

# 深掘跡埋戻しによる環境改善効果に関する検討

## 1. 衣浦港における深掘跡埋戻しによる環境改善にむけた検討

### 1.1 検討の背景・目的

衣浦港内には図 1.1に示すように深掘跡が存在しており、生物に悪影響を与える貧酸素水や硫化水素が滞留しているものと考えられている。一方、衣浦港は全体的に水深が深く単調な海域であるが、平成24年度に愛知県が実施した現地調査結果によると、水深の浅い場所ではアサリやシジミ等の生息が確認されている（図 1.2参照）という特性がある。

このような背景のもと衣浦港においても深掘埋戻しによる環境改善が計画されている。三河湾では、貧酸素水塊発生抑制対策として、これまで大塚地区と御津地区の深掘跡地の埋戻しと覆砂を実施してきたが、実施後のD0飽和度が埋戻し前と比較して高くなる傾向が現れており、埋戻しとその後の覆砂による底質環境、酸素環境ともに改善が確認されているが、深掘埋戻しによる環境改善事業を検討するにあたっては、衣浦港の特性（地形や水深、流入河川の影響等）を考慮して、期待される効果を適切に想定しておくことが重要となる。

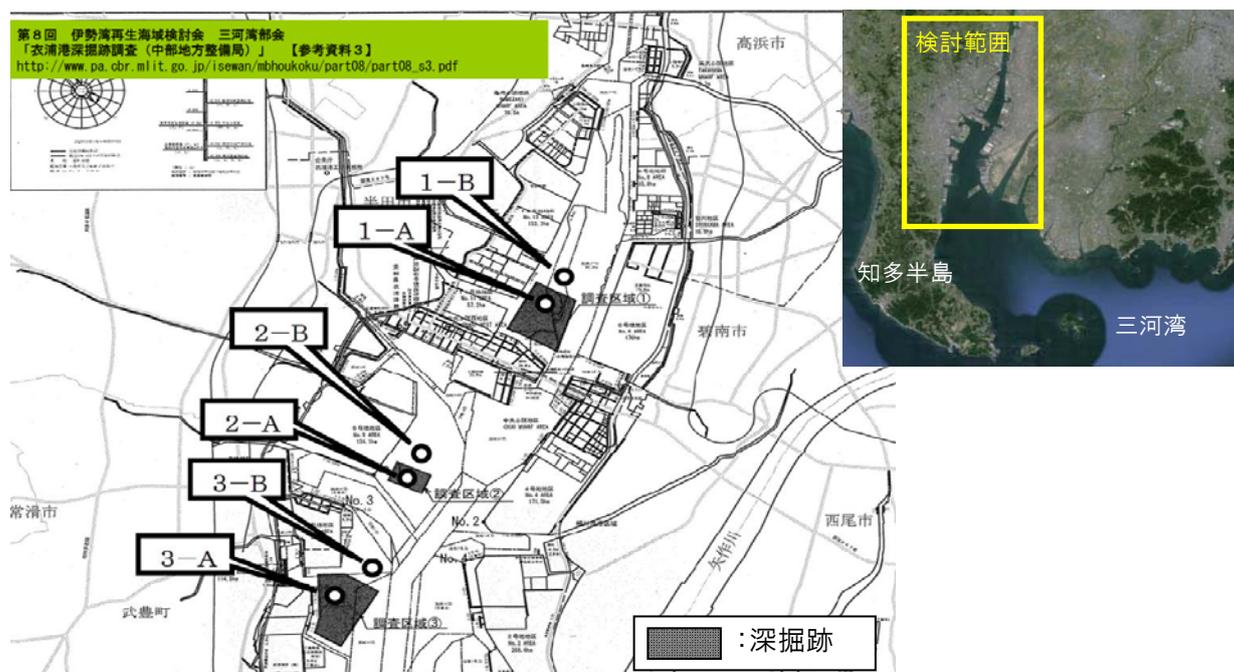


図 1.1 衣浦港内における深掘窪地の存在

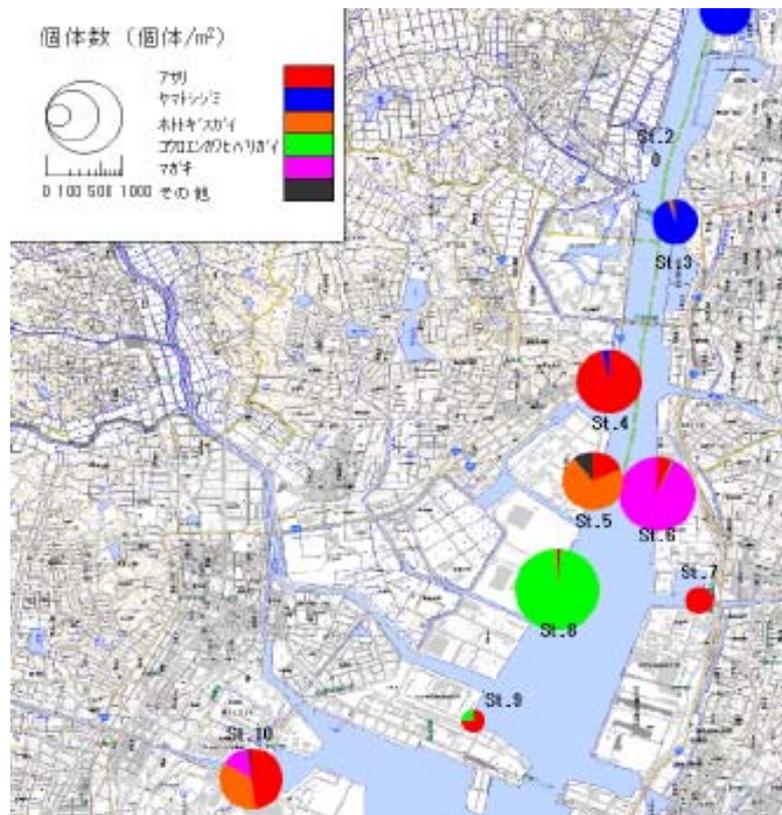


図 1.2 衣浦港内におけるアサリ等の分布状況

## 1.2 検討内容及び方法

深掘跡埋戻しによる環境改善効果として『深掘跡が新たに生物生息場となる効果（直接的な効果）』と『深掘跡から発生する苦潮が周辺干潟への及ぼす影響を低減させる効果（間接的な効果）』の2つが想定される(図 1.3 参照)。

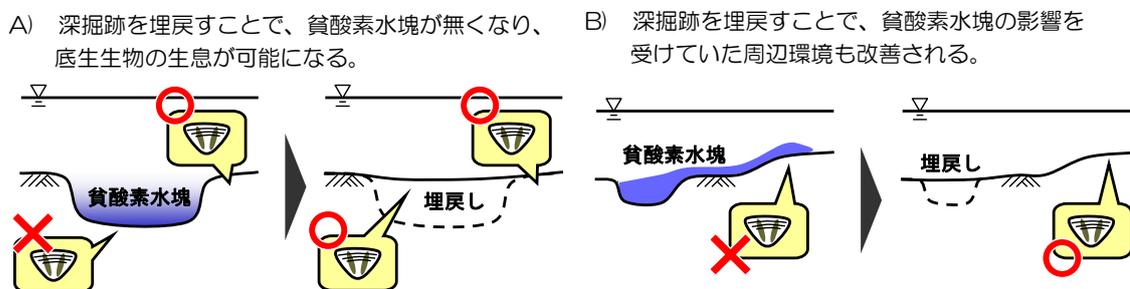


図 1.3 衣浦港で想定される深掘跡埋戻しによる環境改善効果

『 A) 深掘跡が新たに生物生息場となる効果（直接的な効果）』について

埋戻すことで深掘跡にも周辺環境と同様の底生生物が生息することが想定される。そこで、深掘跡周辺の底生生物生息状況（生息密度）を深掘跡修復面積に乘じることで、改善効果を算定する。

