

### 3-6 水質への影響の予測と評価

#### 3-6-1 予測の概要

今回計画が水質に及ぼす影響を予測するため、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）および全リン（T-P）を汚濁指標として、現況と将来において数値シミュレーションを行った。また、予測項目は表 3-6-1 に示すとおりとし、図 3-6-1 に示すフローにしたがって予測を行った。なお、予測対象範囲は潮流と同じとする。

表 3-6-1 予測項目

予測項目	現況 (2017年度)	将来(2030年代前半)	
		既定計画	今回計画
夏季(6月~8月)	○	○	○
冬季(12月~2月)	○	○	○

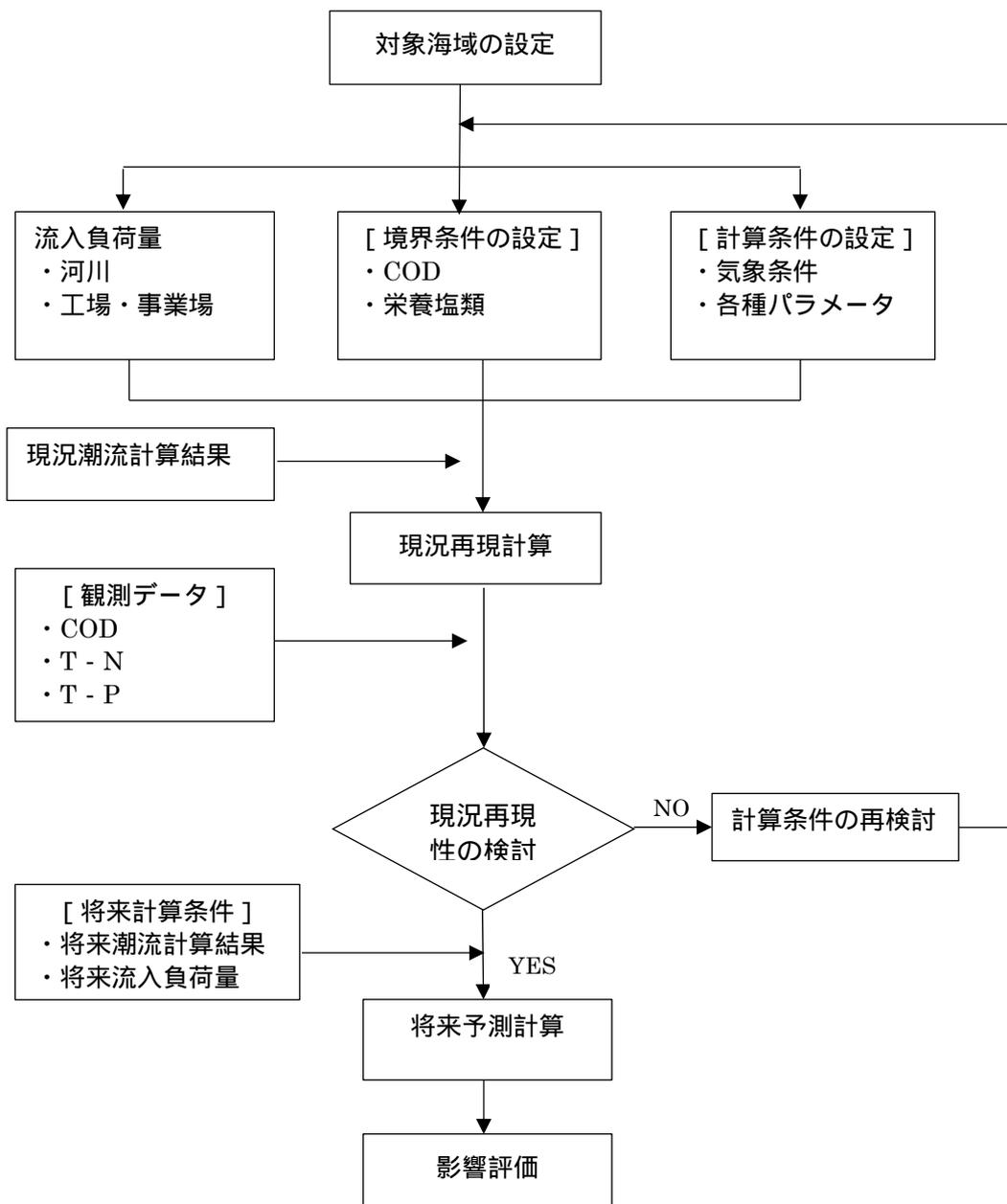


図 3-6-1 水質の予測手順

### 3-6-2 モデルの概要

水質再現計算に採用したモデルは、内湾や湖沼の富栄養化を表現する低次生態系モデル(図 3-6-2 参照)を用い、植物プランクトン、動物プランクトン、懸濁態有機物、溶存態有機物、無機態窒素、無機態リンおよび溶存酸素で構成される低次生態系の物質循環を計算するものである。モデルは、物理過程と生物化学過程の相互作用を輸送方程式で表した次式が基礎式となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla)C - (w + w_p) \frac{\partial C}{\partial z} + [\nabla \cdot (K_H \nabla)]C + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \pm \sum B_i + q \quad (10)$$

ここで、 $C$  はプランクトンや栄養塩等の生態系構成要素の現存量、 $v$ 、 $w$  は流れの水平および鉛直速度成分、 $\nabla$  は水平傾度、 $K_H$ 、 $K_z$  は水平および鉛直渦拡散係数、 $\pm \sum B_i$  は生物化学過程、 $q$  は系外からの供給(流入汚濁負荷、底泥溶出等)である。生物化学過程は、実験や経験法則に基づいて定式化したものを適用した。懸濁態の有機物コンパートメントは、デトリタスの沈降、動物プランクトンの上下移動など鉛直方向の輸送速度  $w_p$  を有している。

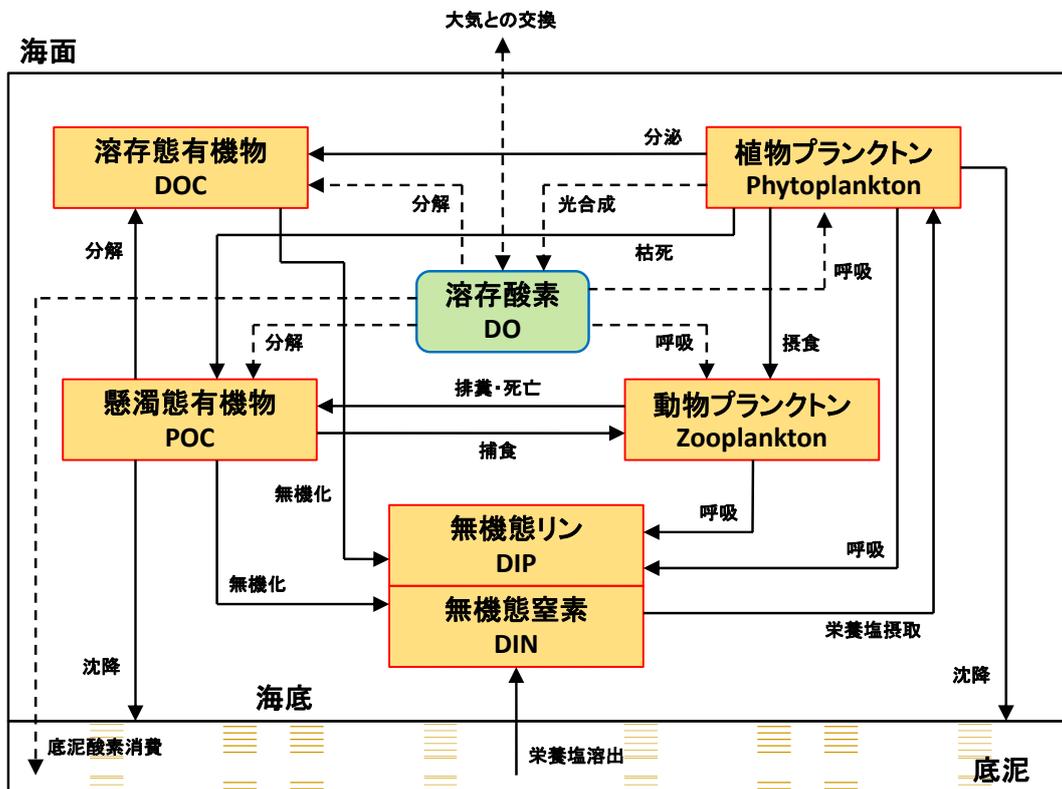


図 3-6-2 低次生態系モデルの概念図

モデルの構成要素は、表 3-6-2 に示した項目により物質循環を計算する。最終的に予測する項目は、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）および全リン（T-P）とする。

表 3-6-2 モデルの構成要素

記号	定義	単位
Phyto	植物プランクトン	mgC/m <sup>3</sup>
Zoo	動物プランクトン	mgC/m <sup>3</sup>
POC	懸濁態有機物（デトリタス）	mgC/m <sup>3</sup>
DOC	溶存態有機物	mgC/m <sup>3</sup>
DIP	無機態リン（リン酸態リン）	μmol/l
DIN	無機態窒素（NH <sub>4</sub> +NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> ）	μmol/l
DO	溶存酸素	mg/l

### 3-6-3 計算条件

水質予測の計算条件は表 3-6-3～表 3-6-6 に示すとおりである。

表 3-6-3 計算条件

項目		計算条件
対象年度	現況	2017 年度
	将来	2030 年代前半
計算領域	酒田港内及び周辺海域	
計算期間	夏季（6月～9月）、冬季（12月～2月）	
タイムステップ	40 秒	
鉛直層区分	潮流と同じ 6 層	
境界条件	外海に最も近い水質調査地点 St.3 における観測値を参考に、表 3-6-4 に示す値を設定した。各層の値は表層から底層まで同じ値に設定した。	
流動場	現況及び将来の潮流計算結果を流動場として用いた。	
モデルパラメータ	既存資料や過去の文献等を参考に表 3-6-5 を設定した。	

表 3-6-4 水質予測における境界値

層	植物プランクトン mgC/m <sup>3</sup>	動物プランクトン mgC/m <sup>3</sup>	デトリタス mgC/m <sup>3</sup>	溶存態有機物 mgC/m <sup>3</sup>	DIP μg/l	DIN μg/l	DO mg/l
夏季	30.0	3.0	103.7	410.1	13.0	20.0	7.3
冬季	15.0	1.5	205.7	666.5	25.0	32.5	9.3

表 3-6-5(1) 生態系モデルのパラメータ (植物プランクトン)

パラメータ	単位	設定値
最大可能成長速度	1/day	0.59 exp(0.0633T)
呼吸速度	1/day	0.025 exp(0.0524T)
DIP 摂取の半飽和定数	$\mu\text{mol}/\ell$	0.1
DIN 摂取の半飽和定数	$\mu\text{mol}/\ell$	0.3
沈降速度	cm/s	0.0002
枯死速度	1/day	0.001 exp(0.0693T)
光合成の最適光量	$\text{cal}/\text{cm}^2/\text{day}$	150
C / Chl a 比	重量比	50
C / P 比	重量比	55.5
C / N 比	重量比	5.5
TOD / C 比	重量比	3.600
COD / C 比	重量比	1.38

表 3-6-5(2) 生態系モデルのパラメータ (動物プランクトン)

パラメータ	単位	設定値
最大摂食速度	1/day	0.18 exp(0.0633T)
飼料制限係数( Ivlev 指数 )	$\text{m}^3/\text{mgC}$	0.007
捕食の閾値	$\text{mgC}/\text{m}^3$	0.0
消化効率	%	70.0
総成長効率	%	30.0
基礎代謝速度	1/day	0.0214 exp(0.0637T)
死亡速度	1/day	0.04 exp(0.0693T)
C / P 比	重量比	50.0
C / N 比	重量比	6.0
TOD / C 比	重量比	3.310
COD / C 比	重量比	1.46

表 3-6-5(3) 生態系モデルのパラメータ (その他)

パラメータ	単位	設定値
光消散係数	1/m	0.3
懸濁態有機物の無機化速度	1/day	0.005 exp( 0.0693T )
懸濁態有機物の沈降速度	cm/s	0.0002
溶存態有機物の無機化速度	1/day	0.001 exp( 0.0693T )
分解余剰物の生成割合	%	20.0
懸濁態有機物中の		
C / P 比	重量比	93.9
C / N 比	重量比	7.2
TOD / C 比	重量比	3.010
COD / C 比	重量比	1.33
溶存態有機物中の		
C / P 比	重量比	274.0
C / N 比	重量比	10.0
TOD / C 比	重量比	2.820
COD / C 比	重量比	1.25
海面曝気係数	1/day	0.15

#### 3-6-4 流入負荷量

潮流シミュレーションと同様に、主要河川については最上川を含め 7 河川の負荷量データを設定した。化学的酸素要求量、全窒素および全リンの濃度は、公共用水域水質測定結果の平成 20 年度から 29 年度における各季節の平均値を採用して、潮流シミュレーションで設定した河川流量から負荷量を算出し、シミュレーションの入力条件とした (表 3-6-6 参照)。

また、事業場等からの排水については、潮流シミュレーションと同様に 83 地点からの負荷量を考慮した。排水濃度の記載がない事業場については、排水基準値 (COD : 120mg/ℓ, 全窒素 : 60mg/ℓ, 全リン : 8mg/ℓ) を採用して、潮流シミュレーションで設定した排水量から負荷量を算出した。

なお、工場・事業場(海域放流)は、既定計画から今回計画で減少しているが、前回の港湾計画改訂時に予定されていた工場・事業場の誘致が、想定よりも少なかったためと考えられる。

表 3-6-6(1) シミュレーションに設定したCOD負荷量(kg/日)

No.	河川名	夏季			冬季		
		現況	既定計画	今回計画	現況	既定計画	今回計画
1	最上川	104,066.9	104,066.9	104,066.9	50,935.2	50,935.2	50,935.2
2	京田川	4,755.0	4,755.0	4,755.0	2,650.2	2,650.2	2,650.2
3	日向川	4,393.6	4,393.6	4,393.6	5,736.9	5,736.9	5,736.9
4	豊川	3,308.0	3,308.0	3,308.0	2,865.2	2,865.2	2,865.2
5	新井田川	2,498.2	2,498.2	2,498.2	2,294.9	2,294.9	2,294.9
6	小牧川	192.4	192.4	192.4	200.8	200.8	200.8
7	赤川	6,672.6	6,672.6	6,672.6	9,849.0	9,849.0	9,849.0
8	工場・事業場 (海域放流)	111.2	2,516.8	111.7	111.2	2,516.8	111.7
9	工場・事業場 (河川等放流)	751.3	751.3	751.3	751.3	751.3	751.3

表 3-6-6(2) シミュレーションに設定した全窒素負荷量(kg/日)

No.	河川名	夏季			冬季		
		現況	既定計画	今回計画	現況	既定計画	今回計画
1	最上川	24,750.7	24,750.7	24,750.7	24,110.8	24,110.8	24,110.8
2	京田川	1,642.7	1,642.7	1,642.7	1,158.5	1,158.5	1,158.5
3	日向川	647.1	647.1	647.1	2,404.5	2,404.5	2,404.5
4	豊川	487.2	487.2	487.2	1,200.9	1,200.9	1,200.9
5	新井田川	1,010.5	1,010.5	1,010.5	1,833.2	1,833.2	1,833.2
6	小牧川	32.7	32.7	32.7	73.7	73.7	73.7
7	赤川	2,305.2	2,305.2	2,305.2	4,305.4	4,305.4	4,305.4
8	工場・事業場 (海域放流)	427.1	636.2	427.4	427.1	636.2	427.4
9	工場・事業場 (河川等放流)	176.7	176.7	176.7	176.7	176.7	176.7

