通する調査結果として，本種の初確認が早かったこと，8 月以降に断続的に降雨があったこと，日照時間が少ない日が多かったこと，珪藻類の細胞密度が低下する時期があったこと，等が挙げられる。これらの条件が本種の増殖に有利に働いたものと考えられた。各府県海域での出現状況（本事業以外の調査から得られた情報を含む）と関連する発生要因は以下のとおり（図 15～17)。

・兵庫県海域（播磨灘北部）：平成 22 年以来 4 年ぶりに赤潮を形成した。7 月に低い細胞数で確認され始め，8 月中旬以降に細胞数が増加した。臨時調査による監視を継続したところ，8 月 15 日には赤穂市沿岸で 2～78cells/mL が確認された。その後，8 月 26～29 日には家島諸島周辺で赤潮となった（最高細胞数 4,675cells/mL)。同諸島周辺海域で，蓄養魚に被害が発生した。

・大阪府海域：平成 16 年以来 10 年ぶりに赤潮を形成した。7 月中旬から活発な増殖が確認され，8 月上旬には大阪湾東部沿岸で赤潮を形成した（図 15，16)。赤潮発生の直前に西寄りの風が卓越していたことから，吹き寄せによる細胞集積の影響が推測された。最高細胞数は 4,210cells/mL（8 月 7 日）であった。

・徳島県海域（播磨灘南部）：平成 22 年以来 4 年ぶりに赤潮を形成した。6 月上旬に低い細胞数で確認され始め，8 月中旬に増殖が活発化し，北灘海域では 8 月 26 日～9 月 9 日まで，また，内の海海域では 8 月 20 日～9 月 9 日まで，赤潮注意報が発令された。最高細胞数は 499cells/mL（8 月 26 日）であった。

・香川県海域（播磨灘南部）：平成 24 年以来 2 年ぶりに赤潮を形成した。7 月に低い細胞数で確認され，8 月中旬以降に細胞数が増加し，8 月下旬に東かがわ市引田沿岸部で赤潮となった。県の調査では 610cells/mL が最高であった。

なお，本事業の調査対象海域ではないが，本年度は燧灘や備讃瀬戸の香川県海域でも先行して本種の発生が多く，最高細胞数は 8 月下旬に燧灘で 3,380cells/mL，備讃瀬戸で 337cells/mL 確認された。備讃瀬戸では発生のピークを把握することはできなかったが，両海域で赤潮となった。燧灘，備讃瀬戸での発生は瀬戸内海の通過流が西流であったと推測されたことも関係していると考えられた。

・岡山県海域（播磨灘北部）：8 月中旬に増殖が活発化したが，着色までには至らなかった。最高細胞数は 270cells/mL であった。

Cochlodinium polykrikoides: 調査期間中，散発的に出現が確認されたが，高密度化することはなかった（細胞密度 8cells/mL：7/28 香川県海域 K5 水深 5m)。

Heterocapsa circularisquama:本年度は，出現が確認されなかった。

その他: *Skeletonema* 属や *Chaetoceros* 属等で構成された珪藻類が優占して出現した。特に兵庫県沿岸部（6 月下旬～7 月）および大阪湾（6 月中旬～8 月上旬）において密度が高かった（図 18)。

平成 26 年 6～9 月の東部瀬戸内海における赤潮発生状況を表 3 に示した。発生件数は 16 件で，うち有害種によるものが 11 件であった。漁業被害を伴う赤潮が 1 件発生した。

⑤まとめ

平成26年度は，*Chattonella antiqua*，*C. marina*，*Cochlodinium polykrikoides*，*Heterocapsa circularisquama* の大量発生はほとんど見られなかった。しかしながら，*Karenia mikimotoi* が大阪湾東部海域，播磨灘海域，備讃瀬戸海域で大量発生した。本種の細胞はやや早い時期から確認されていた。梅雨前期には降水が少なかったものの，8月以降は断続的な降雨と曇天が継続し，低照度下の増殖に有利な特性を持つ本種が優占したものと考えられた。加えて，降水・陸水を通じて栄養塩類が海域に供給されたこと，複数の台風の上陸または接近により鉛直混合の進行に伴う底層からの栄養塩供給もあったこと，日照の低下や成層状態の不安定化に伴い，珪藻類の卓越状態が継続しなかったこと，等が本種の赤潮発生につながったものと考えられた。

2）既存データの解析と有害赤潮発生シナリオの構築

・環境条件データ：

既存データから，将来的にも同質なデータの入手が見込めること，海域を代表し得るデータであること，できれば赤潮発生より以前に入手可能であること等を念頭に，各府県海域ごとに，物理・化学・生物的要素のデータセット（計 341 要素）を整備した。