『 B) 深掘跡から発生する苦潮が周辺干潟への及ぼす影響を低減させる効果（間接的な効果）』について

「伊勢湾シミュレーター」((独)港湾空港技術研究所が開発した、狭義の伊勢湾及び三河湾を検討対象水域としたモデル)での流れ場の予測を実施した上で、深掘跡地内に存在する貧酸素水に見立てた粒子がどのような条件で粒子が湧昇するかを予測して、下記を明らかにする。

- ① 苦潮の発生源となる可能性の高い深掘跡の抽出
- ② 深掘跡埋戻しの効果算定と埋戻し場所の優先順位（アサリ等の生息域との重ね合わせから）

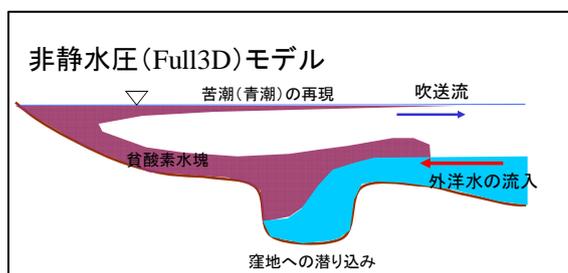


図 1.4 伊勢湾シミュレーターの長所

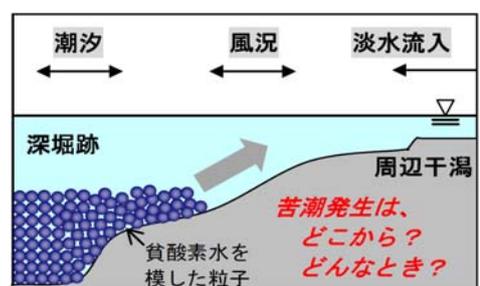


図 1.5 粒子追跡手法を用いた青潮の挙動把握の概念図

### 1.3 具体的な計算条件

#### (1) 計算範囲と計算格子

計算範囲は伊勢湾・三河湾の全域として、基本的に水平方向の計算格子サイズは 800m を採用し、図 1.6 に示すように、衣浦港周辺については最小 200m まで計算格子を細分化し、深掘跡の地形形状を表現した。

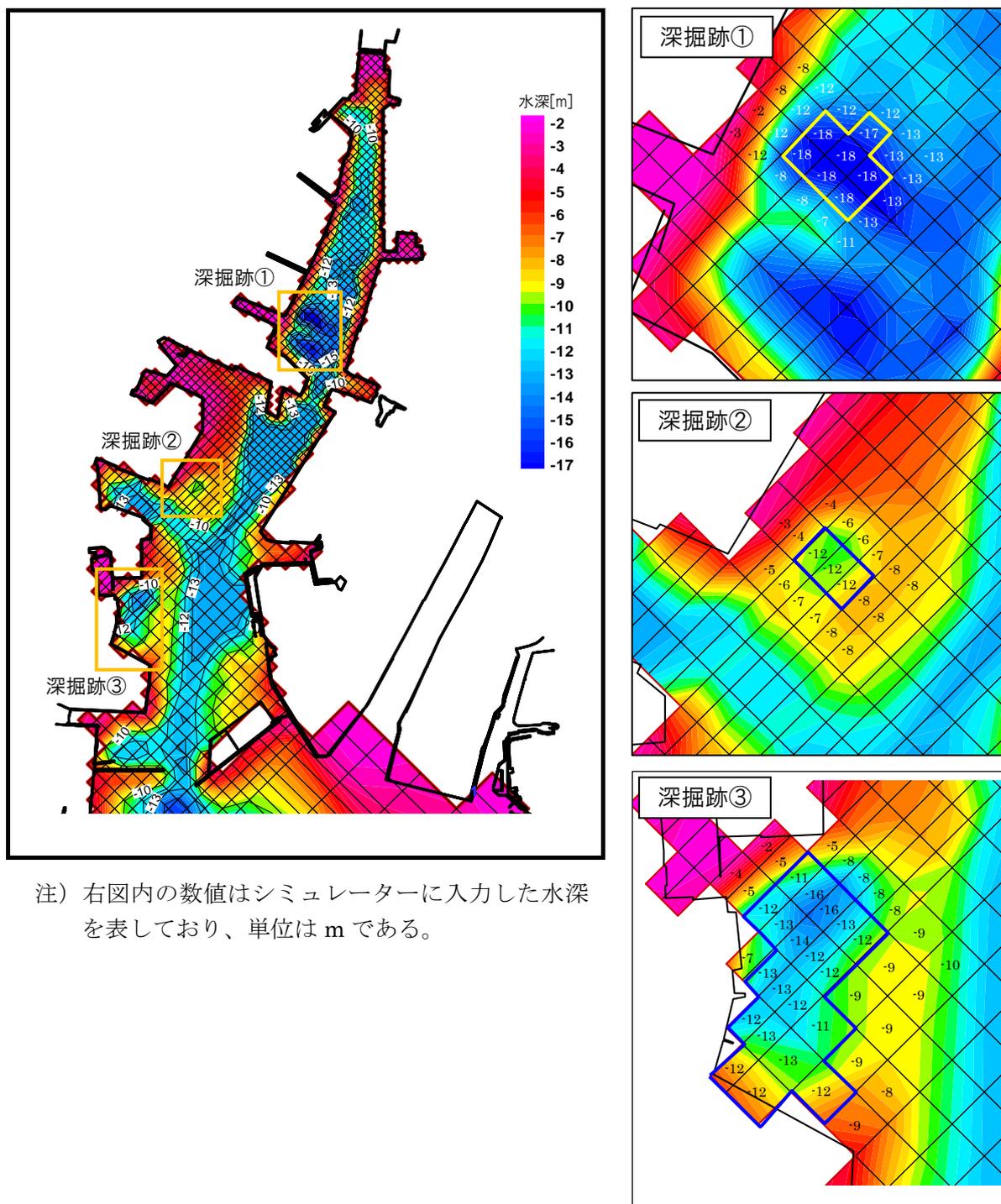


図 1.6 検討に用いた計算格子と水深

(2) 計算期間と計算項目

深掘跡から貧酸素水が湧昇する現象の再現は、2004年3月～11月の期間を対象に実施した。この期間において、どの深掘跡からの湧昇頻度が多いのか等を検討した。

なお2004年は伊勢湾・三河湾を高頻度で台風が通過した年であり、風による擾乱により深掘跡からの貧酸素水の湧昇のリスクが高かったものと想定される。

本検討での伊勢湾シミュレーターの予測項目は下記の通りである。

予測項目
水位、流向、流速、圧力、水温、塩分、貧酸素水に見立てた粒子の挙動

(3) その他の条件

その他の計算条件を表 1.1 に示す。

表 1.1 計算条件の一覧

項目		設定方法	
地形（水深）		<ul style="list-style-type: none"> <li>伊勢湾全域：M7000（遠州灘 ver2.0、日本水路協会） なお、上記データに加え、下記のデータにより補足した。</li> <li>衣浦港周辺：海上保安庁発行海図（平成16年月発行、日本水路協会）</li> <li>名古屋港周辺：海上保安庁発行海図（平成23年発行、日本水路協会）</li> <li>空港島周辺：既存の深淺測量資料</li> </ul>	
計算格子		水平方向：200～800m の可変格子 ※衣浦港周辺を 200m 格子 鉛直方向：全 32 層 水深 0～13m までは 1m 間隔、13～41m までは 2m 間隔とした。	
流動予測	淡水流入	流量	一級河川については 10 河川を取り扱い、水文水質データベースで公開されている毎時観測値を用いた。中小河川については 29 河川を取り扱い、最寄りの一級河川との相関式や公共用水域水質調査等での観測値を用いた。
		水温	一級河川については、水文水質データベースで公開されている観測値を用いた。データが無い河川では他の河川の平均値を用いた。中小河川については気温と水温の相関式を観測値から作成し、この相関式を用いて毎時測定されている気温から水温を推定した。
		塩分	塩分はゼロとした。
	開境界 [湾口]	潮位	長周期成分を含む主要 14 分潮(Sa、Ssa、Mm、MSf、Mf、Q <sub>1</sub> 、O <sub>1</sub> 、P <sub>1</sub> 、S <sub>1</sub> 、K <sub>1</sub> 、N <sub>2</sub> 、M <sub>2</sub> 、S <sub>2</sub> 、K <sub>2</sub> )の潮汐を与えた。
		水温・塩分	月 1 回実施されている沿岸定線調査結果 (A10 および A1) を時間方向に線形補間し用いた。
	気象	気温・気圧・日射量・降水量	名古屋地方気象台の観測値を用いて、空間的に一様に与えた。
		風向・風速	近年観測されている伊勢湾内の海上風（7 地点）のデータと周辺アメダスの観測データの相関式を整理したうえで、計算時期（平成 16 年～平成 18 年）には観測が開始されていない海上風(7 地点)を同時期のアメダス観測データより上記の相関式により推定し設定した。
	初期値	水温・塩分	水温：10℃、塩分：32psu を全域一様に与えた。
	パラメータ	タイムステップ	40(s)
		水平渦動粘性/拡散係数	Smagorinsky(1963)の方法により設定
鉛直渦動粘性/拡散係数		Munk and Anderson(1948)の方法により設定	