表 3-6-6(3) シミュレーションに設定した全リン負荷量(kg/日)

No.	河川名	夏季			冬季		
		現況	既定計画	今回計画	現況	既定計画	今回計画
1	最上川	1,132.9	1,132.9	1,132.9	869.7	869.7	869.7
2	京田川	70.0	70.0	70.0	42.5	42.5	42.5
3	日向川	84.9	84.9	84.9	303.7	303.7	303.7
4	豊川	63.9	63.9	63.9	151.7	151.7	151.7
5	新井田川	62.6	62.6	62.6	171.1	171.1	171.1
6	小牧川	6.0	6.0	6.0	17.5	17.5	17.5
7	赤川	98.2	98.2	98.2	157.8	157.8	157.8
8	工場・事業場 (海域放流)	85.0	126.5	85.1	85.0	126.5	85.1
9	工場・事業場 (河川等放流)	60.4	60.4	60.4	60.4	60.4	60.4

### 3-6-5 現況再現性の検討

#### 1) 水質項目の比較

水質調査地点におけるCOD、全窒素および全リンのシミュレーション結果の再現性について検討した。現地調査の各地点における現況調査結果と現況再現値の比較を行った。

水質調査地点を図3-6-3に、現況調査結果と現況再現値の比較を表3-6-7に示した。

現況調査結果と現況再現値を比較すると、現況再現値はほぼ現況調査結果と同レベルであり、現況の再現性は概ね良好であると判断される。

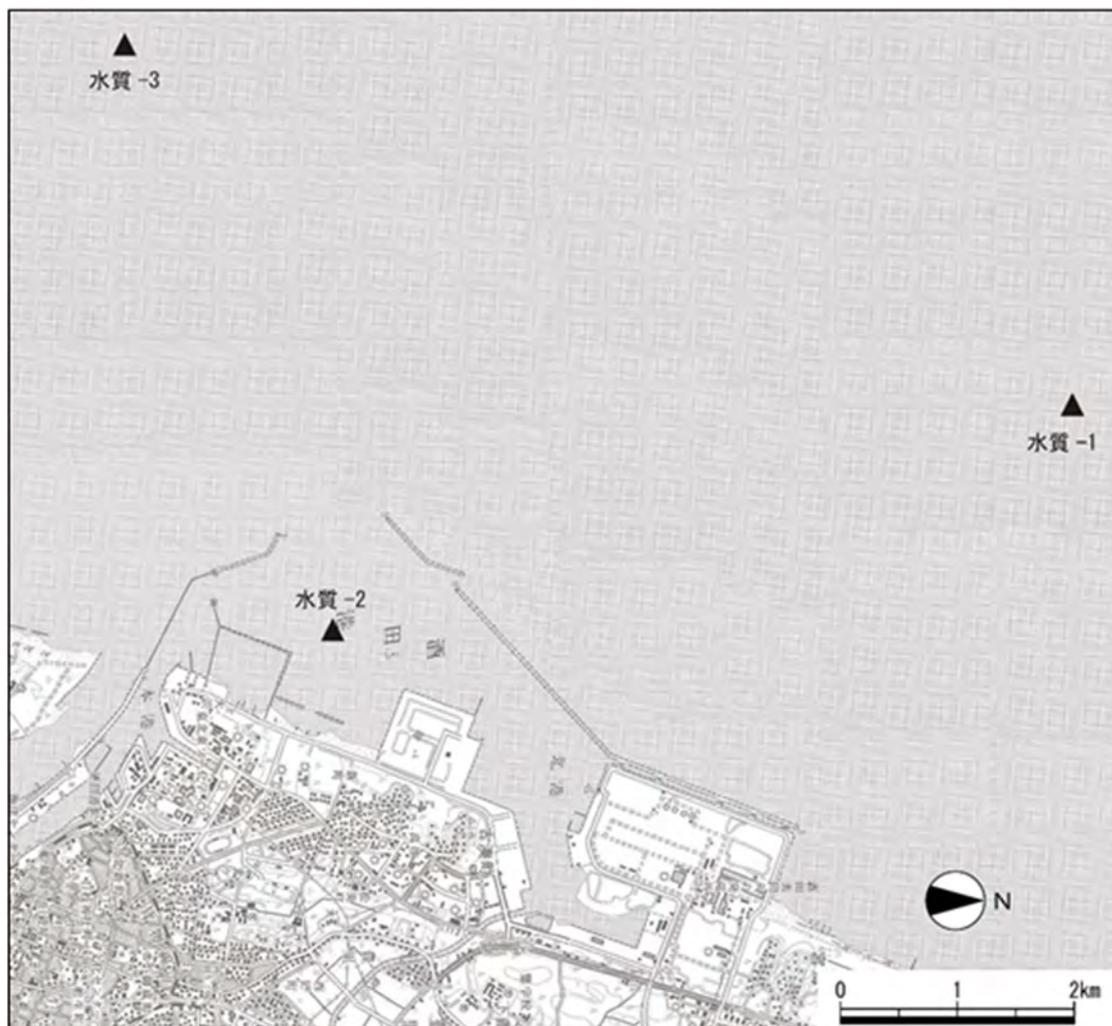


図3-6-3 水質調査地点

表 3-6-7(1) 現況調査結果と現況再現値の比較(COD)

単位：mg/l

調査地点	時季	現況調査結果			現況再現 (計算値)
		最小値	最大値	平均値	
水質-1	夏季	1.0	1.7	1.4	1.2
	冬季	1.1	1.3	1.2	1.2
水質-2	夏季	1.0	2.6	1.8	1.7
	冬季	1.5	1.9	1.7	1.6
水質-3	夏季	1.2	1.3	1.3	1.2
	冬季	1.2	1.5	1.4	1.3

表 3-6-7(2) 現況調査結果と現況再現値の比較(全窒素)

単位：mg/l

調査地点	時季	現況調査結果			現況再現 (計算値)
		最小値	最大値	平均値	
水質-1	夏季	0.08	0.08	0.08	0.10
	冬季	0.09	0.14	0.12	0.14
水質-2	夏季	0.12	0.18	0.15	0.17
	冬季	0.12	0.22	0.17	0.20
水質-3	夏季	0.08	0.08	0.08	0.09
	冬季	0.12	0.13	0.13	0.14

表 3-6-7(3) 現況調査結果と現況再現値の比較(全リン)

単位：mg/l

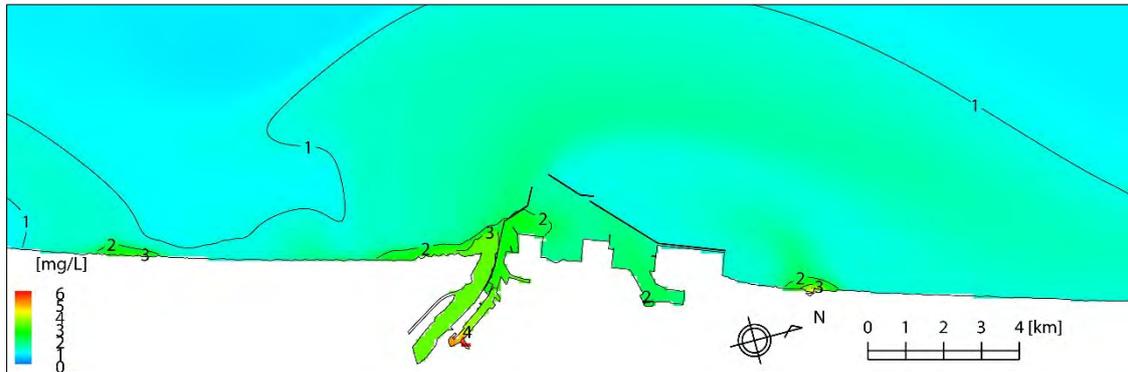
調査地点	時季	現況調査結果			現況再現 (計算値)
		最小値	最大値	平均値	
水質-1	夏季	0.020	0.021	0.021	0.019
	冬季	0.036	0.045	0.041	0.033
水質-2	夏季	0.033	0.051	0.042	0.035
	冬季	0.036	0.067	0.052	0.059
水質-3	夏季	0.025	0.026	0.026	0.023
	冬季	0.050	0.056	0.053	0.048

2) 分布図

水質シミュレーション結果より、水質調査を行った層の水平分布（計算の第1層：0～-4m、第2層：-4～-10m）を示した。

CODは図3-6-4に、全窒素は図3-6-5に、全リンは図3-6-6にそれぞれ示した。

計算範囲全体図



酒田港拡大図

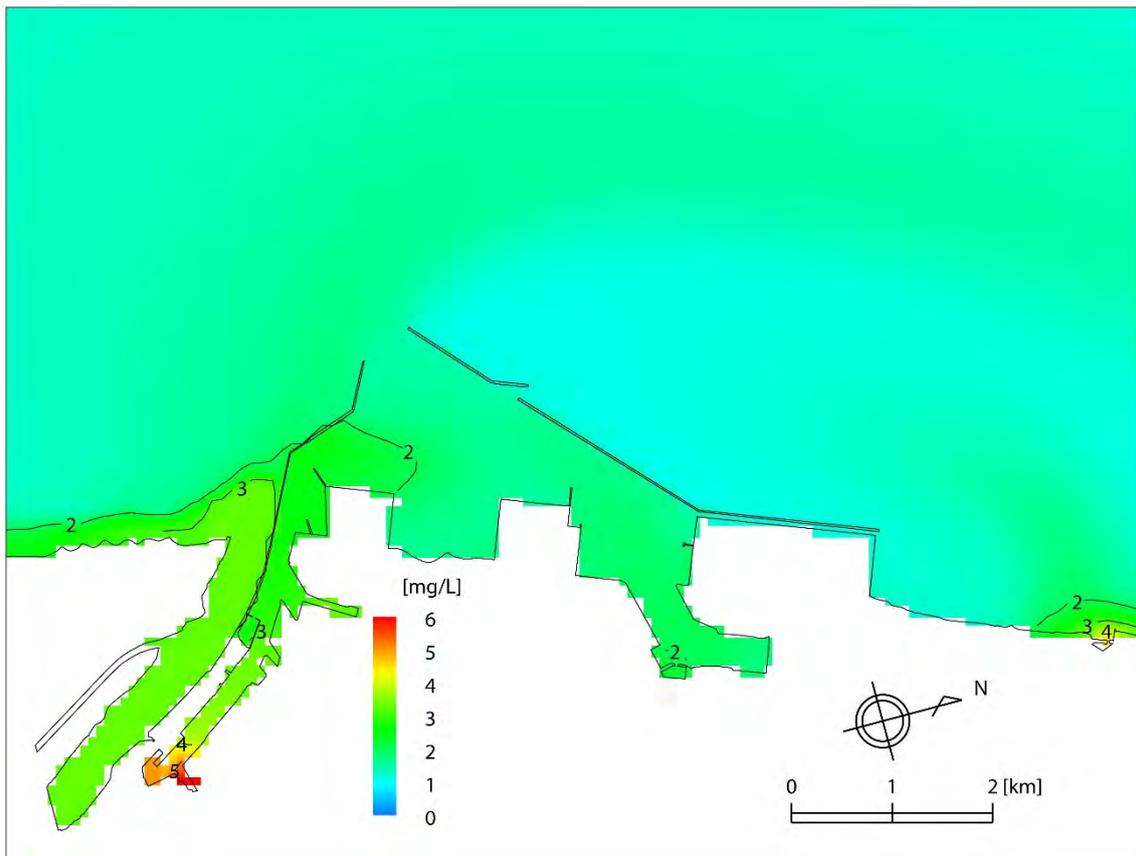
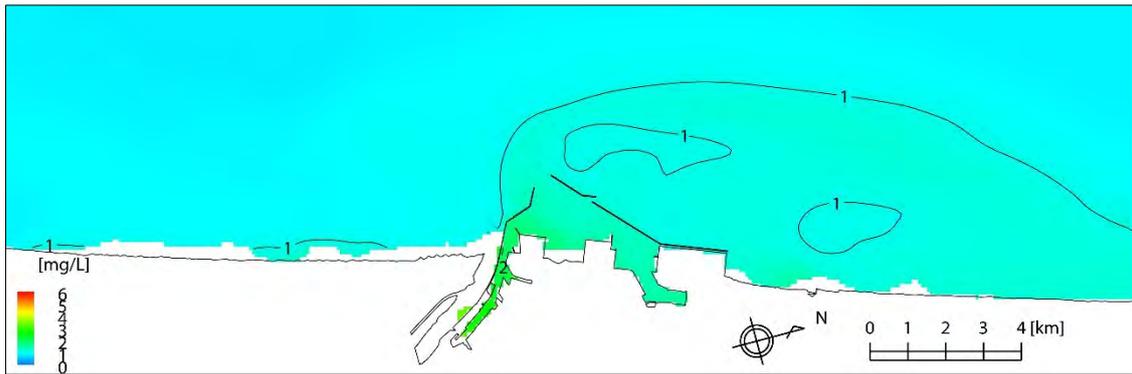


図3-6-4(1) 現況再現結果(COD：夏季、第1層：0～-4m)(日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

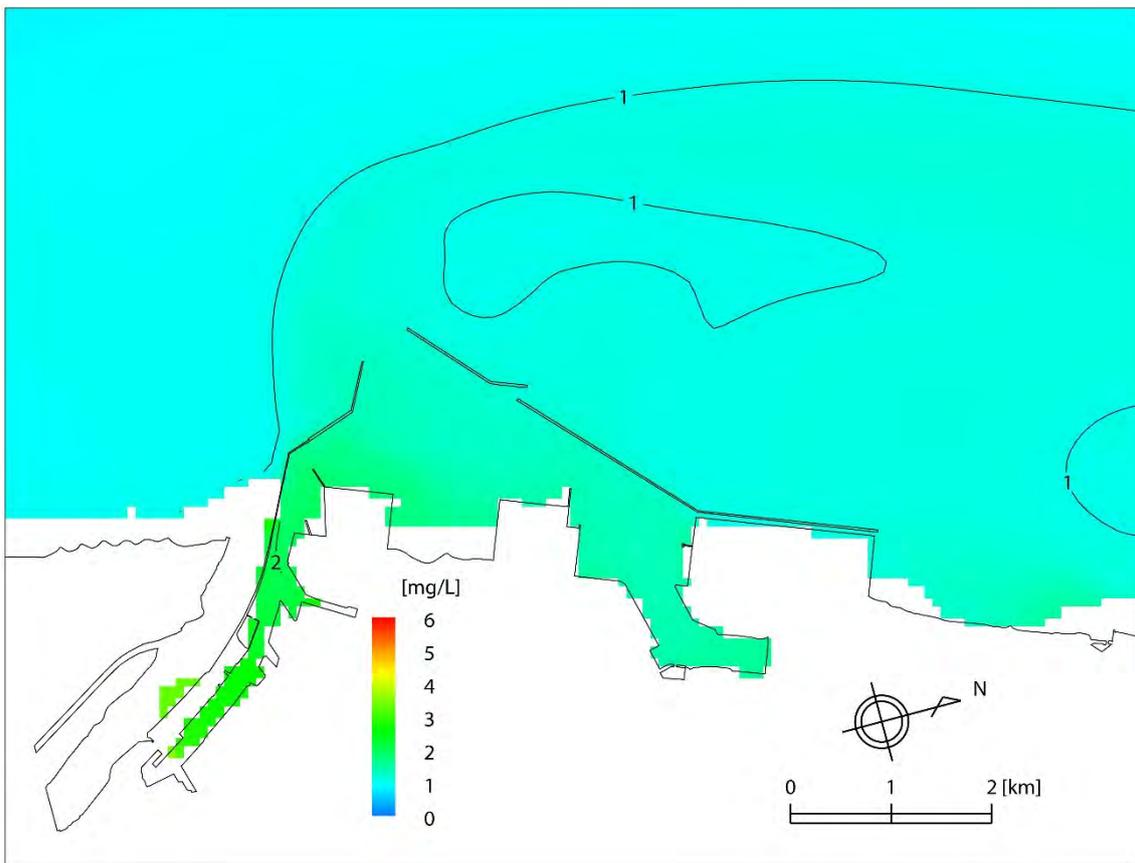
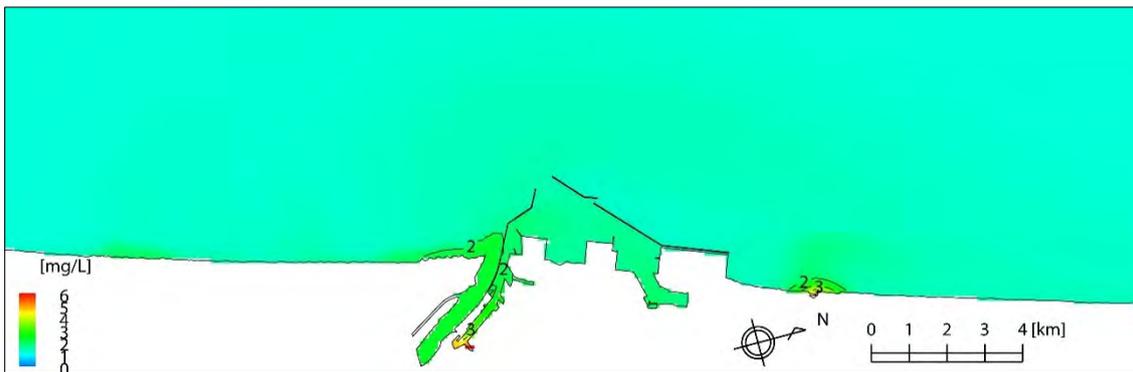


