 0.21	p = 0.29				
			1999-2017	18	94 (17/18)	0 (0/18)	◎	2018	×	○	×	p < 0.05	p = 0.27	p = 0.23	50	14		
			1999-2018	19	90 (9/10)	47 (9/19)	◎	2019	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.41	p = 0.33				
	マハラノビス距離 (判別期間)	1999-2019 1999-2020	2020 (12/12)	20	100 (12/12)	40 (8/20)	△	2020	△	×	△	p < 0.05	p = 0.26	p = 0.23				
			1999-2020	21	100 (13/13)	38 (8/21)	◎	2021	×	○	×	p < 0.05	p = 0.32	p = 0.16				
北海道 (兵庫沖)	マハラノビス距離 (判別期間)	1999-2014 (2012年を除く)	15	100 (15/15)	0 (0/15)	◎	2015	○	○	◎	p < 0.05	p = 0.56	p < 0.01					
			1999-2015	16	100 (16/16)	0 (0/16)	◎	2016	×	×	◎	p < 0.05	p = 0.34	p < 0.01				
			1999-2016	17	100 (17/17)	0 (0/17)	◎	2017	×	○	×	p < 0.05	p = 0.21	p < 0.01				
マハラノビス距離 (判別期間)	① 5月表層水温 ② 5月底層水温 ③ 7月表層密度 *2	1999-2017 (2012年を除く)	18	100 (7/7)	64 (11/18)	◎	2018	△	○	○	p < 0.05	p = 0.27	p < 0.01	50	43			
		1999-2018	19	100 (8/8)	57 (11/19)	◎	2019	△	×	△	p < 0.05	p = 0.41	p < 0.01					
		1999-2019	20	90 (18/20)	0 (0/20)	◎	2020	○	×	×	p < 0.05	p = 0.26	p < 0.01					
		1999-2020	21	100 (9/9)	57.1 (12/21)	◎	2021	△	○	○	p < 0.05	p = 0.32	p < 0.01					
		1999-2014 (2012年を除く)	15	100 (15/15)	0 (0/15)	◎	2015	○	○	◎	p < 0.05	p = 0.56	p < 0.01					

表 6 (続き)

広域 湾・瀬	小海域	解析手法	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(△) 予察生を除く		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 的中率(%) 含有率(%)	
						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				
大阪湾 (大阪沖)	小海域	線形判別	① 7月上旬の水溫平年偏差 ② 6月下旬～7月上旬の日照時間 *2	1999-2014	16	100 (10/10)	37.5 (6/16)	2015	×	×	◎	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2015	17	100 (11/11)	35.3 (6/17)	2016	△	×	△	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2016	18	100 (7/7)	61.1 (11/18)	2017	△	×	△	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2017	19	100 (7/7)	63.2 (12/19)	2018	△	×	△	p < 0.05	p < 0.05	—	50.0	71.4
				1999-2018	20	100 (7/7)	65.0 (13/20)	2019	△	×	△	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2019	21	100 (8/8)	61.9 (13/21)	2020	△	×	△	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2020	22	100 (8/8)	63.6 (14/22)	2021	×	○	×	p < 0.05	p < 0.05	—		
				1999-2014	16	100 (11/11)	31.3 (5/16)	2015	×	×	◎	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2015	17	100 (12/12)	29.4 (5/17)	2016	△	×	△	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2016	18	100 (11/11)	38.9 (7/18)	2017	×	×	◎	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2017	19	100 (12/12)	38.8 (7/19)	2018	△	×	△	p < 0.05	p < 0.01	—	100.0	71.4
				1999-2018	20	100 (11/11)	45.0 (9/20)	2019	△	×	△	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2019	21	100 (11/11)	47.6 (10/21)	2020	△	×	△	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2020	22	100 (11/11)	50.0 (11/22)	2021	△	○	○	p < 0.05	p < 0.01	—		
				1999-2014	16	100 (10/10)	37.5 (6/16)	2015	×	×	◎	p < 0.01	p < 0.05	—		
				1999-2015	17	100 (11/11)	35.3 (6/17)	2016	○	×	×	p < 0.01	p < 0.05	—		
				1999-2016	18	91.7 (11/12)	33.3 (6/18)	2017	×	×	◎	p < 0.01	p < 0.05	—		
				1999-2017	19	92.3 (12/13)	31.6 (6/19)	2018	△	×	△	p < 0.01	p < 0.05	—	80.0	28.6
				1999-2018	20	100 (9/9)	55.0 (11/20)	2019	×	×	◎	p < 0.01	p < 0.05	—		
				1999-2019	21	100 (10/10)	52.4 (11/21)	2020	×	×	◎	p < 0.01	p < 0.05	—		
				1999-2020	22	100 (11/11)	50.0 (11/22)	2021	△	○	○	p < 0.01	p < 0.05	—		