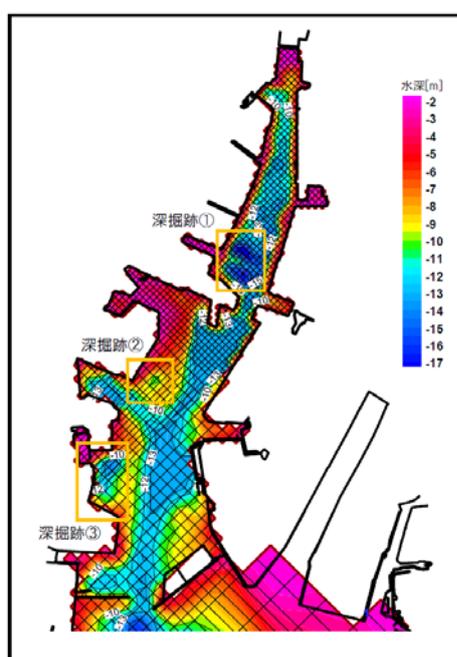
## 1.4 モデル検討結果

### (1) 深掘跡内の海水の動き方の違い

下図の衣浦港内に存在する3つの深掘跡のそれぞれの特徴を把握するため、深掘跡内の海水の密度と水温の計算結果をコンター図として整理し、図 1.7 および図 1.8 に示す。また図 1.9 には深掘跡地内の水温の経時変化図とアメダス名古屋での降水量、南知多での風況を併記して整理した。

密度と水温の計算から下記の事項が推測される。

- 原地盤上と深掘跡地内と密度・水温に差が生じる時期が存在し、その際深掘跡内の密度・水温の時間的な変化が小さくなっていることから、**いずれの深掘跡においても一時的に海水が滞留しているもの**と推測される。
- この時期に深掘跡内では水平方向・鉛直方向からの溶存酸素の供給が断たれるため、**貧酸素化が進行するもの**と推測される。さらに無酸素となる場合は**硫化水素の発生が生じる**。
- 海水の密度・水温の変化から推測すると、深掘跡内に滞留した海水は長い場合は、深掘跡内に1カ月程度停滞しているが、その後、原地盤上層の海水と同密度・同水温となる時期が存在しており、**いずれの深掘跡においても海水の湧昇が生じているもの**と推測される。
- ただし深掘跡地内の密度・水温の変動は深掘跡ごとに異なっており、**深掘跡ごとに湧昇の時期や量は異なっているもの**と推測される。
- 図 1.9 より深掘跡内に停滞する低水温の海水は強風時に上下に混合している状況が確認できる。**深掘跡内の海水の湧昇が生じるのは強風時である**と考えられる。この時期に底層水に硫化水素が含まれていれば苦潮となるものと推測される。