図3-6-4(2) 現況再現結果 (COD:夏季、第2層:-4~-10m)(日平均值)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

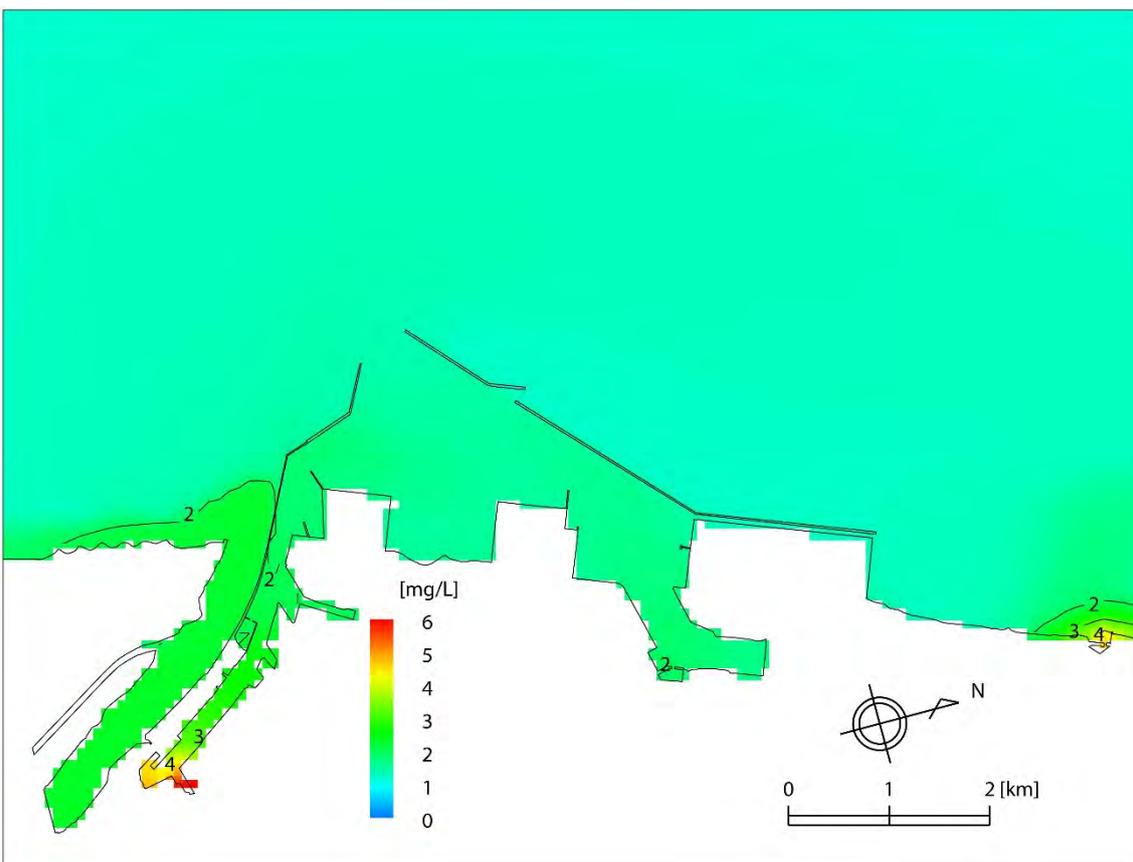
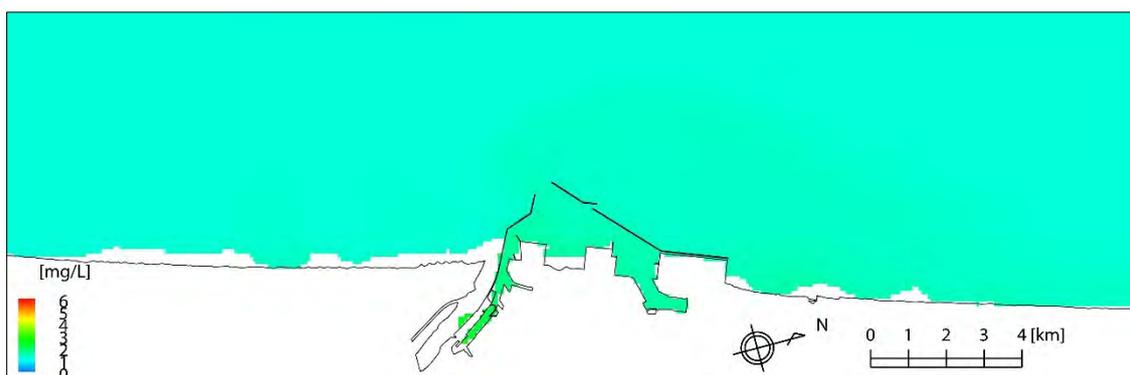


図 3-6-4(3) 現況再現結果 (COD : 冬季、第1層 : 0 ~ -4m) (日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

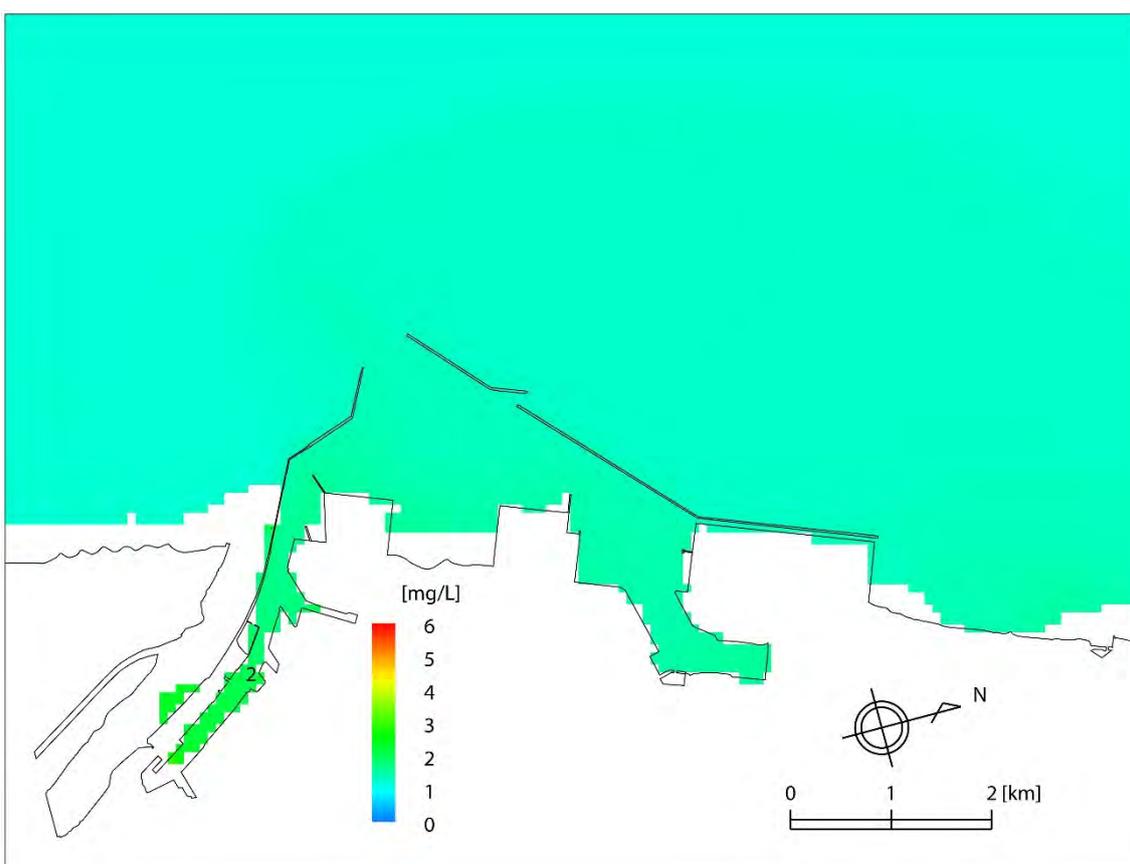
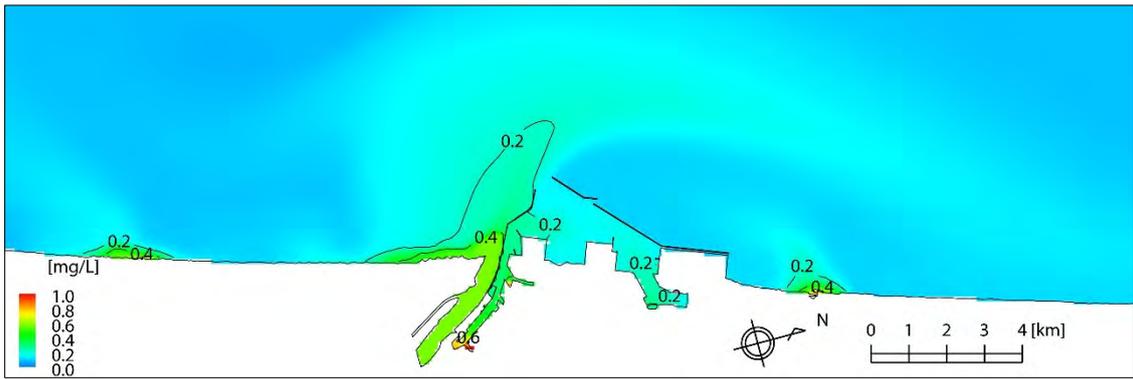


図3-6-4(4) 現況再現結果 (COD : 冬季、第2層 : -4 ~ -10m) (日平均值)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

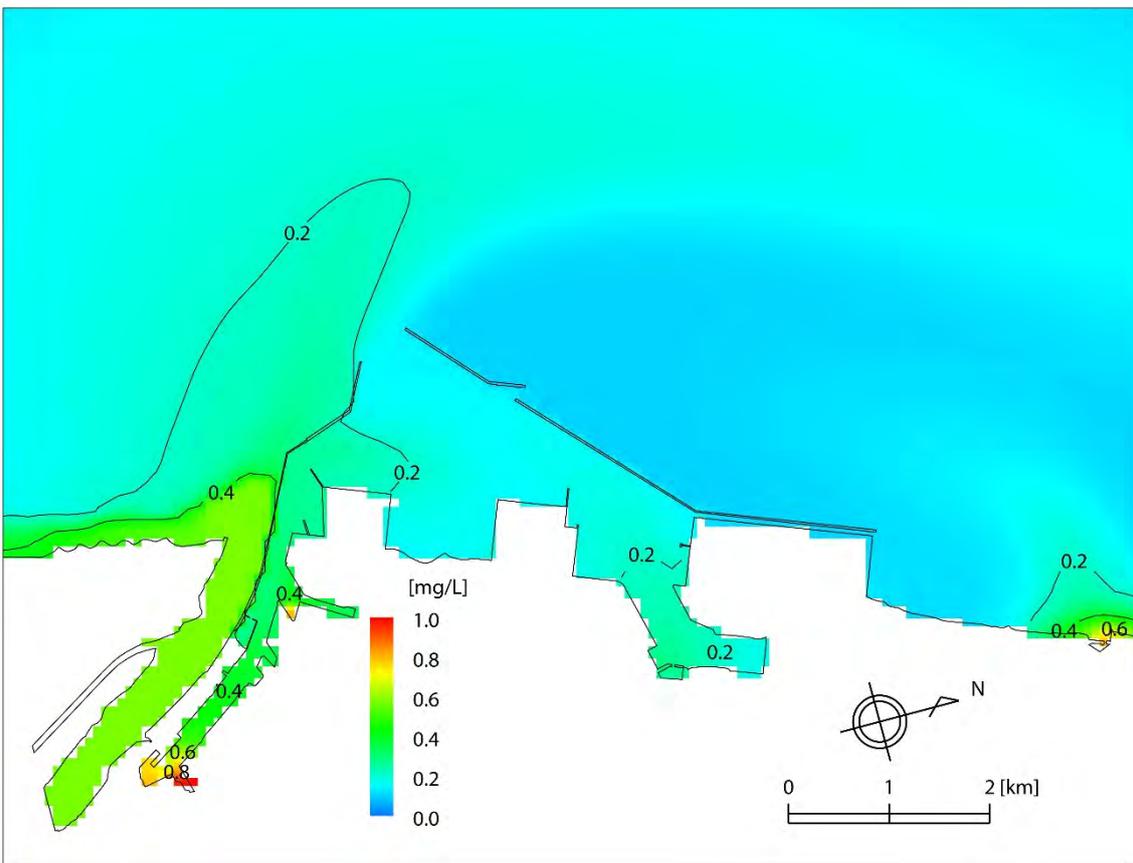
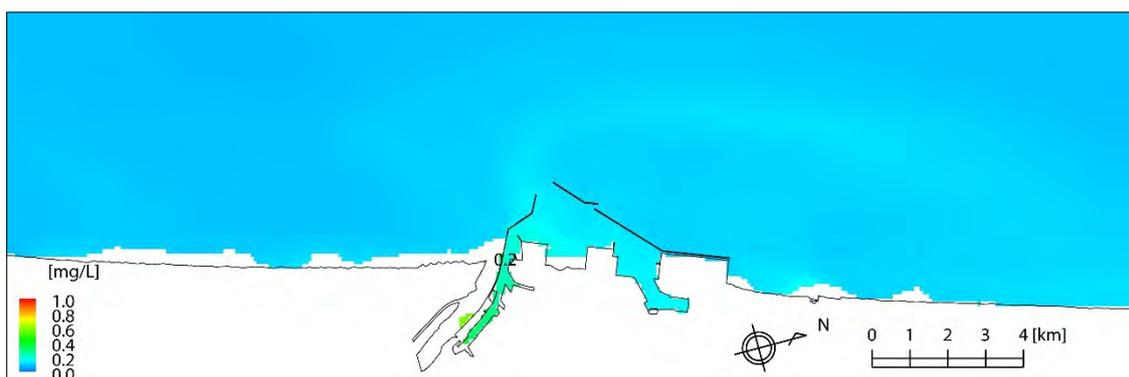