・発生パターン解析：

各府県海域ごとに，前年度区分した年別発生状況（岡山県ほか 2014）から「発生～非発生」をいくつかのパターンに類型化し，それぞれのパターンごとに環境条件データとの関連性を解析した。次に，類型別に，統計的に有意な差が検出された環境条件や，統計的な有意差がなくとも数値範囲が偏る要素（赤潮発生の必要条件となり得る要素）を抽出した。抽出した要素間相互の相関性を確認し，今後の直接・間接相関による予測モデルの開発や，多重共線性にも配慮したうえでの多変量解析への適用可能性についても検討した。

各府県海域における解析結果は以下のとおり。

①兵庫県海域

兵庫県海域（播磨灘）における代表定点の5～7月の水温，塩分，降水量，栄養塩，珪藻細胞数，クロロフィル *a* 等，計65要素のデータを整備した。

赤潮の発生－局所発生－非発生間の各年群間において，水温，塩分，降水量，栄養塩，クロロフィル *a* では明瞭な特徴が検出されなかったが，5，6，7月の珪藻細胞数では，発生類型ごとに特徴がみられた。ここでは，代表的な解析例として，7月の代表定点（H2）における全珪藻細胞数（表層）との関係を図18に示した。平成24年以外の非発生年は，7月の代表定点において珪藻の発生量が多く，発生年（局所発生年，大発生年）は珪藻の発生量が少なかった。

平成24年の珪藻発生量は，本報告の解析資料として採用した7月上旬に低気圧の通過があり，当該調査回次のみ珪藻の発生量が少なくなっていた（図 19)。そこで，平成24

年の値を外れ値として除去し，類型別に多重検定（Tukey）をしたところ，大発生－非発生，局所発生－非発生は平均値に有意差があった（$p < 0.05$）が，大発生－局所発生は有意差がなかった（$p > 0.05$）。このため，大発生－非発生をまとめて「発生年」として再度類型化した。

発生年－非発生年間で，珪藻細胞数の平均値は統計的に有意な差（等分散，Student の t 検定，$p < 0.01$）が検出された。発生年と非発生年では，7 月上旬の代表点（H2）での珪藻密度に差があることが示唆され，シャットネラの増殖期における珪藻との競合関係により，本海域の赤潮発生が影響を受けている可能性が示唆された。今後，他の要素を用いた重回帰や一般化線形モデルによる発生パターン予測の解析を進める。また，7 月の珪藻の発生量を予察することにより，間接的にシャットネラ赤潮の発生の予察が可能かどうかを検討する。

②大阪府海域

大阪湾全域および特定定点の表層・中層・底層の平均水温，同塩分，湾内特定定点の栄養塩濃度，競合種（珪藻類）の細胞密度，大阪・洲本の気象庁気象統計情報等，計 81 要素のデータを整備した。

大阪湾では，赤潮の発生－非発生間で値に統計的に有意な差が見られたのは 81 要素中 8 要素（$p < 0.05$：5 要素，$p < 0.1$：3 要素, Mann-Whitney の U 検定）であった。これらには，6 月水温（浅海定線調査 20 地点平均：表層），7 月水温（浅海定線調査 20 地点平均：中・底層，浅海定線調査湾奥定点：中・底層），5 月月間降水量（大阪，洲本）および 6 月月間降水量（洲本）が含まれていた。ここでは，代表的な解析例として，発生－非発生に類型化した場合の 7 月水温（浅海定線調査 20 地点平均：中層）との関係を図 20 に示した。この結果，「7 月の水温約 21.8℃以上」が赤潮の発生しやすい環境条件として考えられた.

同様に，赤潮発生－非発生間で差の見られた水温に関する要素においては，高水温の年に赤潮が発生しやすくなっており，一定の傾向を示した。また，降水量に関する要素では，降水量の多い年に赤潮が発生しやすい傾向となっていた。

以上の結果から，大阪府海域におけるシャットネラ赤潮の発生年は，6，7 月の水温が高く，5，6 月の降水量が多いという特徴を有する可能性が考えられた。

発生年と非発生年とで有意差の見られた 8 要素間で，Spearman の順位相関分析を行ったところ，独立した要因（$p > 0.05$）として 3 つのグループに分けることができた（グループ間：$p > 0.05$，グループ内：$p < 0.05$）ため，今後これら 3 グループから要素を抽出し，重回帰や一般化線形モデルによる発生パターン予測の解析を進める。なお，3 グループはそれぞれ，水温（6，7 月），5 月降水量，6 月降水量の要素で構成された。