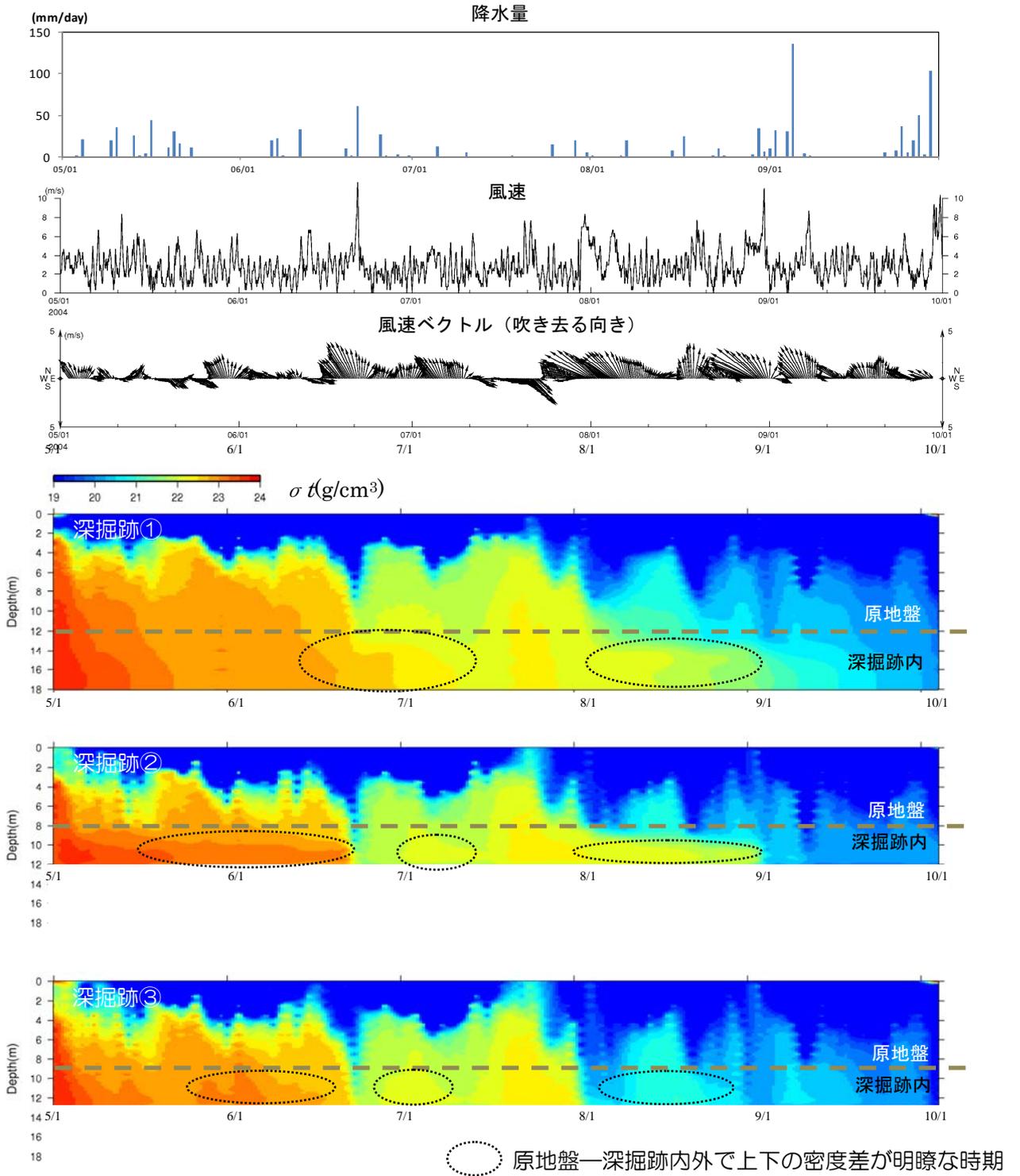


図 1.7 深掘跡地点での海水の密度の予測結果

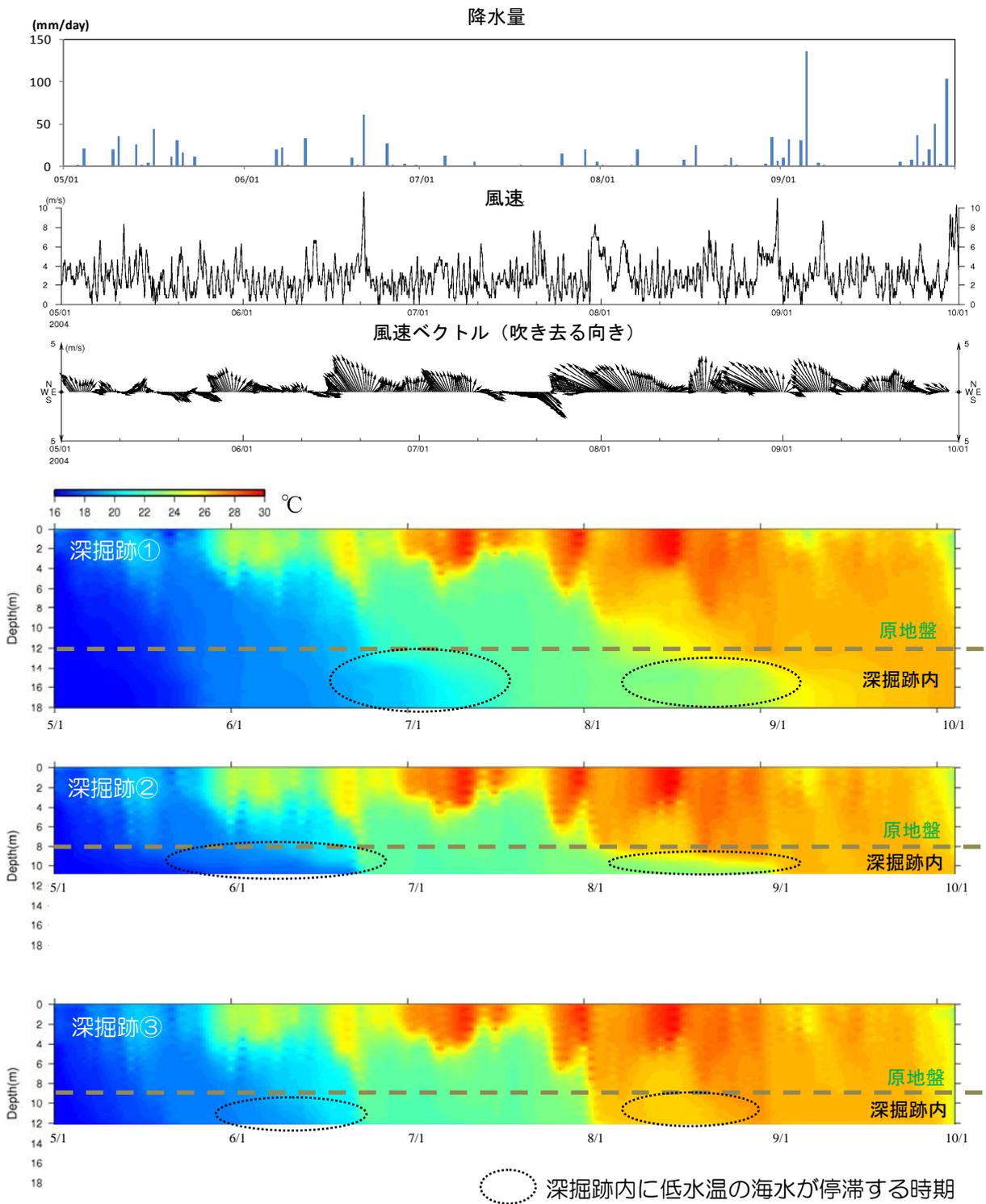


図 1.8 深掘跡地点での水温の予測結果

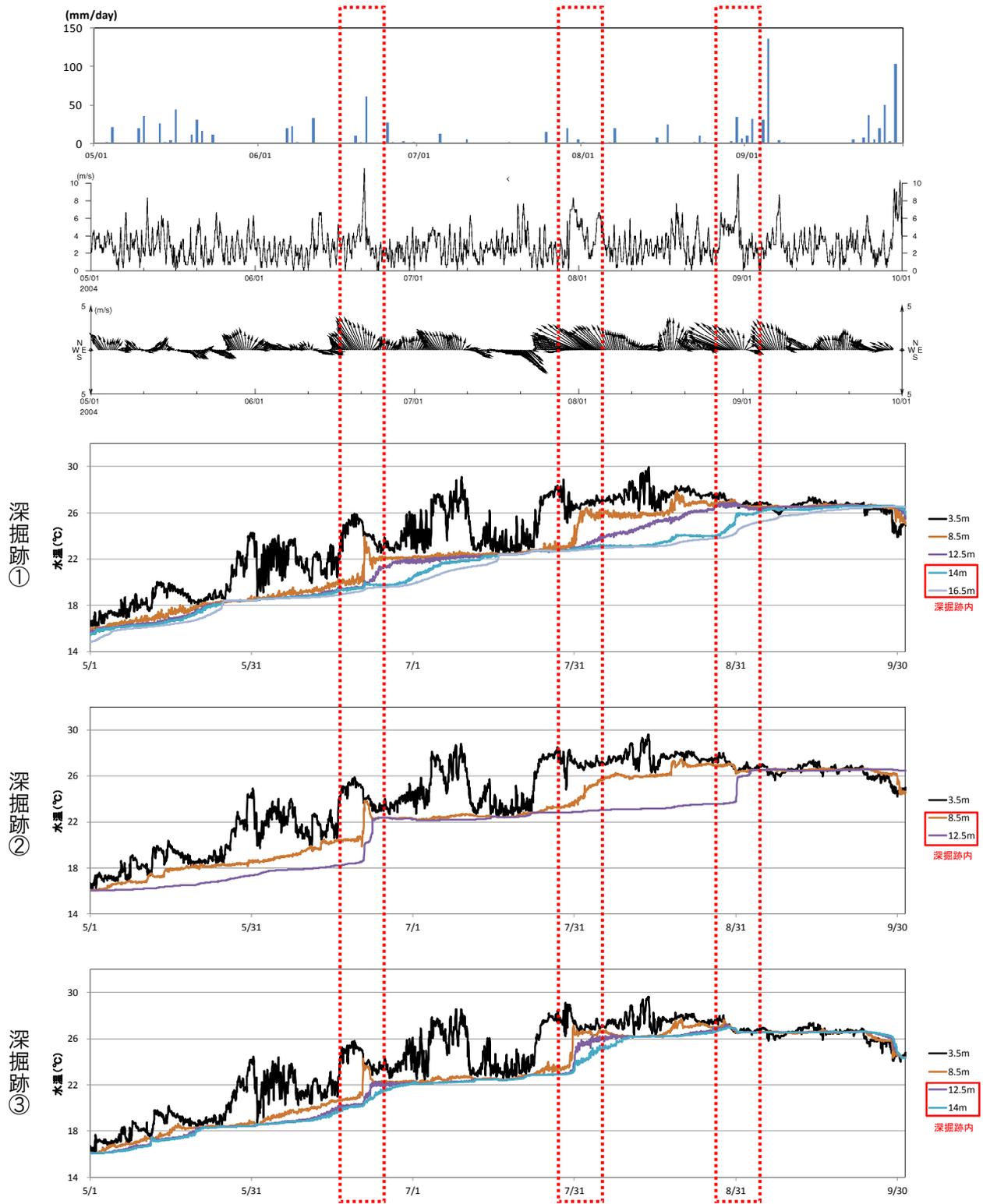


図 1.9 深掘跡内の水温の経時変化

：強風に対応して深掘跡内の低水温が上下に混合する時期

(2) 深掘跡ごとの滞留性の比較（貧酸素水を模した粒子の滞留性）

着眼点：貧酸素水・硫化水素が発生しやすい深掘跡はどこか？

1) 滞留性の比較方法

貧酸素水・硫化水素が発生しやすい深掘跡を特定するため、図 1.10 に示すように深掘跡に貧酸素水に見立てた粒子を配置し、この粒子が深掘跡内に何日間留まるのかという視点で計算を実施した。なお配置する粒子数は深掘跡の容積 1 万  $\text{m}^3$  あたり約 25 個とした。