図 3-6-5(1) 現況再現結果 (全窒素：夏季、第1層：0~-4m)(日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

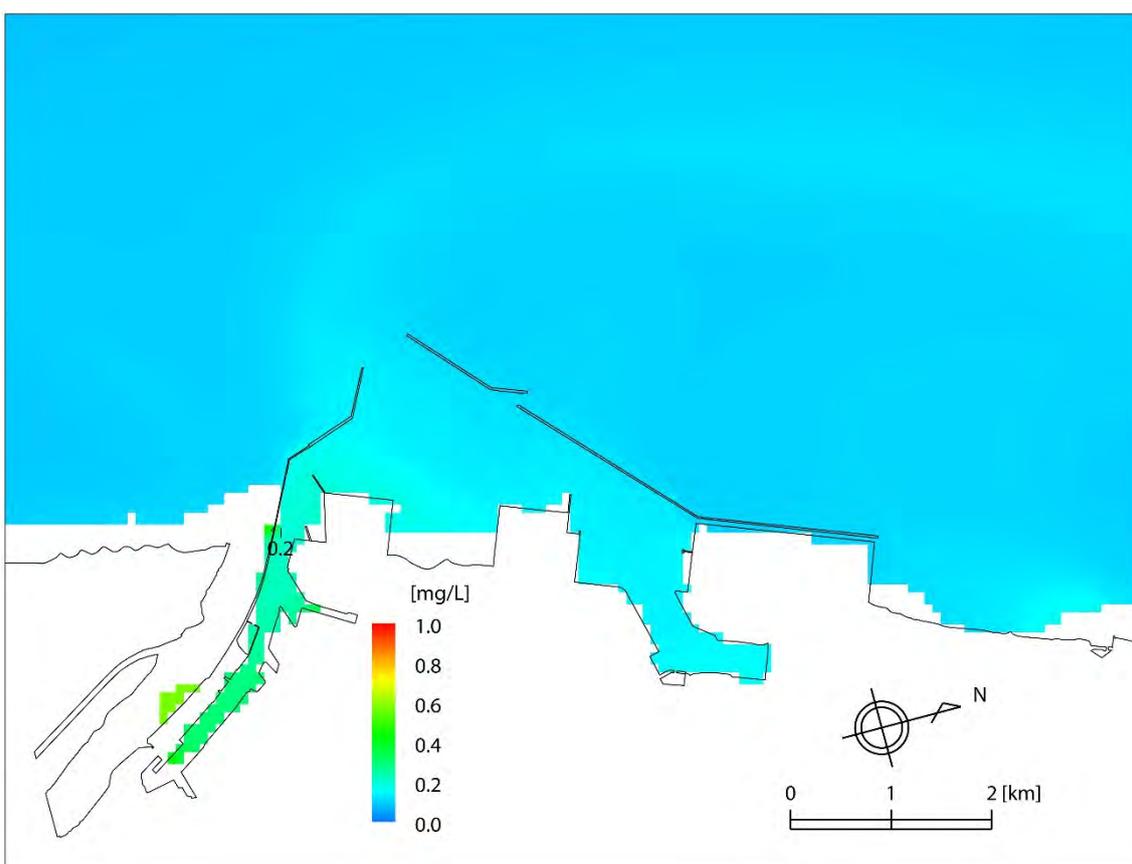
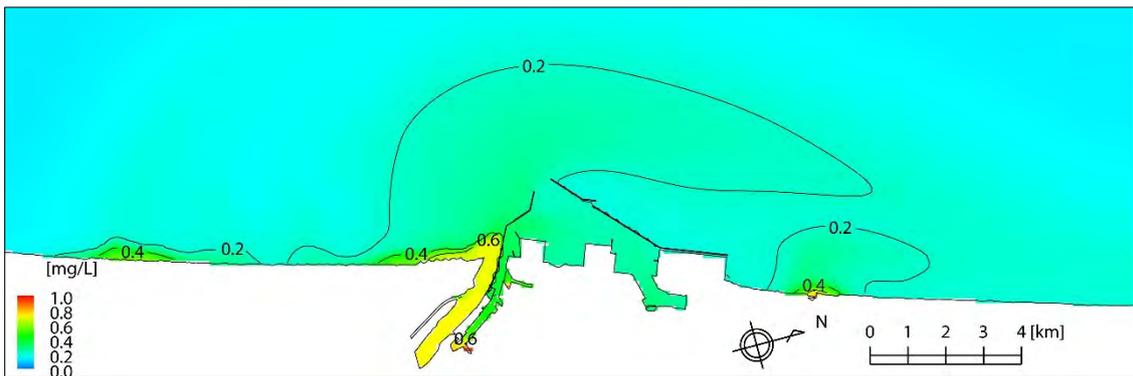


図 3-6-5(2) 現況再現結果 (全窒素：夏季、第 2 層：-4 ~ -10m)(日平均值)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

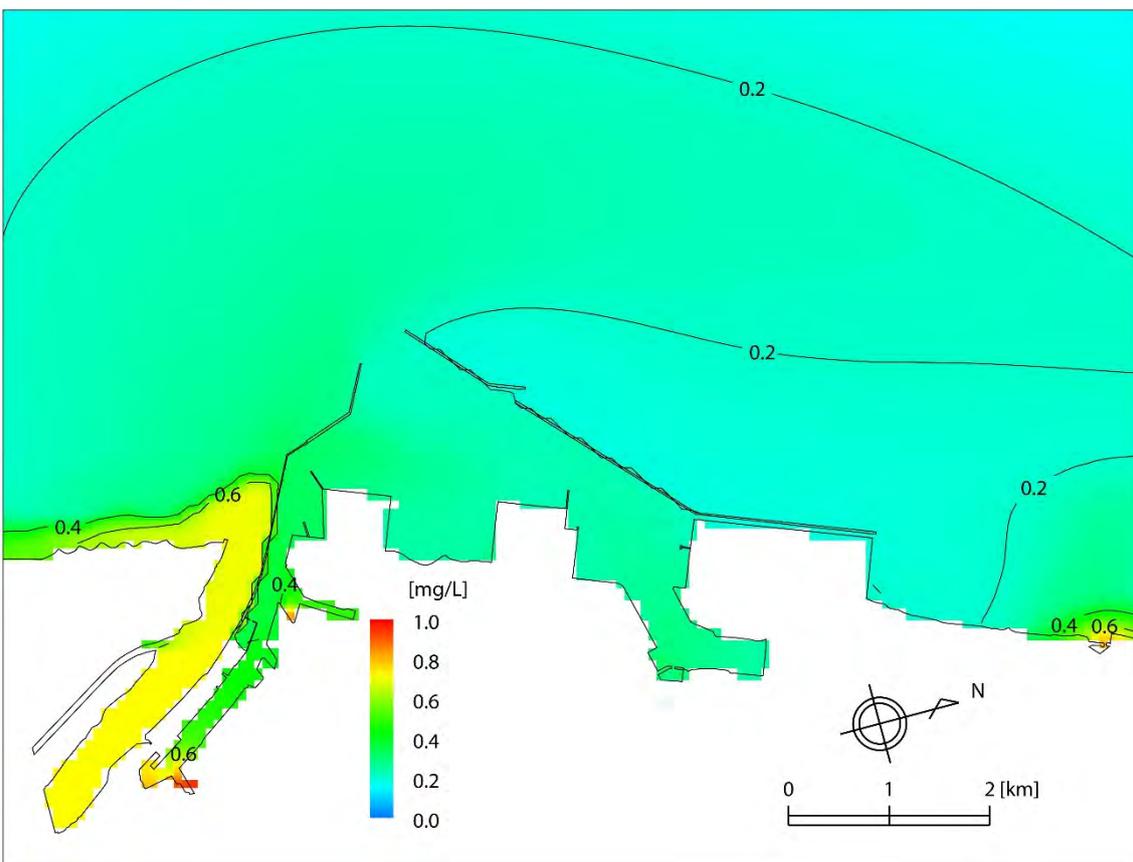
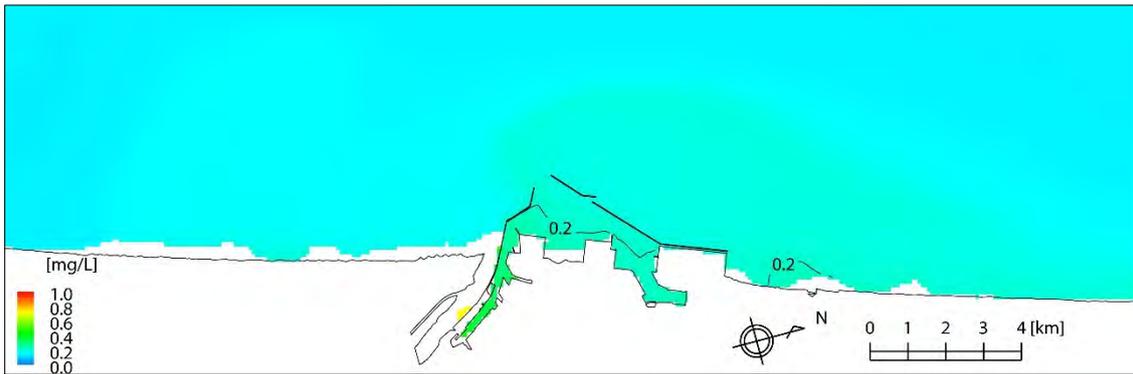


図 3-6-5(3) 現況再現結果 (全窒素：冬季、第1層：0~-4m)(日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

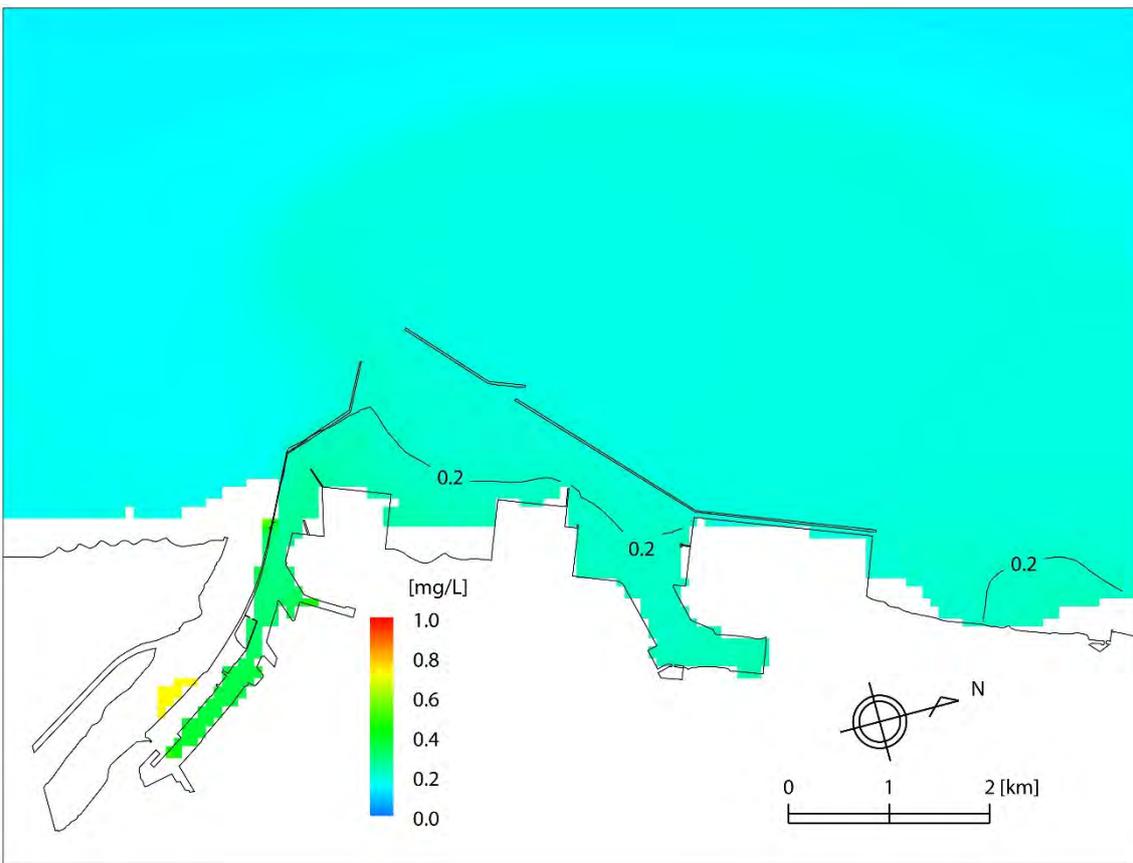
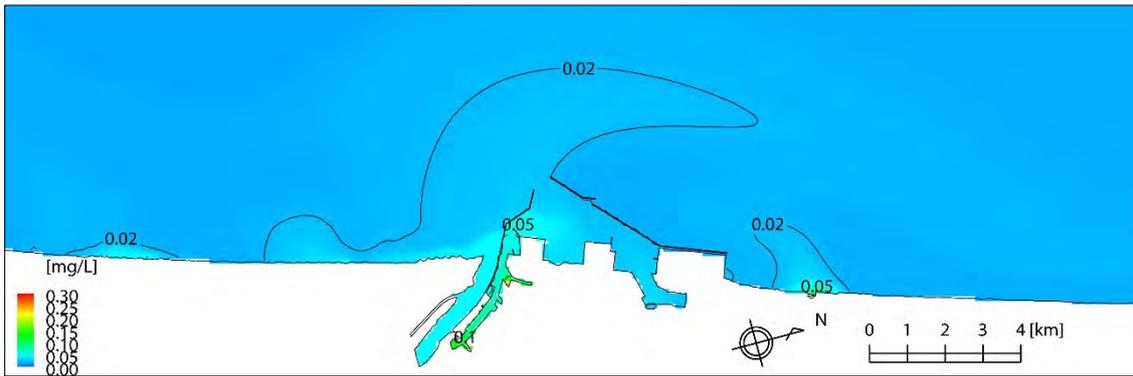


図 3-6-5(4) 現況再現結果 (全窒素：冬季、第 2 層：-4 ~ -10m)(日平均值)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