また，統計的には差が見られなかったものの数値範囲が偏る要素には，主に栄養塩濃度や珪藻細胞密度が含まれ，赤潮が発生した年は栄養塩濃度が低く，珪藻細胞密度が小さい傾向にあった。

③徳島県海域

徳島県海域（播磨灘）における5～7月の水温，塩分，栄養塩濃度，競合種（珪藻類）の細胞密度，降水量，日照時間等，計66要素のデータを整備した。

赤潮の発生と，5月降水量，6月水温（1m層），6月DIN（10m層）および7月上旬珪藻細胞数との間に関連性が見出された。ここでは，代表的な解析例として，発生－非発生に類型化した場合の関係を図21に示した。

これらの要素のうち，6月表層水温と6月DIN，7月上旬の珪藻細胞数と5月降水量，6月水温，6月DINについては，それぞれが独立した要因（$p > 0.05$）とみなすことができたため，今後，重回帰や一般化線形モデルによる発生パターン予測の解析を進める。

④香川県海域

香川県海域（播磨灘）における5～7月の水温，透明度，栄養塩濃度，競合種（珪藻類）の細胞密度，クロロフィル*a*濃度，降水量，日照時間等，計93要素のデータを整備した。

赤潮の発生と，5月降水量，6月および7月クロロフィル*a*（表層），シャットネラシスト密度との間に関連性が見出された。ここでは，代表的な解析例として，発生－非発生（局所発生含む）に類型化した場合の環境条件との関係を図22に示した。

赤潮発生年は，5月の降水量が多く，6～7月のクロロフィル*a*濃度が高く，シャットネラシスト密度が高いという特徴を有する可能性が考えられた。

これらの要素のうち，「5月降水量－6月クロロフィル*a*」，「5月降水量－7月クロロフィル*a*」，「5月降水量－シャットネラシスト」，「6月クロロフィル*a*－シャットネラシスト」については，互いに独立した要因（$p > 0.05$）とみなすことができたため，今後，重回帰や一般化線形モデルによる発生パターン予測の解析を進める。

⑤岡山県海域

岡山県海域（播磨灘）における5～7月の水温，塩分，栄養塩濃度，競合種（珪藻類）の細胞密度，降水量，日照時間等，計36要素のデータを整備した。

赤潮の発生と5月の表層水温，5月の表層塩分，5月の底層（B-1m）塩分の間に関連性が見出された。発生－非発生に類型化した場合のこれらの項目とシャットネラの発生の関係を図23に示した。なお，発生と非発生の類型化については，昨年度の報告書の記載に従い，発生：大発生年と発生年，非発生：局所発生と非発生年とした。

シャットネラ赤潮の発生年の傾向として，5月の表層水温が高く，5月の表層と底層の塩分が高いという特徴が見られた。しかしながら，これらの要素はいずれにおいても相関を有しており，互いに独立ではないことが推察された。このことは，本海域の赤潮発生が，同一または起源を共通に持つ環境イベントの影響を受けている可能性を示唆する。次年度以降，5月の水温，塩分に影響を与える要因を探索し，赤潮の発生との関係を明らかにする。

3)　引用文献

岡山県，兵庫県，大阪府，和歌山県，徳島県，香川県，新日本気象海洋株式会社，株式会社富士総合研究所．東部瀬戸内シャットネラ赤潮広域共同調査報告書．水産庁，130-156，1990.

兵庫県，岡山県，徳島県，香川県．平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策事業赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業　事業報告書．水産庁，1-15，2013.

岡山県，兵庫県，大阪府，徳島県，香川県．平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」2014 報告書．瀬戸内海赤潮共同研究機関，9-22，2014.

表1　観測層および調査項目

府県名			兵庫県	岡山県	徳島県	香川県	大阪府
観測層			0.5, 5 or 10, B-1m	0.5, 5 or 10, B-1m	1, 5, 10, B-1m	0.5, 5, 10, B-1m	0.5, 5, 10, B-1m
調査定点数			6	5	3	7	3
調査回数			8	8	9	12	8
調査項目	水温		○	○	○	○	○
	塩分		○	○	○	○	○
	透明度		○	○	○	○	○
	NH_4-N		○	○	○	○	○
	NO_2-N		○	○	○	○	○
	NO_3-N		○	○	○	○	○
	DIN		○	○	○	○	○
	PO_4-P		○	○	○	○	○
	SiO_2-Si		○	○	○	○	○
	クロロフィルa		○	○	○	○	○
	DO		○	○	○	○	○
	プランクトン・	*Chattonella antiqua, C. marina, C. ovata*	○	○	○	○	○
		Karenia mikimotoi	○	○	○	○	○
		Cochlodinium polykrikoides	○	○	○	○	○
		Heterocapsa circularisquama	○	○	○	○	○