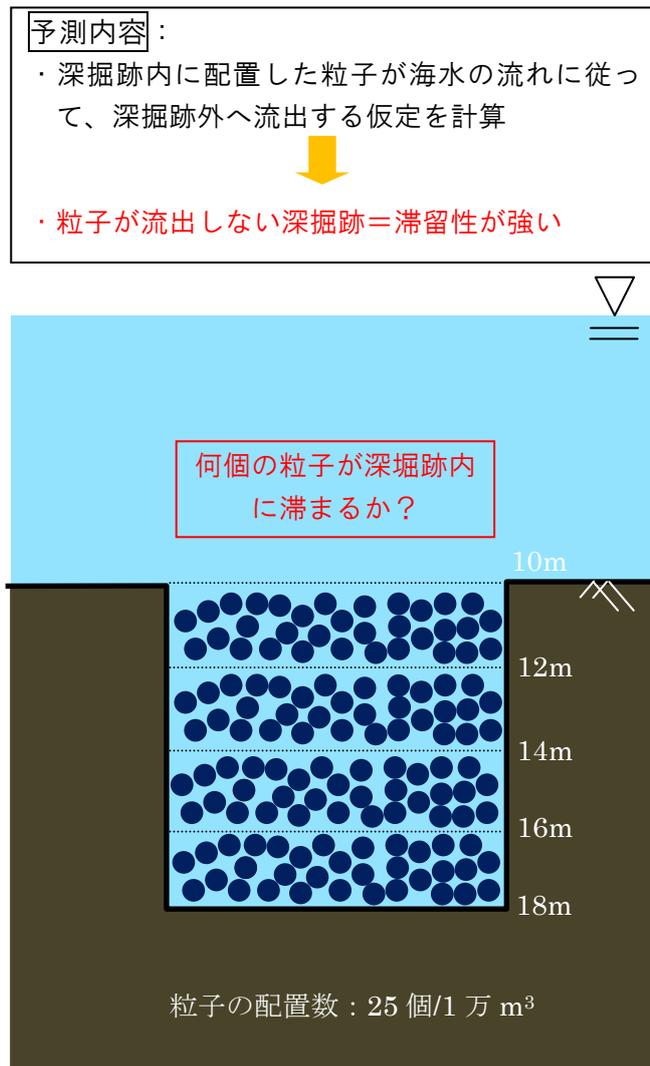


図 1.10 深掘跡の滞留性の強さの予測評価の方法

計算にあたっては、深掘跡内に粒子を配置する日時を例として5月1日とすると、その後15日間の計算を実施し、配置した粒子が15日間に深掘跡内から流出したのか、それとも深掘跡内に滞留・停滞したのかを整理した。表1.2に示すように、計算は貧酸素化が発生する可能性がある全10期間、10ケース実施した。

## 2) 滞留性の比較結果

この10期間において、計算初期に配置した粒子のうち、15日後も深掘跡地内に滞留・停滞した粒子の割合を表1.2に示す。これら数値の元データとなった計算結果を図1.11に示す。深掘跡③は他の深掘跡に比較すると滞留する個数の割合が少ない。すなわち深掘跡③は比較的海水の交換がよい場所であると推測される。逆に滞留・停滞する個数が多い深掘跡①、②では深掘跡内に海水が滞留・停滞しやすいものと推測される。一方で、深掘跡①と②では滞留する時期が必ずしも一致していないことがわかる。これは深掘跡地内の海水が滞留・停滞する時期や湧昇する時期が異なることを示しているものと考えられる。

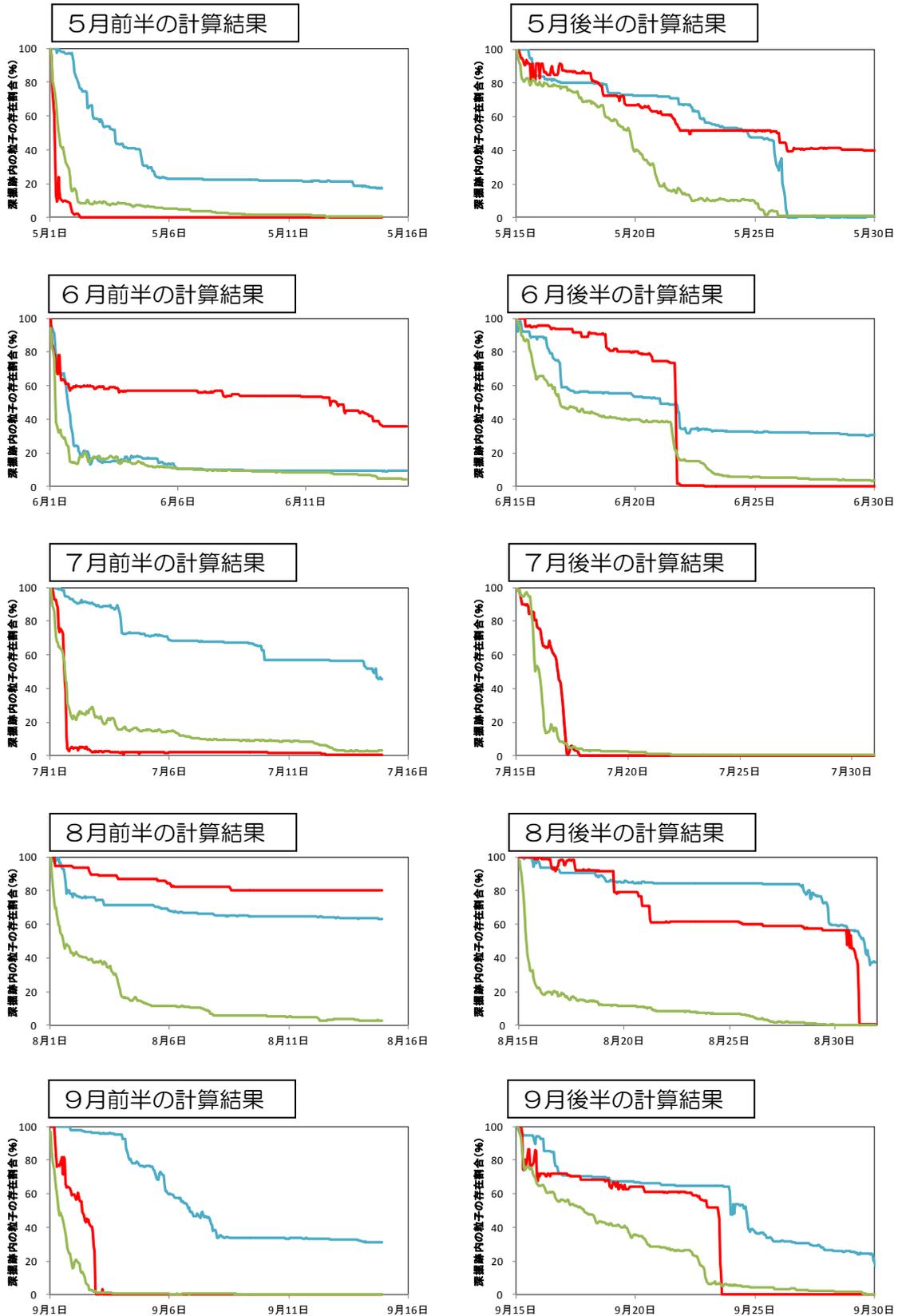
表 1.2 深掘跡ごとの滞留性の比較

	配置した粒子の深掘跡内での滞留個数の 初期値からの割合 (%)		
	深掘跡①	深掘跡②	深掘跡③
5月前半 (計算：5/1～5/14)	17	0	1
5月後半 (計算：5/15～5/30)	1	28	1
6月前半 (計算：6/1～6/14)	9	36	4
6月後半 (計算：6/15～6/30)	31	0	3
7月前半 (計算：7/1～7/14)	45	1	3
7月後半 (計算：7/15～7/31)	0	0	0
8月前半 (計算：8/1～8/14)	63	80	3
8月後半 (計算：8/15～8/31)	38	1	0
9月前半 (計算：9/1～9/14)	31	0	0
9月後半 (計算：9/15～9/30)	7	0	0
平均(%)	24	15	2