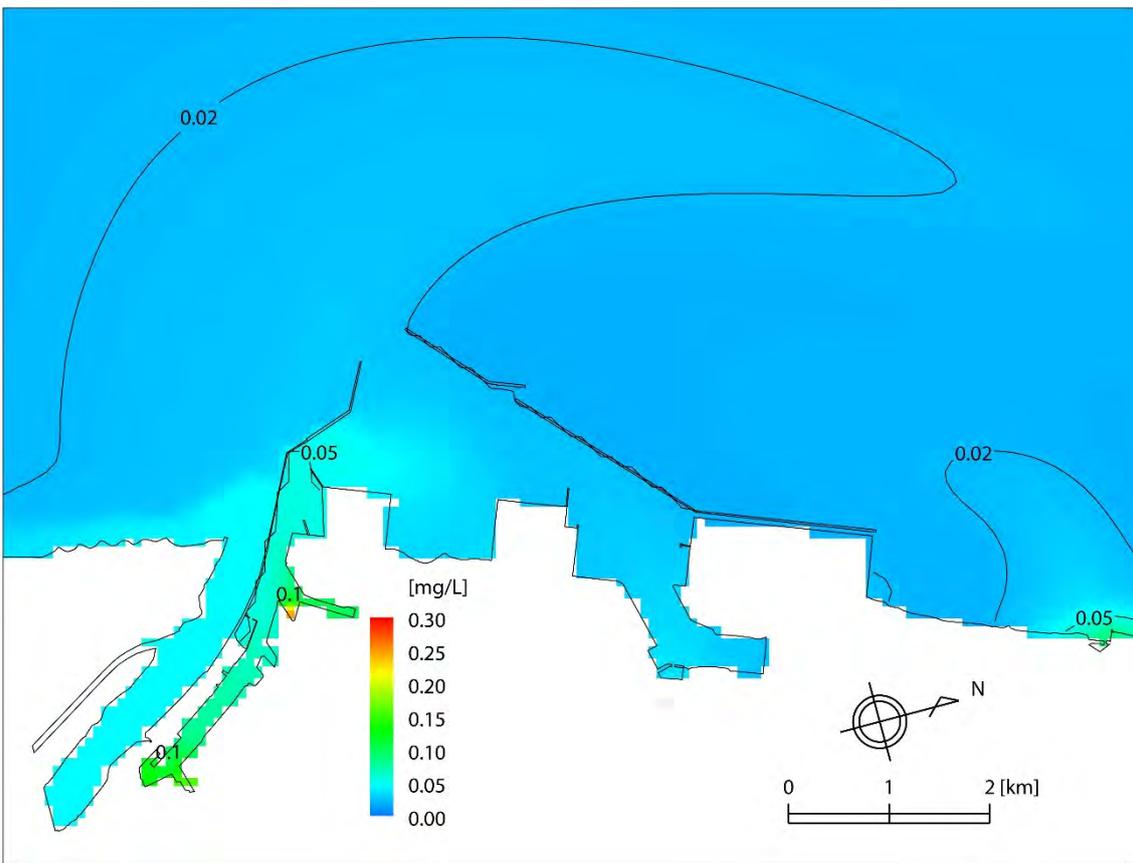
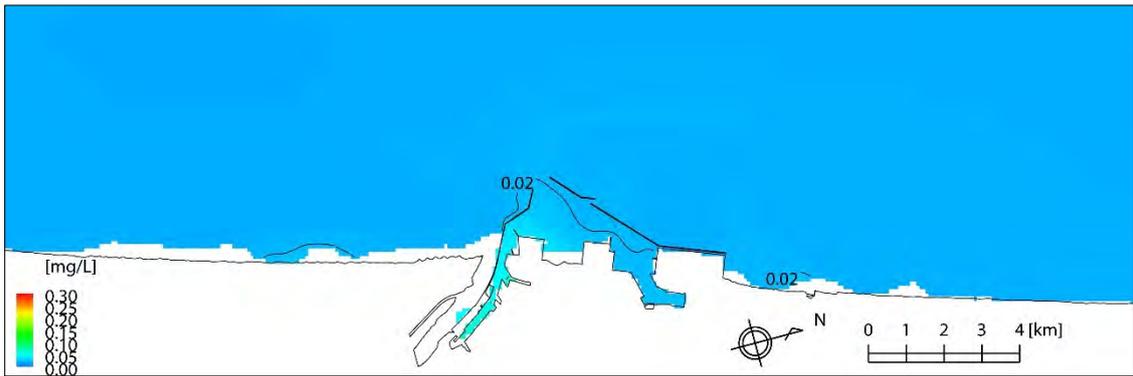


図 3-6-6(1) 現況再現結果 (全リン：夏季、第1層：0~-4m)(日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

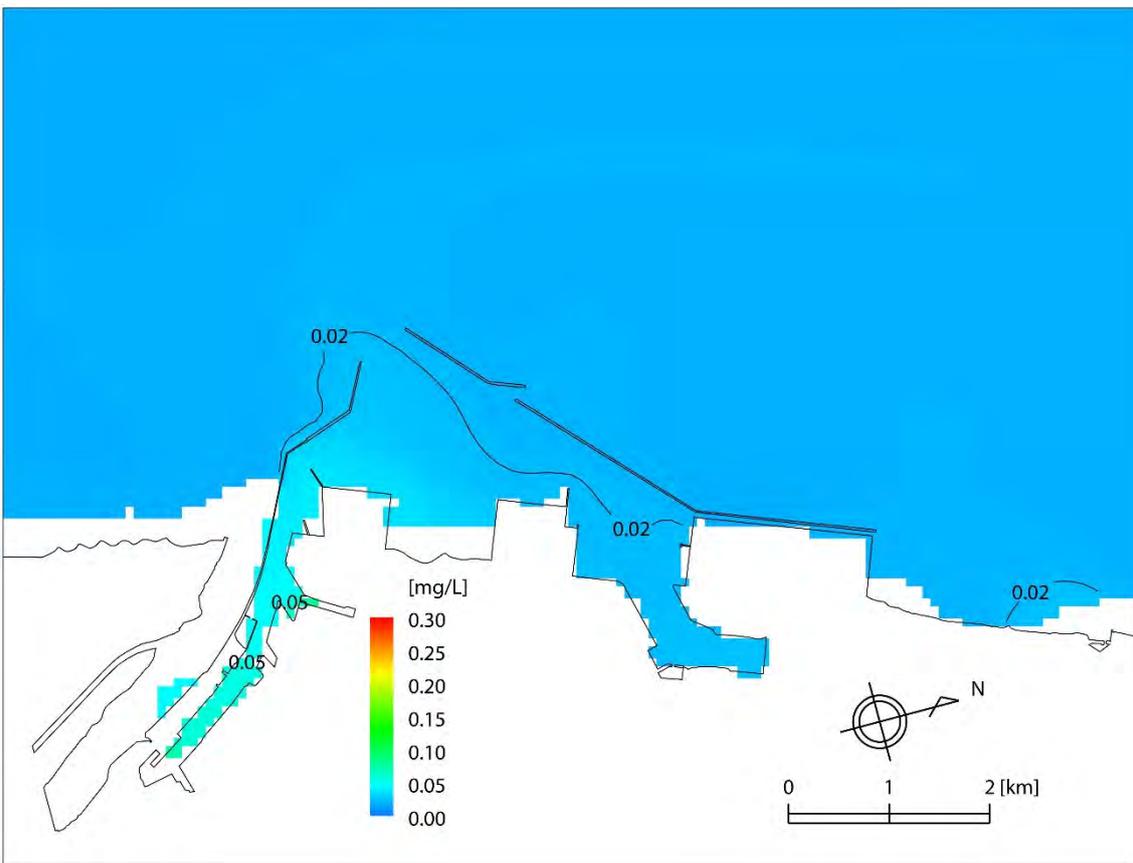
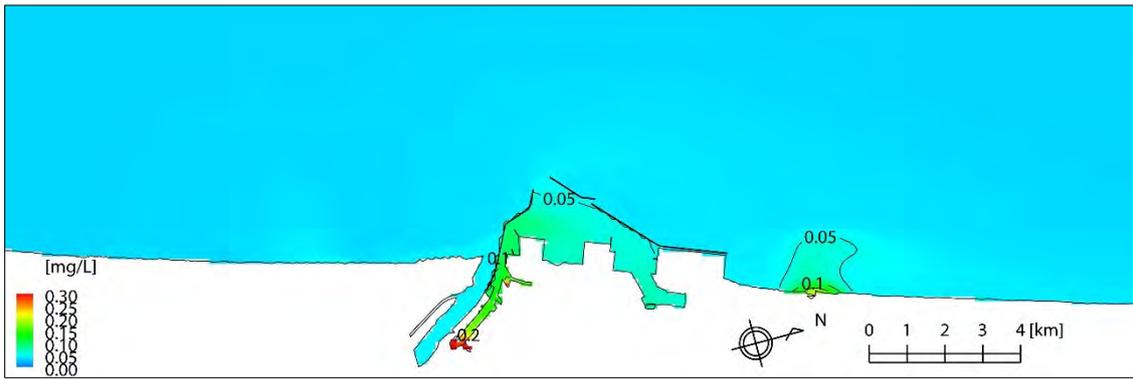


図 3-6-6(2) 現況再現結果 (全リン：夏季、第 2 層：-4 ~ -10m) (日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

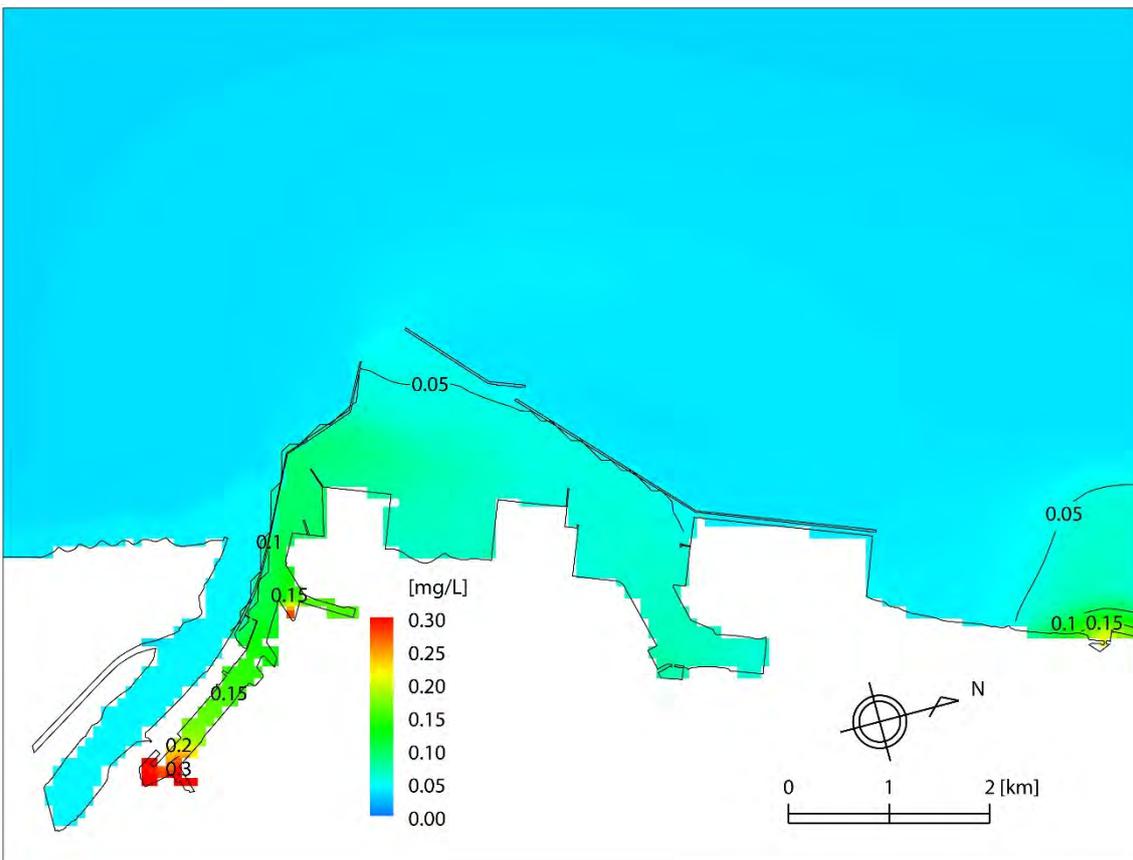
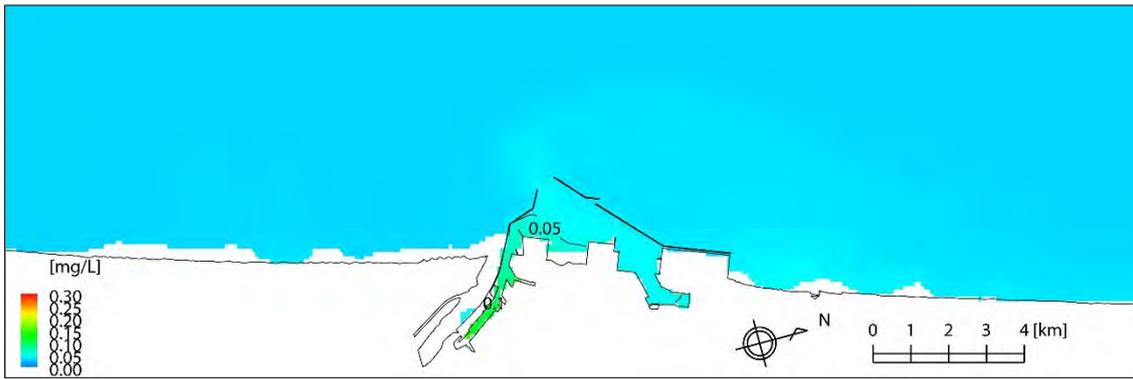


図 3-6-6(3) 現況再現結果 (全リン：冬季、第1層：0~-4m)(日平均値)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

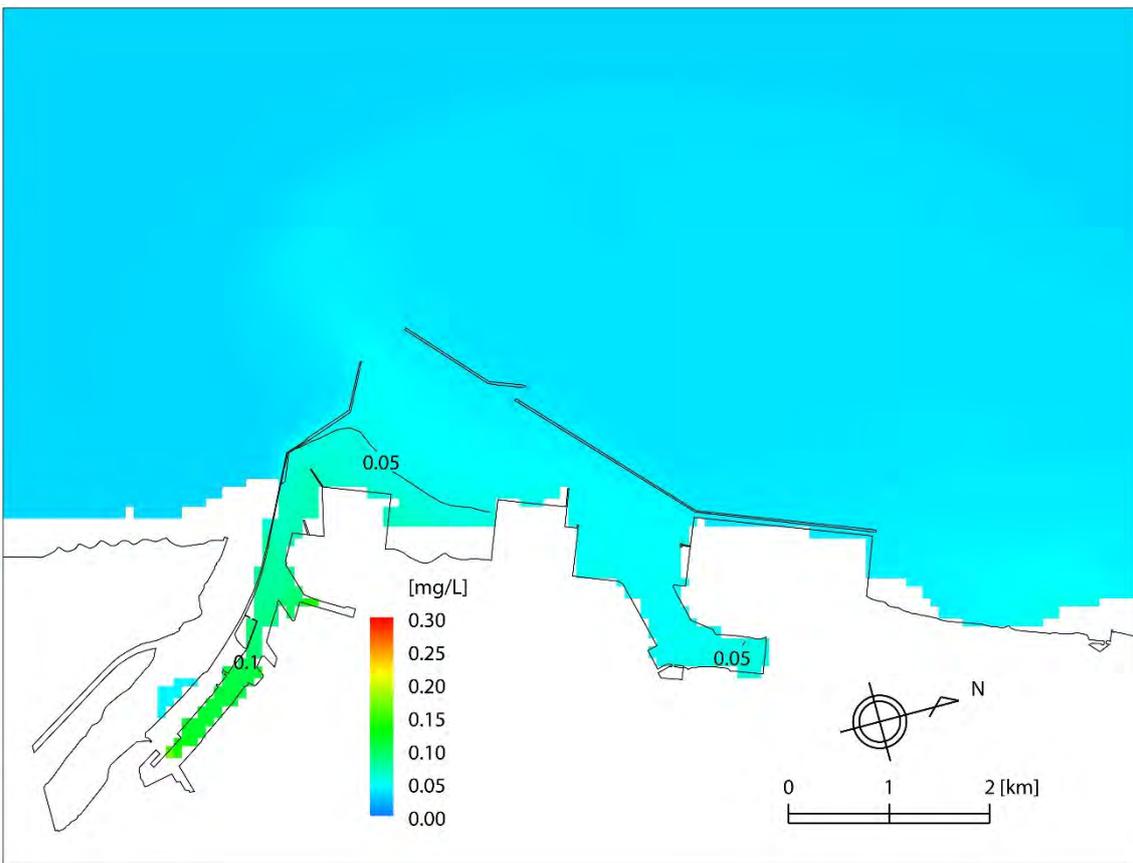


図 3-6-6(4) 現況再現結果 (全リン：冬季、第 2 層：-4~-10m)(日平均値)