*:プランクトンは原則として試水1mL中の有害赤潮種の細胞数を計数する。
兵庫県：水深10m前後の3定点（H28, H30, H31）は3層（0, 5, B-1m）で観測。
岡山県：水深10m前後の4定点（OY1～4）は3層（0, 5, B-1m）で観測。
水深20m前後の1定点（OY5）は3層（0, 10, B-1m）で観測。

表 2　測定・分析方法一覧

府県名		兵庫県	岡山県	徳島県	香川県	大阪府
水温・塩分	多項目CTD	○	○	○	○	○
透明度	透明度板	○	○	○	○	○
NH_4-N	ｲﾝﾄﾞﾌｪﾉｰﾙ青吸光光度法	○	○	○	○	○
NO_2-N	ﾅﾌﾁﾙｴﾁﾚﾝｼﾞｱﾐﾝ吸光光度法	○	○	○	○	○
NO_3-N	銅ｶﾄﾞﾐｳﾑｶﾗﾑ還元 ﾅﾌﾁﾙｴﾁﾚﾝｼﾞｱﾐﾝ吸光光度法	○	○	○	○	○
PO_4-P	ﾓﾘﾌﾞﾃﾞﾝ青（ｱｽｺﾙﾋﾞﾝ酸還元） 吸光光度法	○	○	○	○	○
SiO_2-Si	ﾓﾘﾌﾞﾃﾞﾝ青（ｱｽｺﾙﾋﾞﾝ酸還元） 吸光光度法	○	○	○	○	○
クロロフィル*a*	ｱｾﾄﾝ抽出蛍光法	○			○	
	多項目CTD		○*	○		○*
DO	多項目CTD	○	○	○		○
	DOメーター				○**	

*：多項目CTDの蛍光値をアセトン抽出吸光法で補正。
**：多項目CTDまたはDOメーターの測定値をウインクラー法で補正。

表 3　平成 26 年 6～9 月に調査機関が確認した赤潮発生状況（珪藻による赤潮は除く）

番号	発生期間	発生海域	府県名	構成種名	発生状況および発達状況	最高細胞数 (cells/mL)	漁業被害
1	6/2～6/3	備讃瀬戸中部	（香川県）	*Heterosigma akashiwo*	坂出港内で着色域あり	9,480	無
2	6/2-6/9	大阪湾東部	（大阪府）	*Heterosigma akashiwo*	西宮市から堺市にかけての沿岸域で発生	12,800	無
3	6/3～6/9	備讃瀬戸東部	（香川県）	*Heterosigma akashiwo*	屋島湾で着色域あり	43,480	無
4	6/9	大阪湾東部	（大阪府）	*Eutreptiella* sp.	西宮市から堺市にかけての沿岸域で発生	9,780	無
5	6/16～6/17	備讃瀬戸中部	（香川県）	*Heterosigma akashiwo*	高松港内で濃い着色域あり	70,000	無
6	6/16～6/23	播磨灘南西部	（香川県）	*Noctiluca scintillans*	播磨灘南西部で帯状の着色域あり	不明	無
7	6/23	播磨灘南東部	（徳島県）	*Noctiluca scintillans*	鳴門市北灘沖で発生	不明	無
8	6/26	備讃瀬戸東部	（香川県）	*Heterosigma akashiwo*	屋島湾で着色域あり	56,000	無
9	7/2	播磨灘南部	（香川県）	*Noctiluca scintillans*	播磨灘南部で小規模な帯状の着色域あり	不明	無
10	7/15	燧灘東部	（香川県）	*Noctiluca scintillans*	燧灘南東部で帯状の着色域あり	不明	無
11	7/24	備讃瀬戸東部	（香川県）	*Heterosigma akashiwo*	志度湾奥部で着色域あり	8,060	無
12	8/7	大阪湾東部	（大阪府）	*Karenia mikimotoi*	泉大津市から貝塚市にかけての沿岸域で発生	4,210	無
13	8/7～8/21	備讃瀬戸西部	（香川県）	*Karenia mikimotoi*	粟島南から荘内半島北側にかけて断続的に着色域あり	337*	無
14	8/21～8/28	播磨灘南部	（香川県）	*Karenia mikimotoi*	引田漁港内及び相生漁港沖で着色域あり**	不明	無
15	8/26	燧灘東部	（香川県）	*Karenia mikimotoi*	燧灘東部の広い範囲で着色域あり	3,380	無
16	8/26～8/29	播磨灘北部	（兵庫県）	*Karenia mikimotoi*	家島諸島周辺で発生	4,675	有

*：増殖のピークを捉えていない可能性があり，実際はこれより高い密度で出現していたと思われる。
**：地元漁協からの報告による。