※数字が大きいほど、滞留性が高いことを表す。

着眼点：貧酸素水・硫化水素が発生しやすい深掘跡はどこか？

A. 深掘跡①がもっとも発生しやすく、ついで深掘跡②である



※粒子を配置し、その後15日間の予測を実施した。予測した期間は上図の10期間である  
 ※割合が高いことが、深掘跡内に粒子が滞留・停滞していることを表す。

図 1.11 初期値配置数に対する深掘跡内での滞留個数の割合

- 深掘跡①
- 深掘跡②
- 深掘跡③

(3) 深掘跡ごとの湧昇の時期の比較（貧酸素水を模した粒子の浅海域への到達状況）

着眼点：湧昇が生じるのはどのような時期か？

1) 湧昇時期の判定方法

深掘跡からの貧酸素水・硫化水素の湧昇（苦潮の発生）を想定し、図 1.12 に示すように深掘跡内の底上 1.0m に粒子を配置し、強風時における粒子の湧昇状況を計算し、湧昇の実態を深掘跡地毎に比較した。

計算は図 1.13 に示す 2004 年の 3 つの強風時を対象に実施した。ここで示した風速はアメダス南知多での観測結果である。計算は風速がピークとなる日時の 1 日前から開始した。

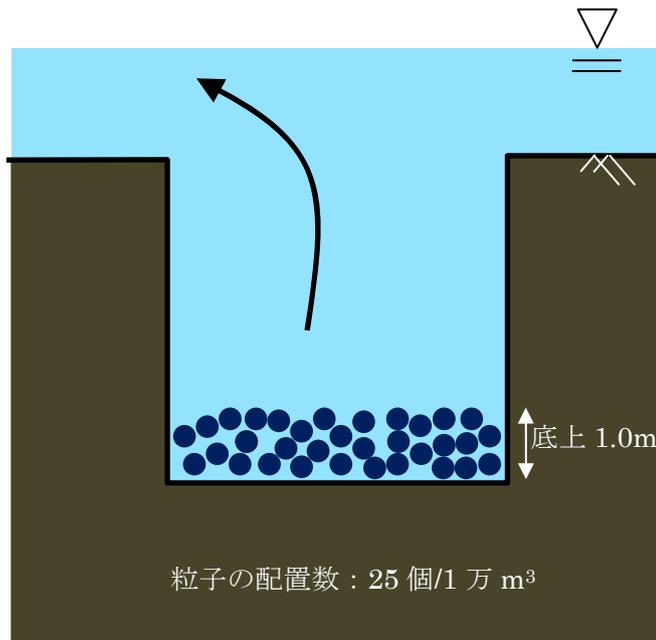