### 3-6-6 計算結果

#### 1) 濃度の変化

水質調査地点におけるCOD、全窒素および全リンの現況調査結果と既定計画(計画変更なし)および今回計画(計画変更あり)の予測結果の比較を行った。

現況調査結果と既定計画(計画変更なし)および今回計画(計画変更あり)の予測結果の比較を表3-6-8に示した。現況調査結果と予測結果を比較すると、予測結果はほぼ現況調査結果と同レベルであり、今回計画(計画変更あり)の値は既定計画(計画変更なし)と同レベルかやや低い値であった。

表 3-6-8(1) 水質の実測値と計算値の比較(COD)

単位：mg/l

調査地点	時季	現況調査結果			予測結果	
		最小値	最大値	平均値	既定計画	今回計画
水質-1	夏季	1.0	1.7	1.4	1.3	1.2
	冬季	1.1	1.3	1.2	1.2	1.2
水質-2	夏季	1.0	2.6	1.8	2.2	1.8
	冬季	1.5	1.9	1.7	1.8	1.7
水質-3	夏季	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
	冬季	1.2	1.5	1.4	1.3	1.3

表 3-6-8(2) 水質の実測値と計算値の比較(全窒素)

単位：mg/l

調査地点	時季	現況調査結果			予測結果	
		最小値	最大値	平均値	既定計画	今回計画
水質-1	夏季	0.08	0.08	0.08	0.11	0.10
	冬季	0.09	0.14	0.12	0.15	0.14
水質-2	夏季	0.12	0.18	0.15	0.21	0.17
	冬季	0.12	0.22	0.17	0.22	0.20
水質-3	夏季	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
	冬季	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14

表 3-6-8(3) 水質の実測値と計算値の比較(全リン)

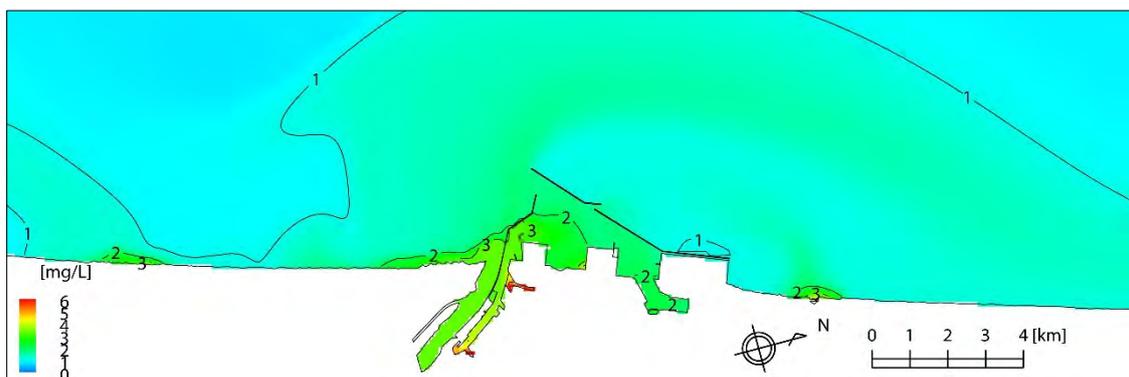
単位：mg/l

調査地点	時季	現況調査結果			予測結果	
		最小値	最大値	平均値	既定計画	今回計画
水質-1	夏季	0.020	0.021	0.021	0.020	0.019
	冬季	0.036	0.045	0.041	0.034	0.033
水質-2	夏季	0.033	0.051	0.042	0.039	0.034
	冬季	0.036	0.067	0.052	0.068	0.059
水質-3	夏季	0.025	0.026	0.026	0.023	0.023
	冬季	0.050	0.056	0.053	0.049	0.049

## 2) 分布図

水質シミュレーション結果より、既定計画におけるCOD、全窒素、全リンの各濃度分布は図3-6-7(1)～(12)に、今回計画におけるCOD、全窒素、全リンの各濃度分布は図3-6-9(1)～(12)に示した。また、今回計画と既定計画におけるCOD、全窒素、全リンの濃度差を図3-6-10(1)～(6)に示した。

計算範囲全体図



酒田港拡大図

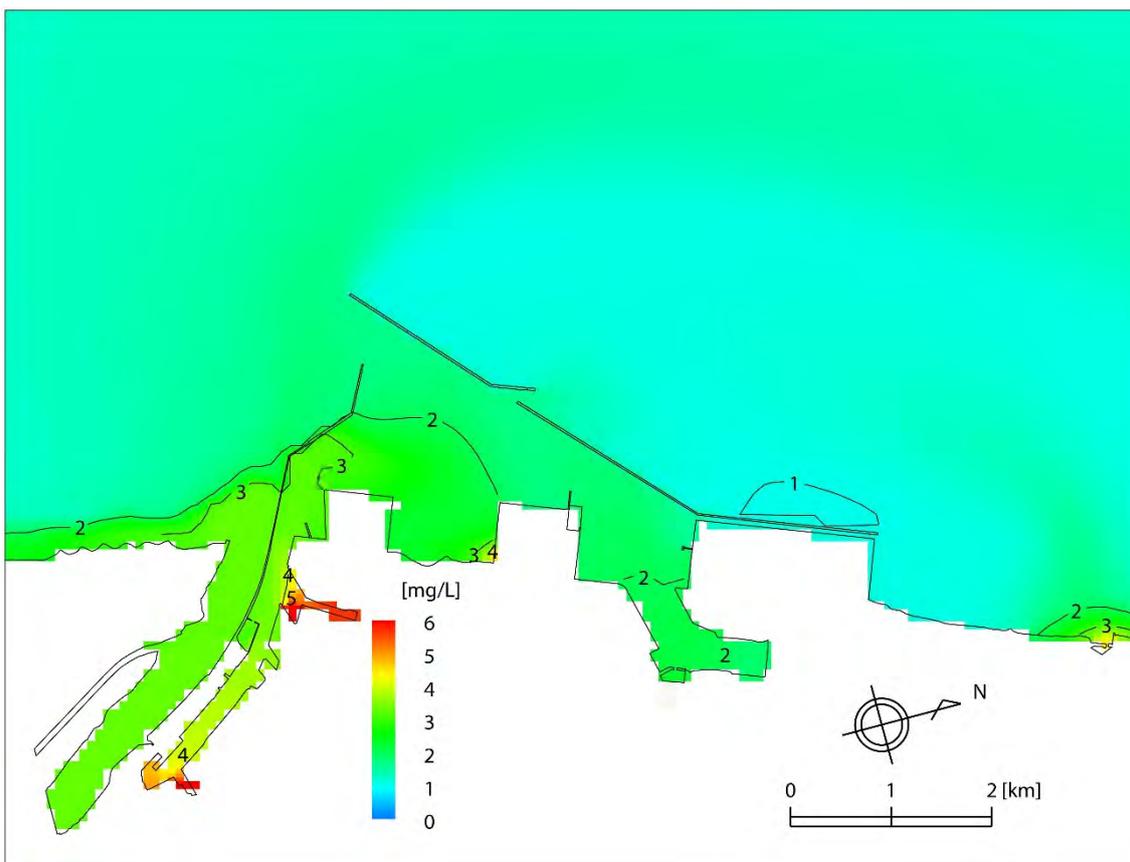
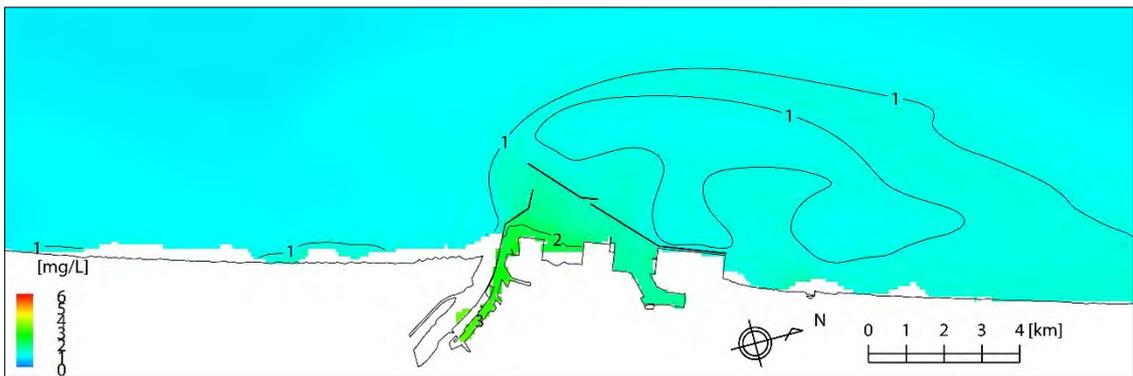


図3-6-8(1) 水質シミュレーション結果(既定計画、COD、夏季、第1層：0～-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

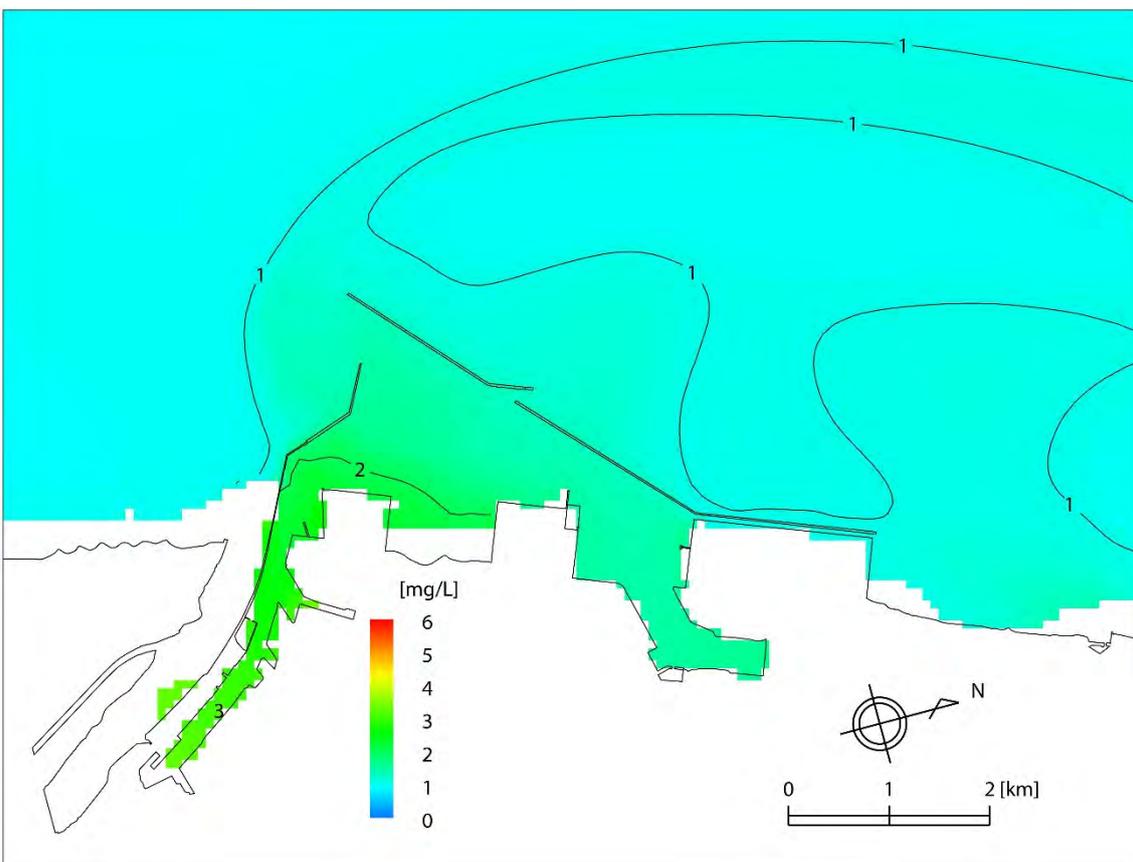
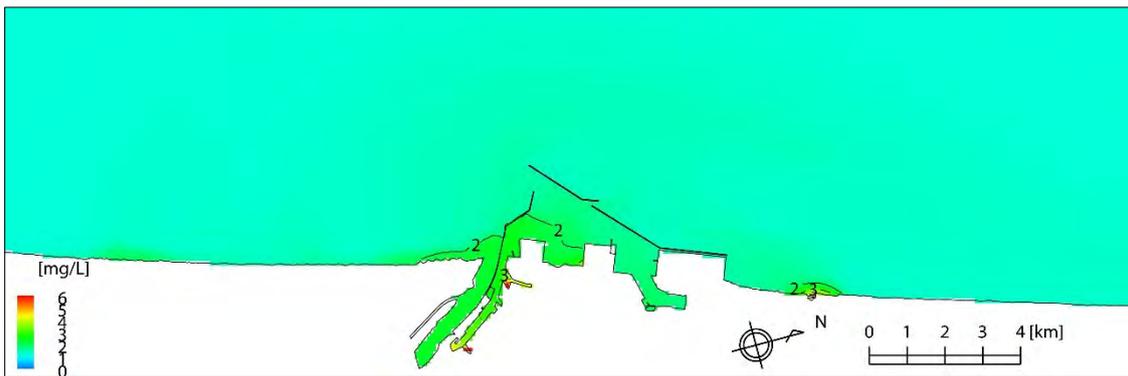


図 3-6-8(2) 水質シミュレーション結果(既定計画、COD、夏季、第2層：-4~-10m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