*1 前事業までに開発したシャットネットネラ赤潮発生予察モデル (表 5) より説明変数の変更あり

*2 前事業までに開発したシャットネットネラ赤潮発生予察モデル (表 5) より説明変数の変更なし

表 7 2022 年より運用予定のシャットネラ赤潮発生予察モデル一覧

広域 湾・灘	小海域	解析手法	説明変数	説明変数の数	教師データ期間(年)	
播磨灘	南東部 (徳島沖)	マハラノビス距離	6月栄養塩(St.4, 10m層)	2	1999-2021	
			6月表層水温(St.4, 1m層)			
		マハラノビス距離	7月上旬珪藻細胞数(St.4, 0-5m層)	2		
			6月表層水温(St.4, 5m層)			
	南西部 (香川沖)	マハラノビス距離	5月降水量(徳島)	1	1999-2014	
		マハラノビス距離 (早期予察)	5月塩分(表層)	2	1999-2014	
			5月PO ₄ -P(表層)			
		マハラノビス距離 (直前予察)	5月降水量(引田)	3		1999年から予察対象年 の前年まで
			6月PO ₄ -P(表層)			
			7月珪藻細胞密度			
	北西部 (岡山沖)	マハラノビス距離 (早期予察)	5月塩分(St.2-0.5m層)	3		
			5月水温(St.2-0.5m層)			
			6月DIN(St.2-0.5m層)			
		マハラノビス距離 (直前予察)	5月塩分(St.2-0.5m層)	3		
			5月水温(St.2-0.5m層)			
			7月水温(St.2-B-1m層)			
	北東部 (兵庫沖)	線形判別 (早期予察)	5月表層水温	3	1999-2014 (2012年は除く)	
			5月底層水温			
			6月珪藻細胞密度			
		線形判別 (直前予察)	5月表層水温	3		1999-2014 (2012年は除く)
			5月底層水温			
			7月珪藻細胞密度			
大阪湾	大阪沖	フローチャート	6月シャットネラ細胞数	1	1999-2014	
		線形判別	6月下-7月上日照時間(大阪)	2		
			7月水温(10m層)			
		線形判別	7月水温(10m層)	2		
			5-6月降水量(大阪)			
		線形判別	5-6月降水量(大阪)	2		
			6月下-7月上日照時間(大阪)			
		線形判別	5-6月降水量(大阪)	2		1999年から予察対象年 の前年まで
	6月下-7月上日照時間(大阪)					

表 8 ユーカンピニア赤潮の判別予察・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、分子はシャットネラ赤潮発生回数を示す。2016～2021 年の予察の中については、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。なお、2021 年は、データ取得途中であるものを「-」としている。

海城	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 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	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月北西風 12月表層柱状密度	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SO ₄ (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)	- (4/4)	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)	- (5/5)	0 (5/5)	○	○	◎	○	◎	○	×	×	×	△	×	△	○	×	×	-								
海城	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 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	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)				2017年1月			2018年1月			2019年1月			2020年1月			2021年1月			2022年1月								
						100 (1/1)	20 (4/20)	0 (0/23)	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中	予 察 果	結 果 中	的 中						