図 1.12 深掘跡からの湧昇時期の予測方法

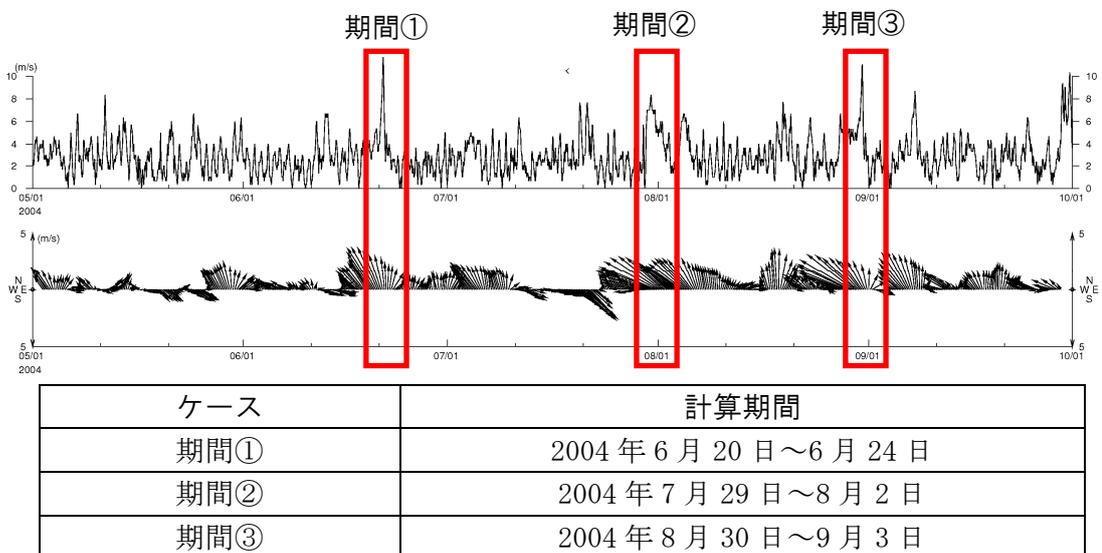


図 1.13 計算を実施した期間

## 2) 湧昇のしやすさの比較結果

図 1.14 に深掘跡内に配置した粒子が何%湧昇したのか、また何個の粒子が湧昇したのかを整理した。

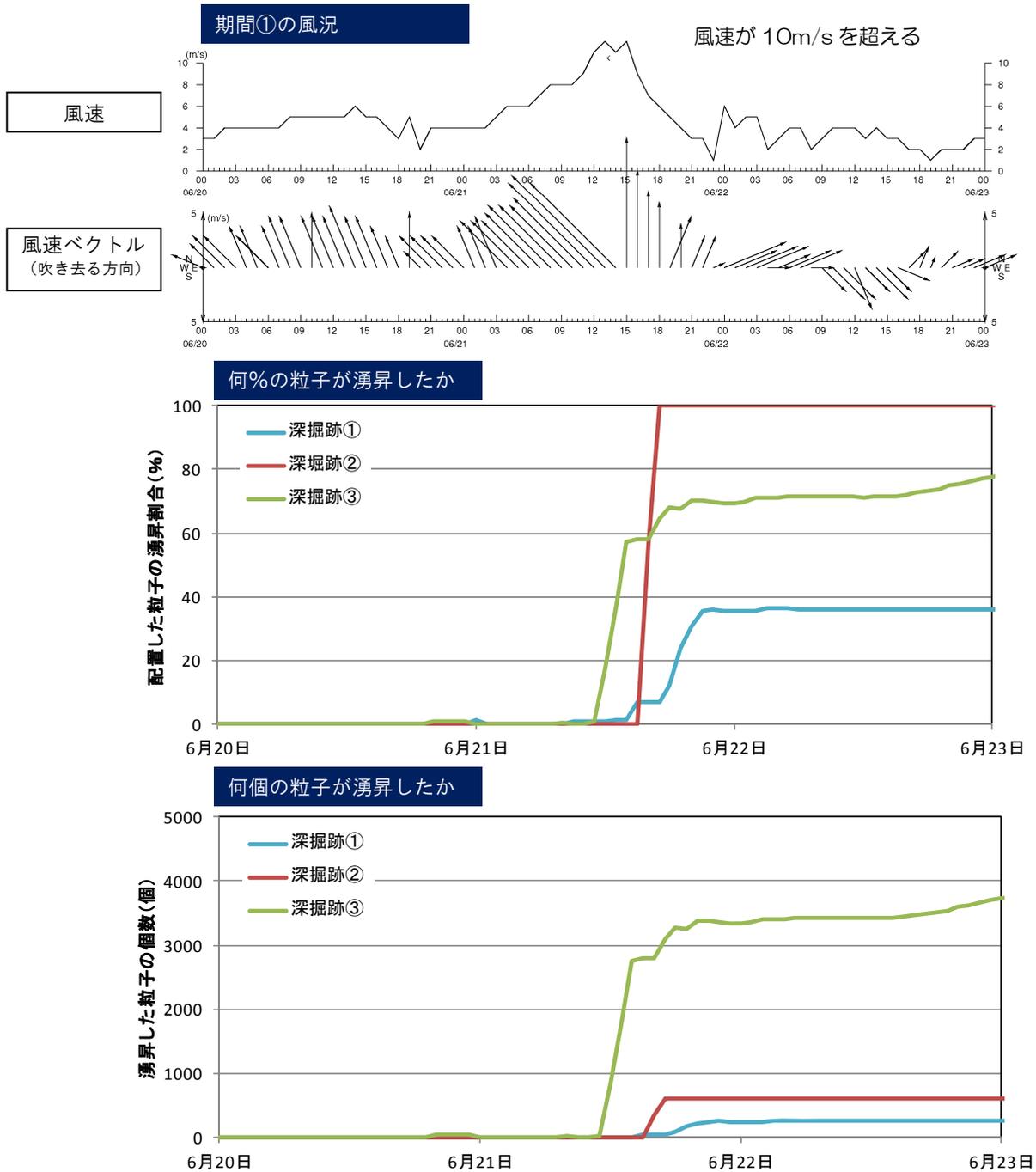


図 1.14(1) 期間①における深掘跡内に配置した粒子の湧昇状況

- ・風速が約 10m/s を超えた時点で深掘跡①では粒子の約 40%が湧昇した。
- ・このとき深掘跡②ではすべての粒子が湧昇した。
- ・深掘跡③においても湧昇が生じ、湧昇した粒子割合は約 70%であり、湧昇した粒子の個数ではもっとも多かった。

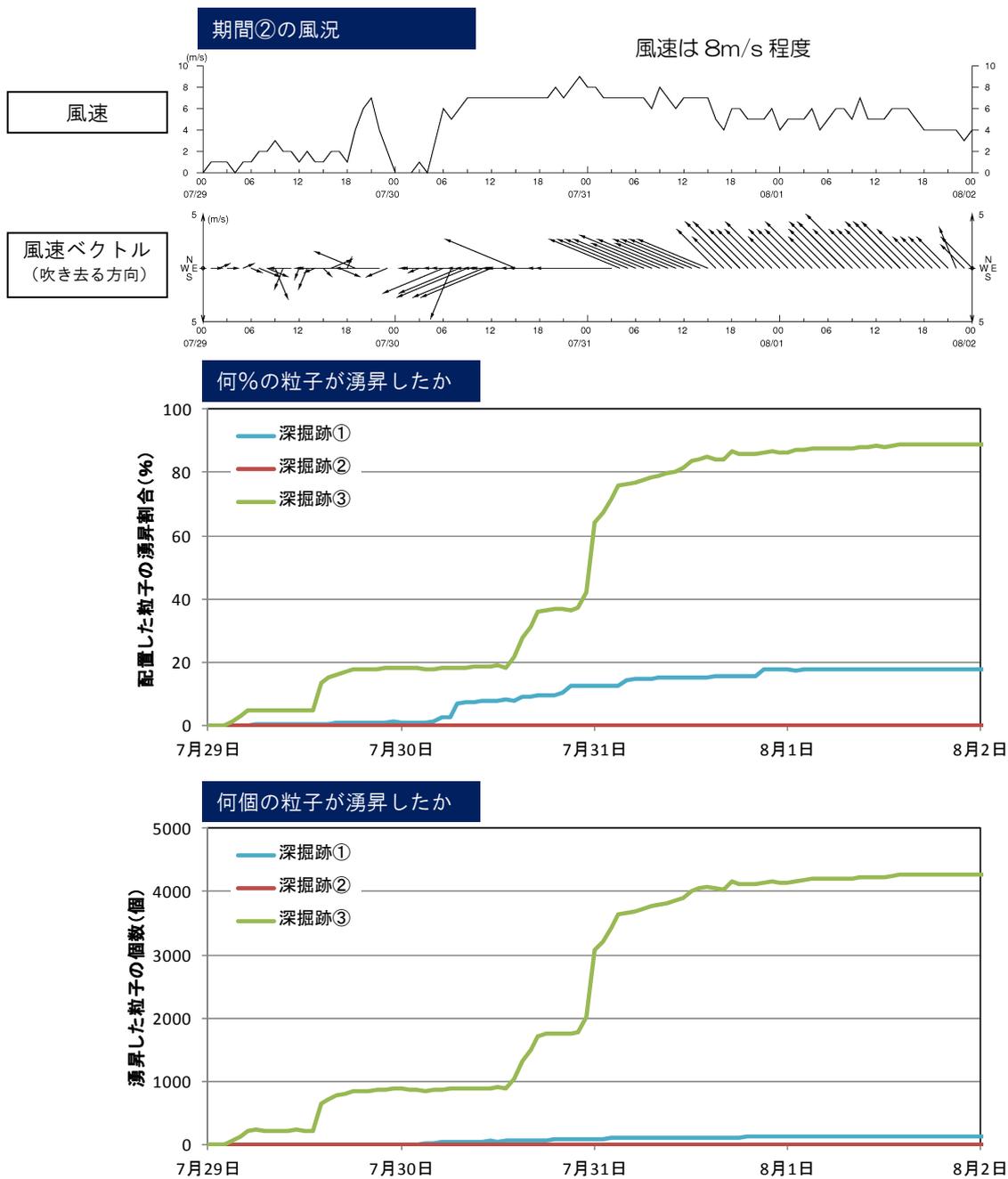


図 1.14(2) 期間②における深掘跡内に配置した粒子の湧昇状況

- 風速が約 10m/s 以下では、深掘跡①②では粒子の湧昇割合が少なくなる。
- 深掘跡③においては 10m/s 以下の風でも湧昇が生じ、期間②において湧昇した粒子割合は約 80%であった。