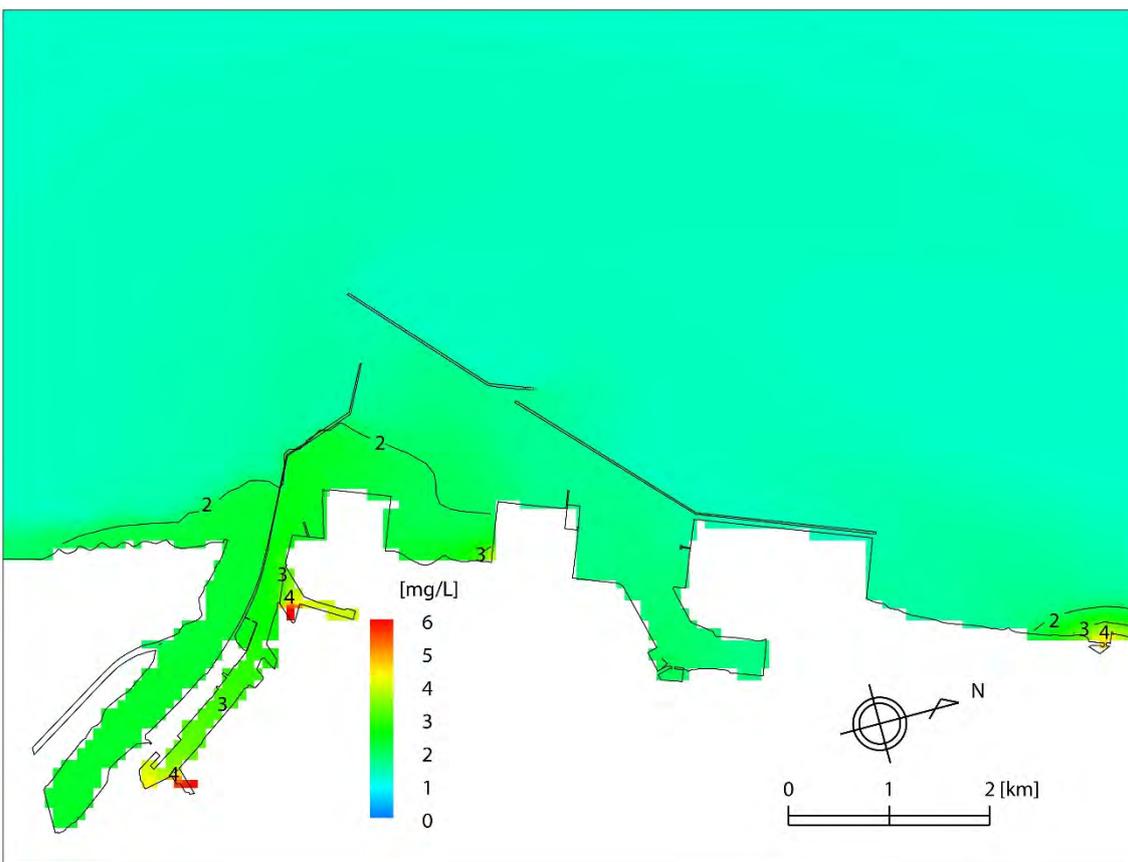
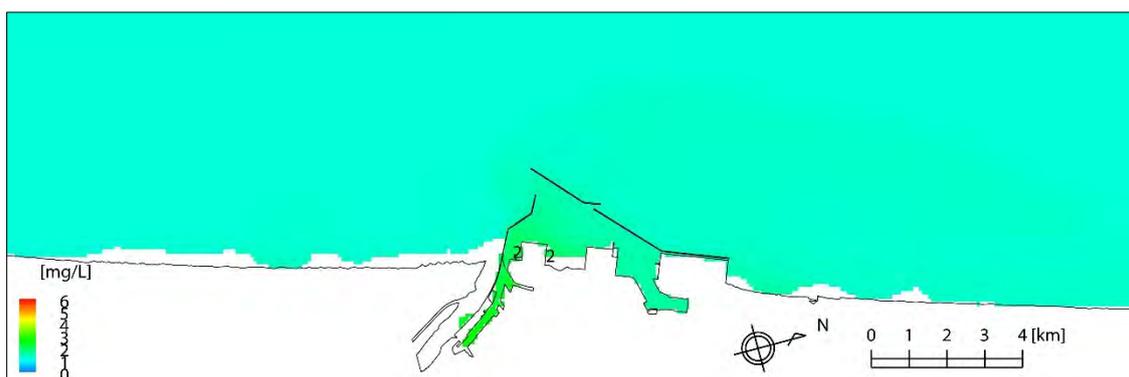


図 3-6-8(3) 水質シミュレーション結果(既定計画、COD、冬季、第1層:0~-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

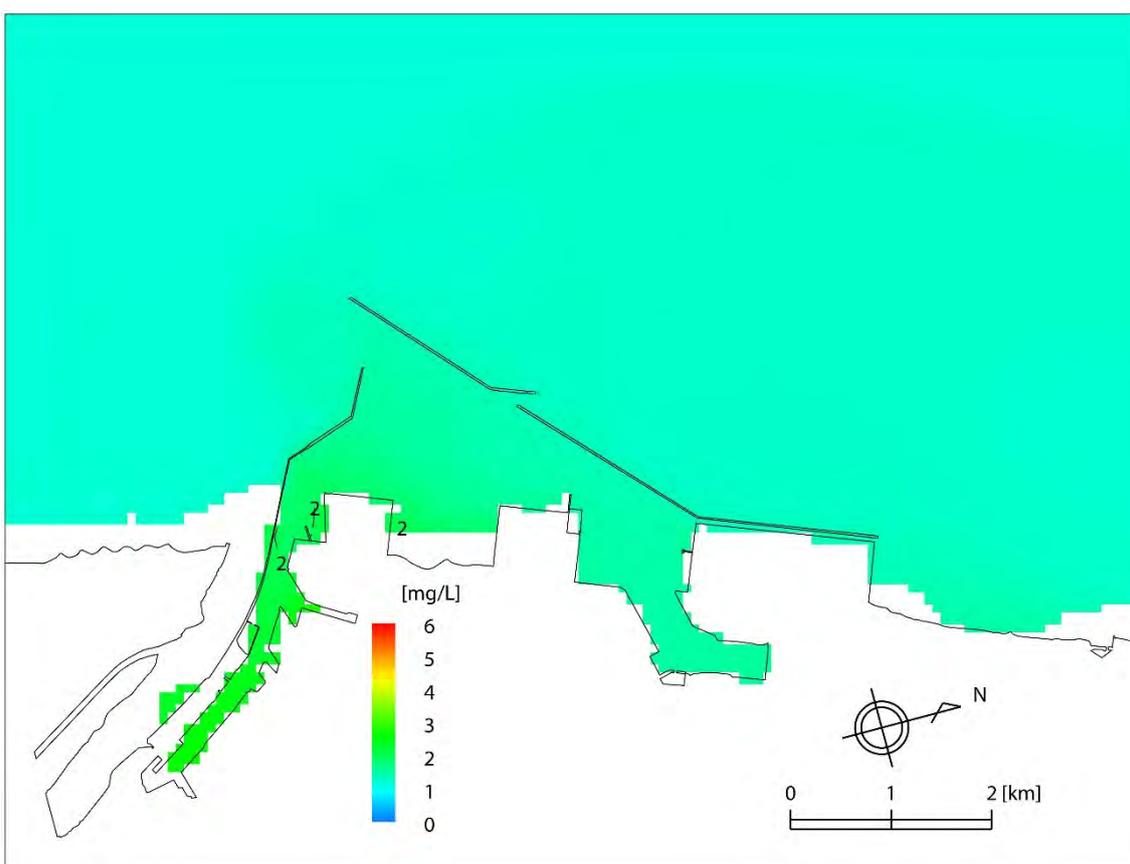
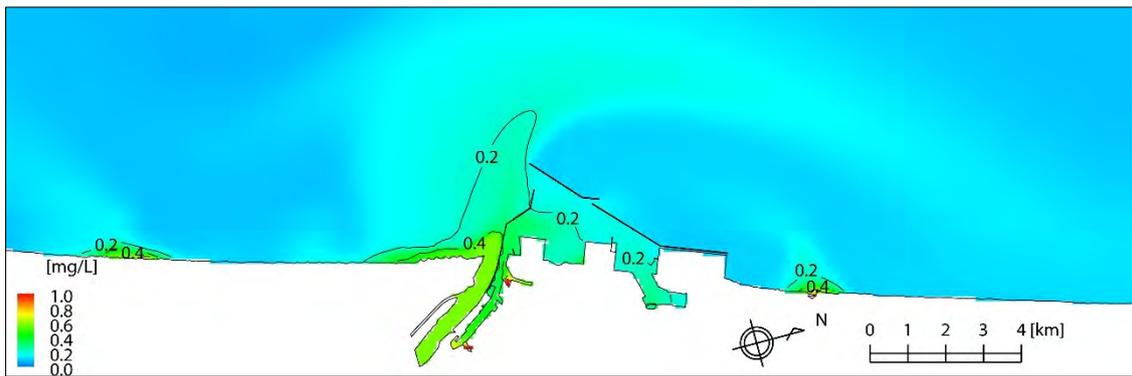


図 3-6-8(4) 水質シミュレーション結果(既定計画、COD、冬季、第2層：-4~-10m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

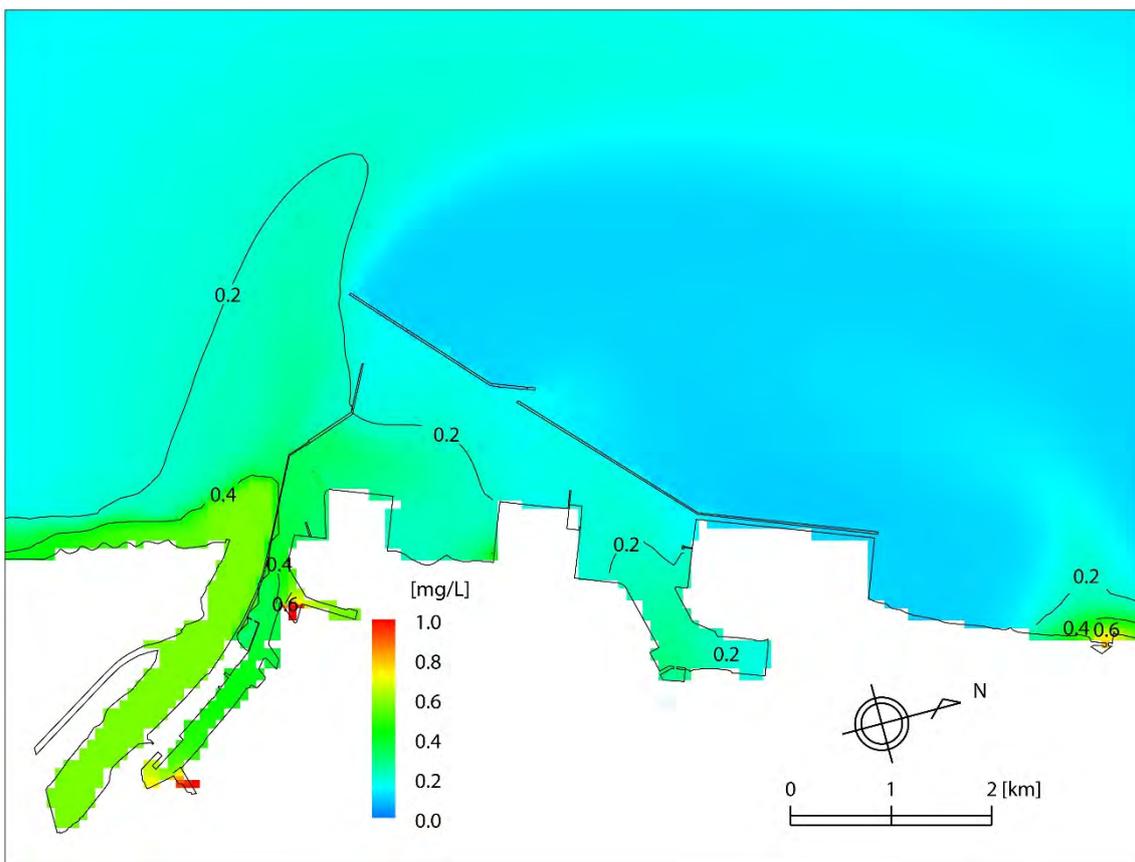
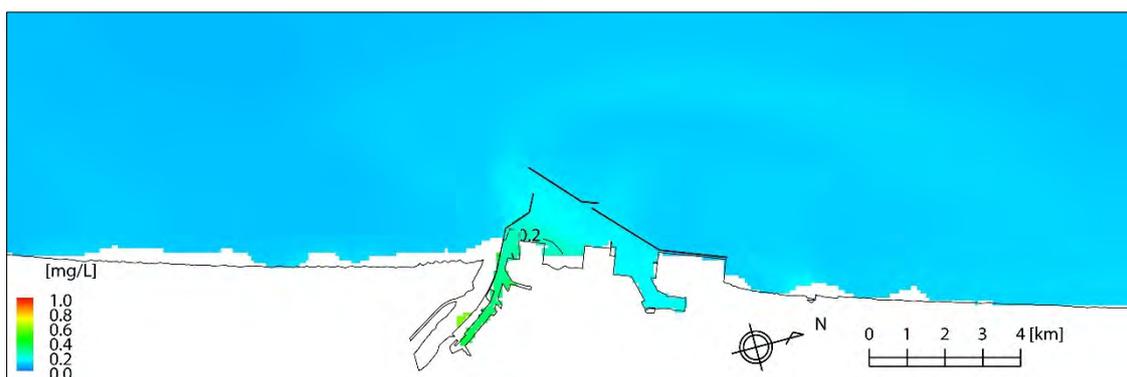


図 3-6-8(5) 水質シミュレーション結果(既定計画、全窒素、夏季、第1層:0~-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

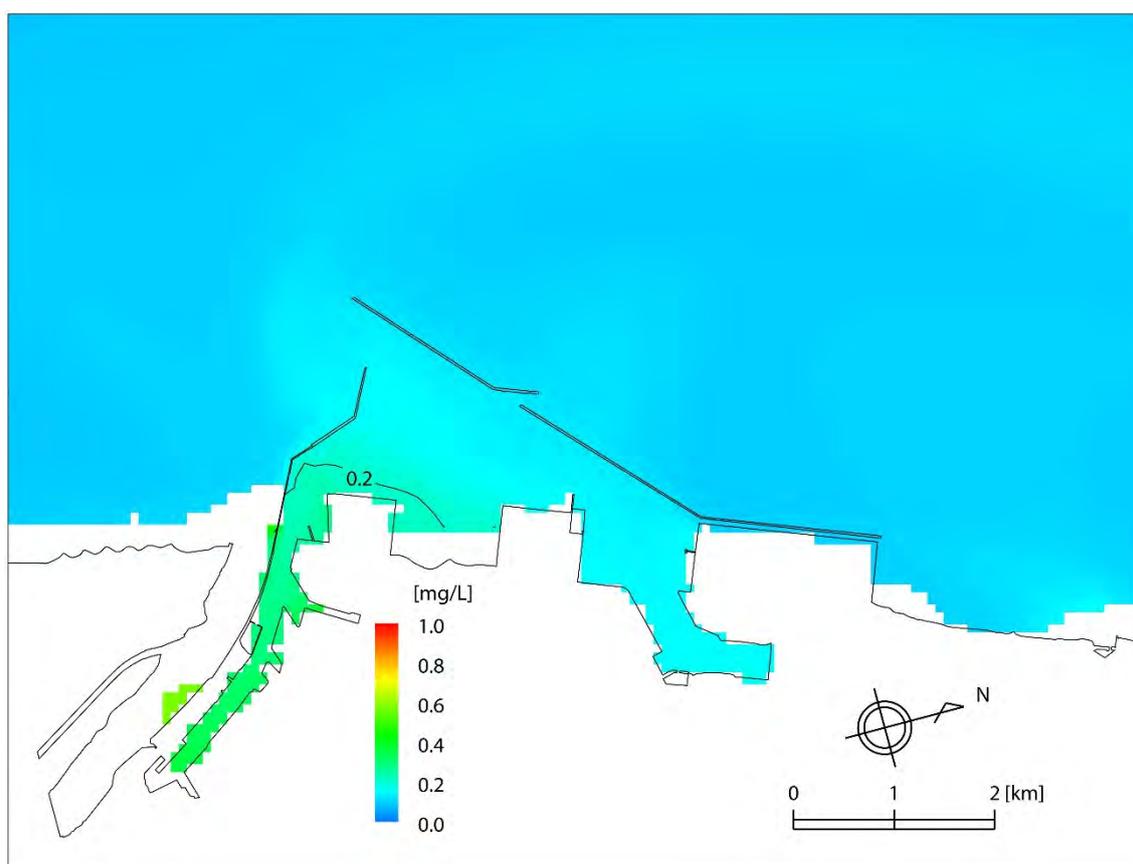
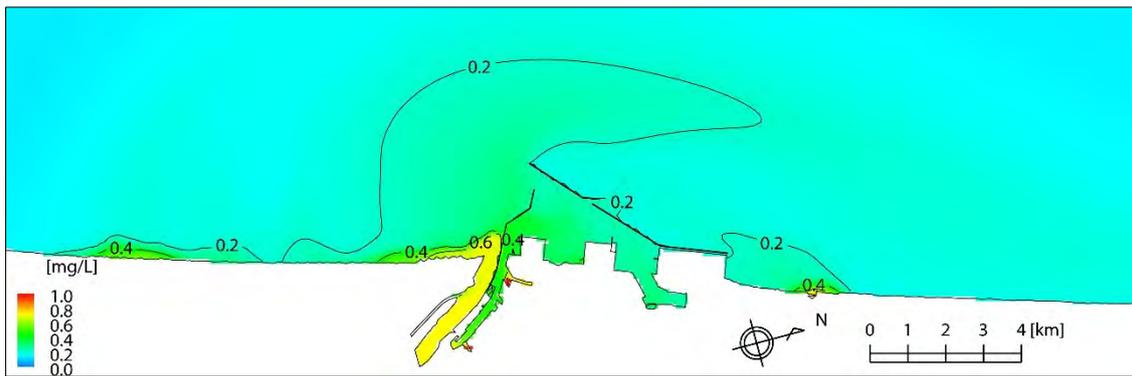