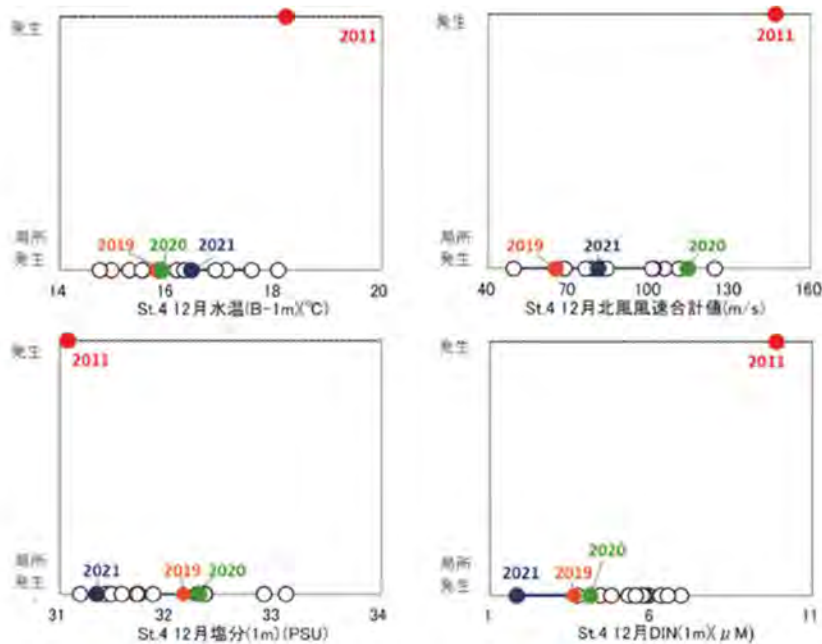


図 48 徳島県海域における *E.zodiacus* 赤潮発生年（1月発生）の特徴解析例。1月に赤潮が発生した年は12月に水温が高く、塩分が低く、北風風速合計値が高く、栄養塩濃度が高いという特徴を有する可能性が示唆された。



図 49 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ（1月発生）。他海域で発生した *E.zodiacus* が北～北西寄りの風で輸送され、徳島県海域に存在する豊富な栄養塩で高密度化すると考えられる。

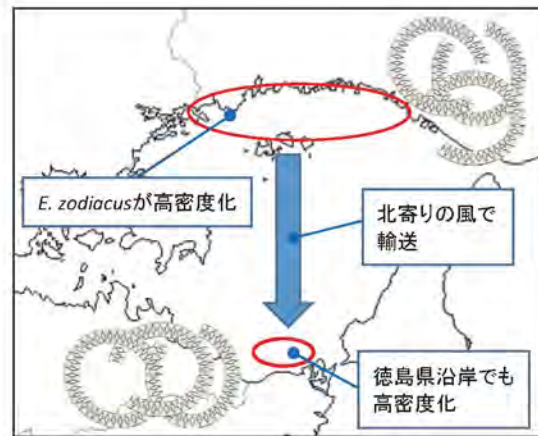


図 50 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ（2月または3月発生）。他海域で高密度化した *E.zodiacus* が北寄りの風で輸送され、徳島県海域でも高密度化する可能性が示唆された。

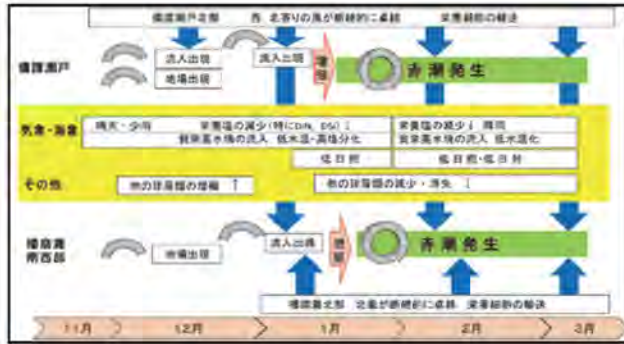


図 51 香川県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図。

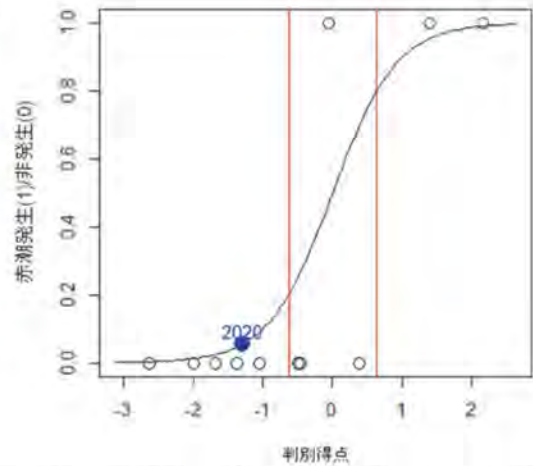


図 52 香川県海域（播磨灘）におけるユーカンピア赤潮発生予察結果。説明変数は 12 月の北風と表層珪藻密度。青丸が 2020 年（局所発生年），赤線内は「△」の予察範囲を表す。