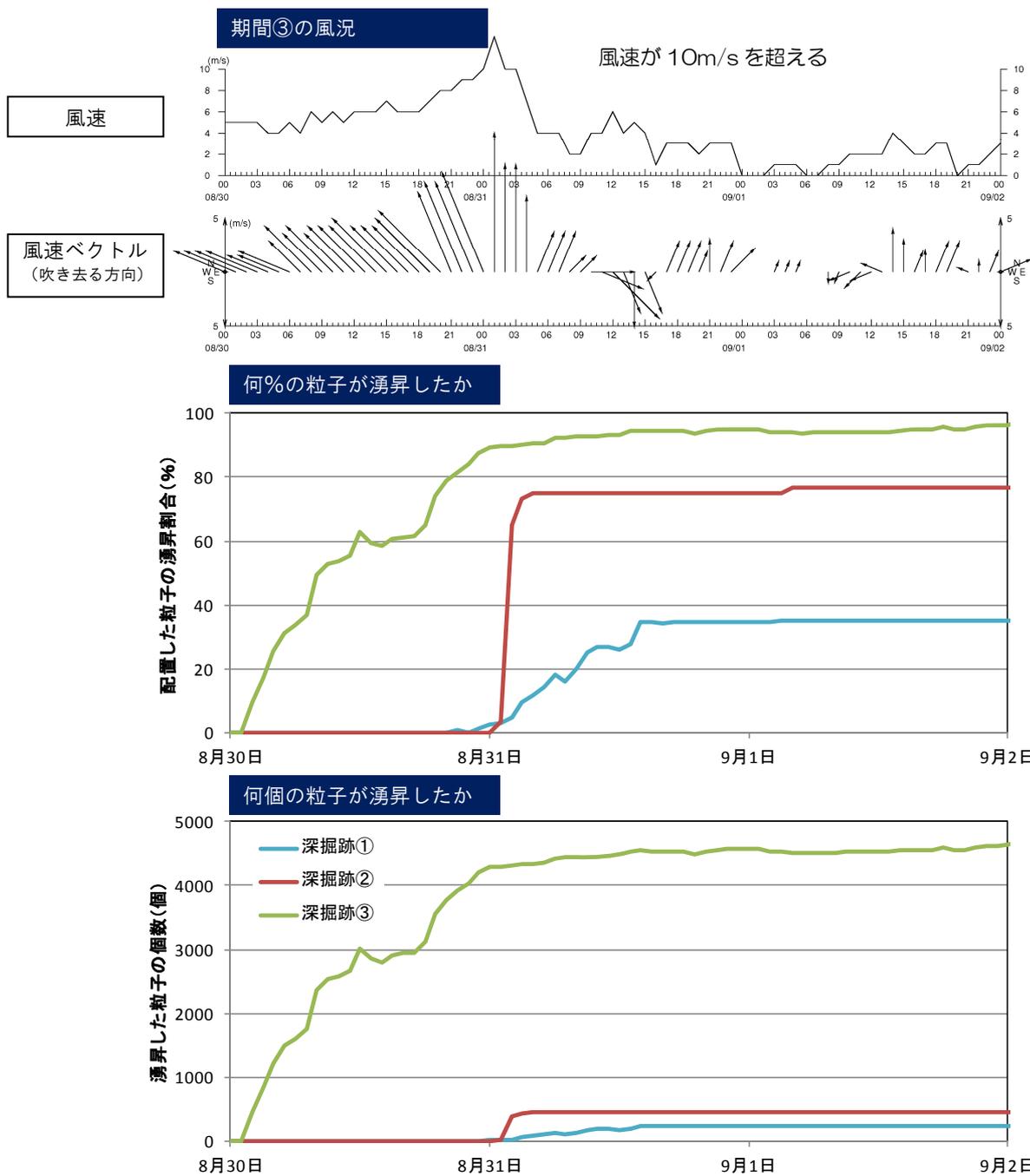


図 1.14(3) 期間③における深掘跡内に配置した粒子の湧昇状況

- ・ 期間①と同様に風速が 10m/s を超えると深掘跡①②でも湧昇が生じ、特に深掘跡②では約 80%の粒子が湧昇した。
- ・ 深掘跡③では風速がピークとなる以前より湧昇が生じており、期間①②と合わせて考えると、深掘跡③は容易に湧昇が生じると推測される。

着眼点：湧昇が生じるのはどのような時期か？

A. 夏季において深掘跡③がもっとも湧昇が発生しやすく、2004年の事例では、風速約 6m/s を超えた時点で深掘跡内の底層水が湧昇した。一方で、深掘跡①②では風速 10m/s を超えた時点で湧昇が発生すると考えられる。

(4) 湧昇した粒子の浅海域への到達場所について

湧昇した粒子の浅海域の到達場所を把握するため、前述の期間①～③について、深掘跡から湧昇した粒子が初めて水深 3m 以浅に達した地点を整理し、図 1.15 に示す。

湧昇した粒子は概ねそれぞれの深掘跡の近傍で浅海域に到達していることがわかる。

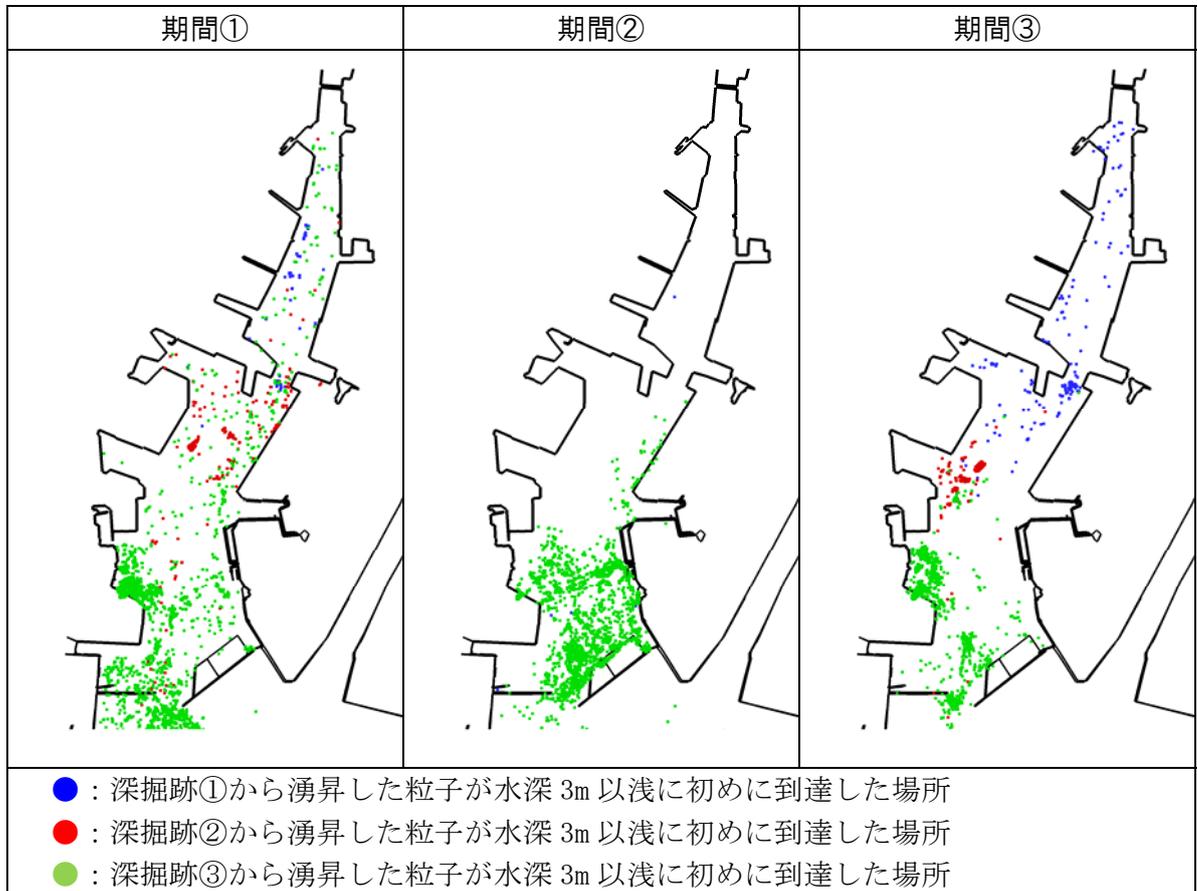


図 1.15 深掘跡から湧昇した粒子の到達場所

(5) 各深掘跡の特徴のまとめ

伊勢湾シミュレーターを用いて、明らかとなった衣浦港内の深掘跡地の特徴について表 1.3 に示す。

表 1.3 衣浦港内の深掘跡の特徴

	深掘跡①	深掘跡②	深掘跡③
深掘跡内の滞留性	高	中	低
湧昇のしやすさ	低	中	高
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 3つの深掘跡の中で貧酸素水・硫化水素の発生はもっとも顕著であると推測される。</li> <li>◇ 原地盤と深掘内の高低差があるため、湧昇の頻度は少ないが、風速が 10m/s を超える強風時には湧昇が生じる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 深掘跡①ほどではないが、深掘跡内の滞留性は高く、貧酸素水・硫化水素の発生であると顕著と推測される。</li> <li>◇ 湧昇の頻度は少ないが、風速が 10m/s を超える強風時には湧昇が生じる。また湧昇が生じた場合、他の深掘跡に比べ、湧昇の速度が速く深掘跡内の底層水は短時間にすべて湧昇する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 他の深掘跡に比べると海水の交換性が高く、他に比べ貧酸素化の規模は小さいものと推測される。</li> <li>◇ その反面、他の深掘跡では湧昇が生じないような風速でも深掘跡内の海水が浅海域へ湧昇する可能性がある。</li> </ul>
特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 湧昇の頻度は少ないが、湧昇時の影響は大きい。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 湧昇の頻度は多いが、1回の湧昇の影響は小さい。</li> </ul>

解析に用いたアメダス南知多での風速が 6m/s を超えた日数、および 10m/s を超えた日数を表 1.4 に示すが、風速が 6m/s を超える頻度は 7~9 月の 3 カ月間に 20 日程度存在し、10m/s を超える頻度も数日存在していることから、衣浦港での深掘跡においても毎年、湧昇が生じている可能性がある。

表 1.4 夏季 (7~9 月) において風速が 6m/s および 10m/s を超えた日数

	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
風速が 6m/s を超えた日数	11	21	19	20	24	20	20
風速が 10m/s を超えた日数	2	2	1	1	6	2	4