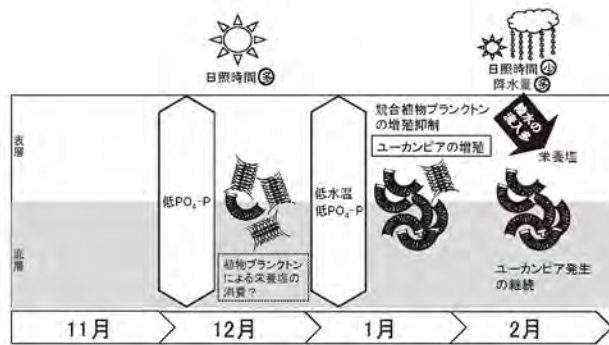


図 53 岡山県海域（播磨灘）におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

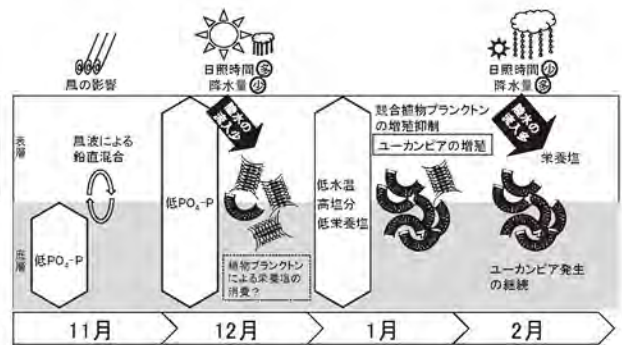


図 54 岡山県海域（備讃瀬戸）におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

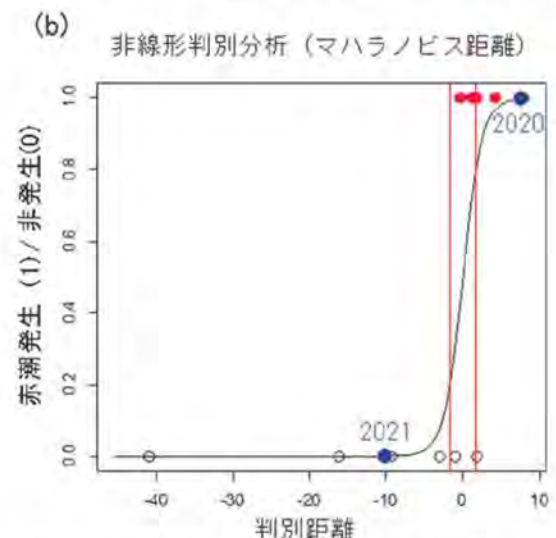
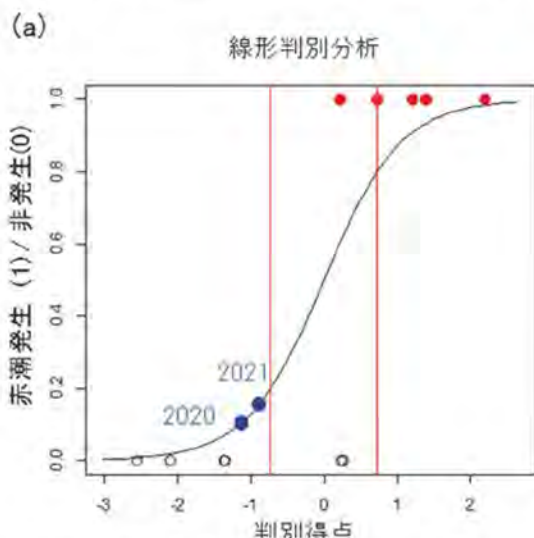


図 55 岡山県海域（播磨灘）におけるユーカンピア赤潮の発生予察。使用データは，(a)が 11 月西風，1 月底層 PO_4-P ，(b)が 12 月日照時間，1 月底層 PO_4-P 。赤丸が発生年，白丸が局所発生年，青丸が 2020，2021 年の予察を表す。