図 3-6-8(6) 水質シミュレーション結果(既定計画、全窒素、夏季、第 2 層：-4~-10m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

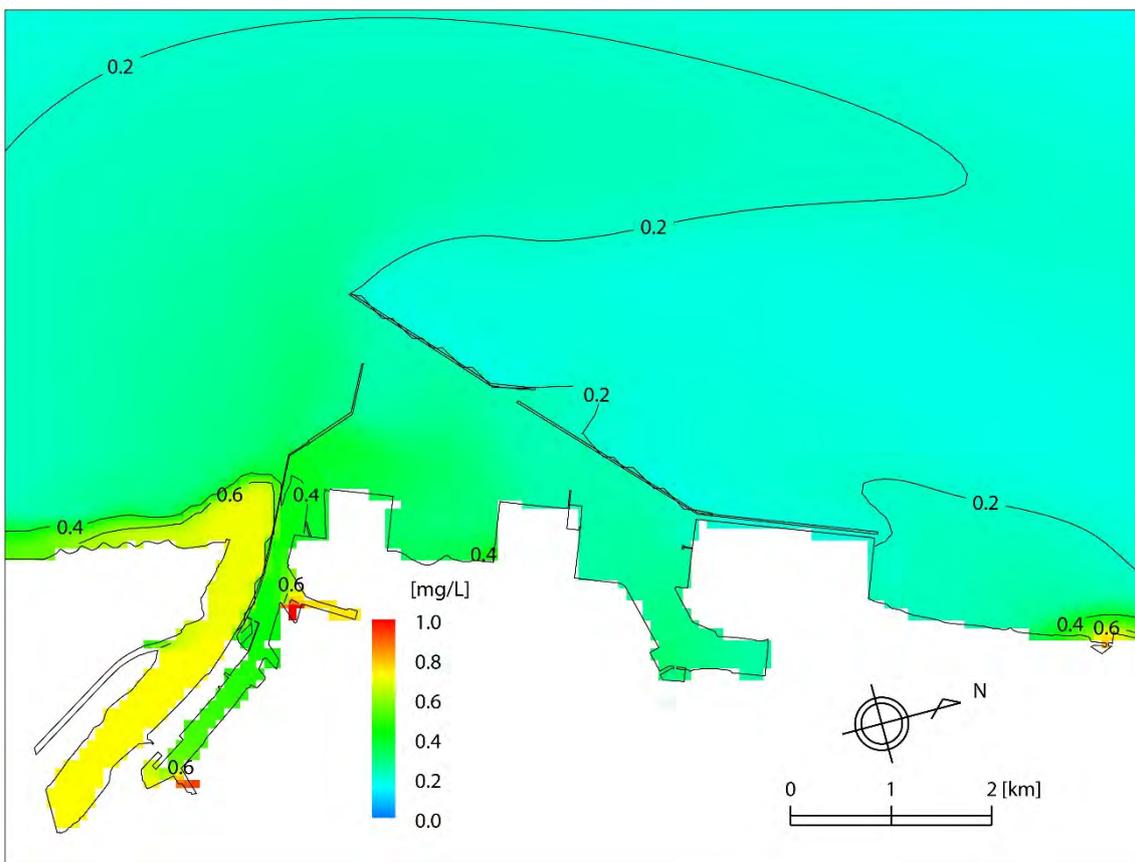
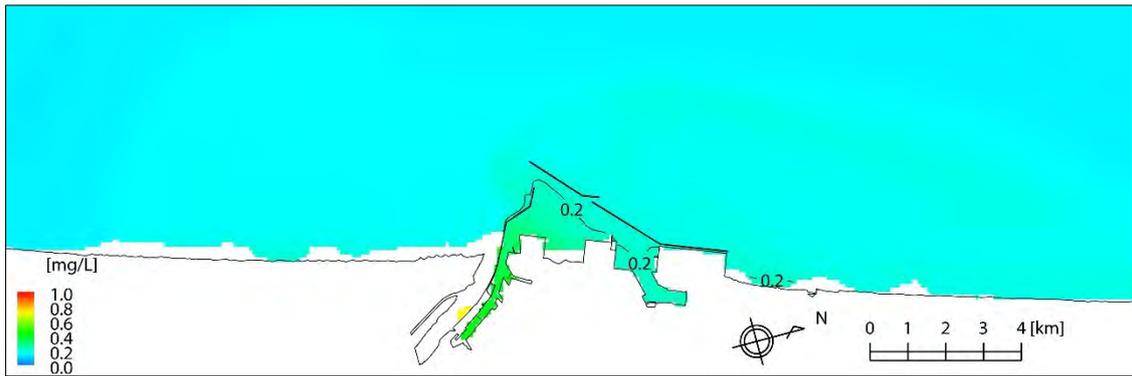


図 3-6-8(7) 水質シミュレーション結果(既定計画、全窒素、冬季、第1層:0~-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

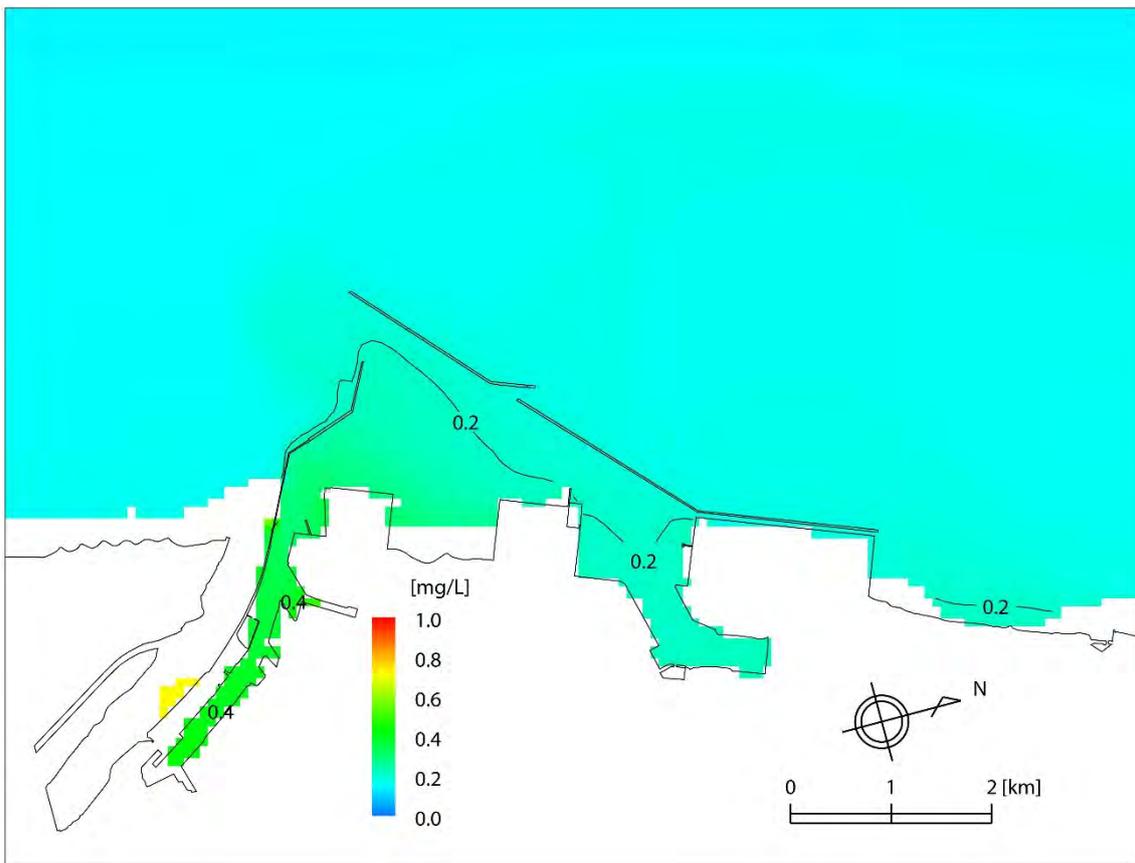
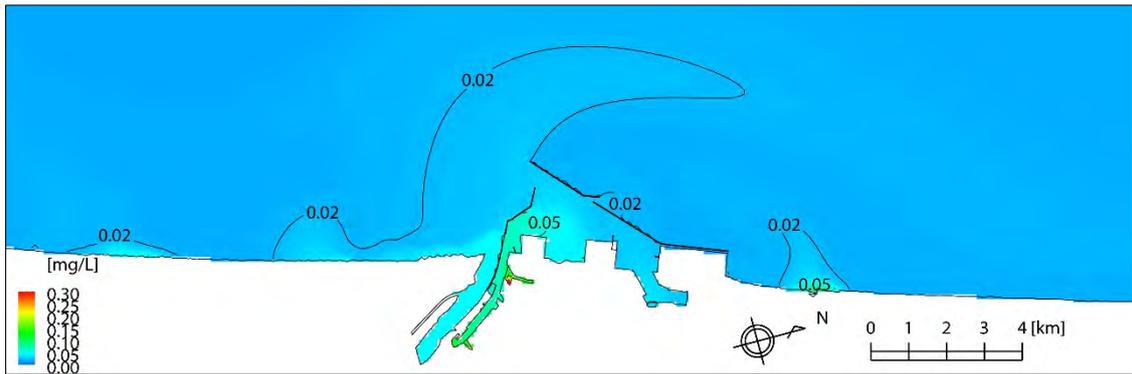


図 3-6-8(8) 水質シミュレーション結果(既定計画、全窒素、冬季、第2層：-4~-10m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

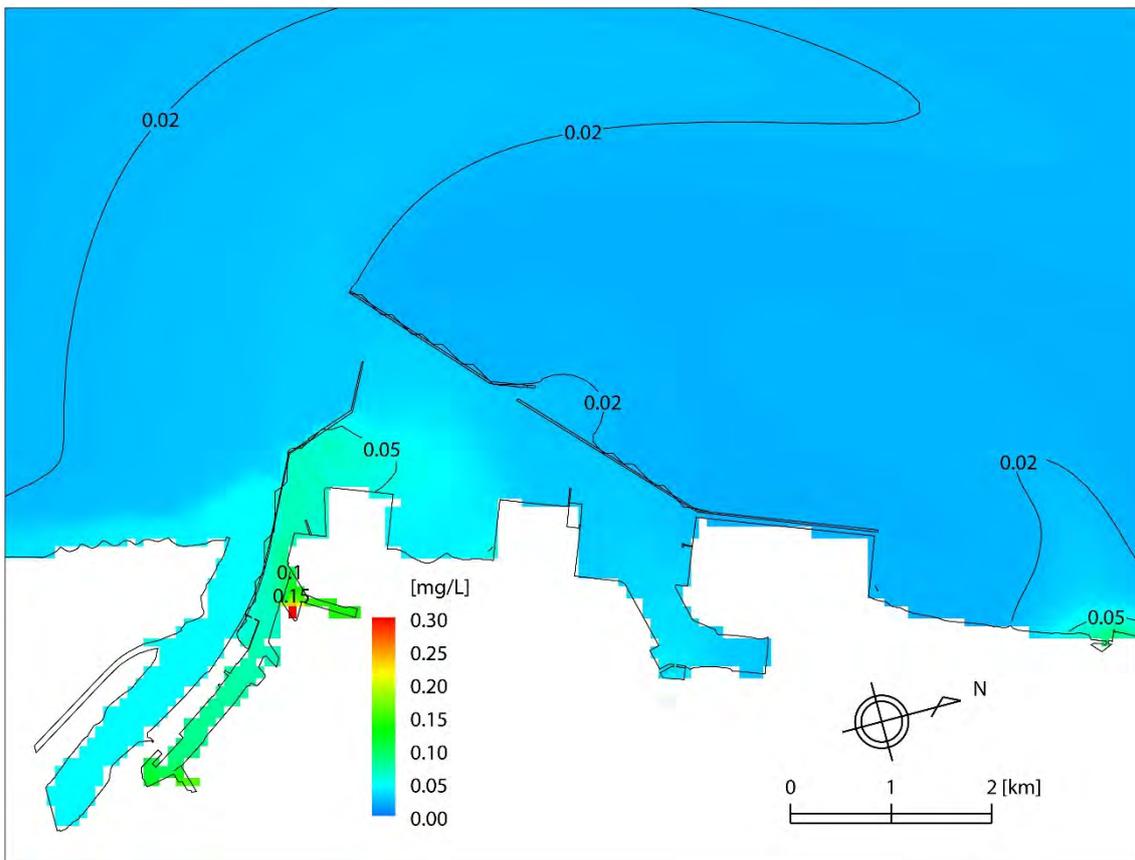
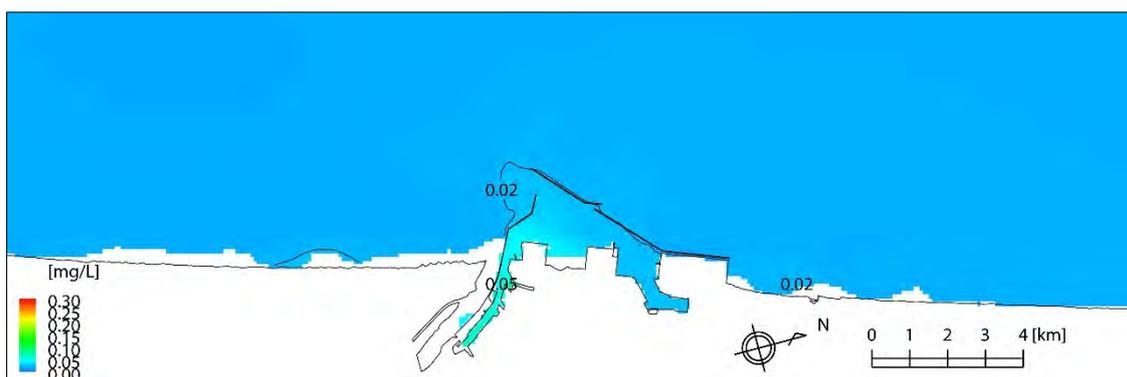


図 3-6-8(9) 水質シミュレーション結果(既定計画、全リン、夏季、第1層：0～-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

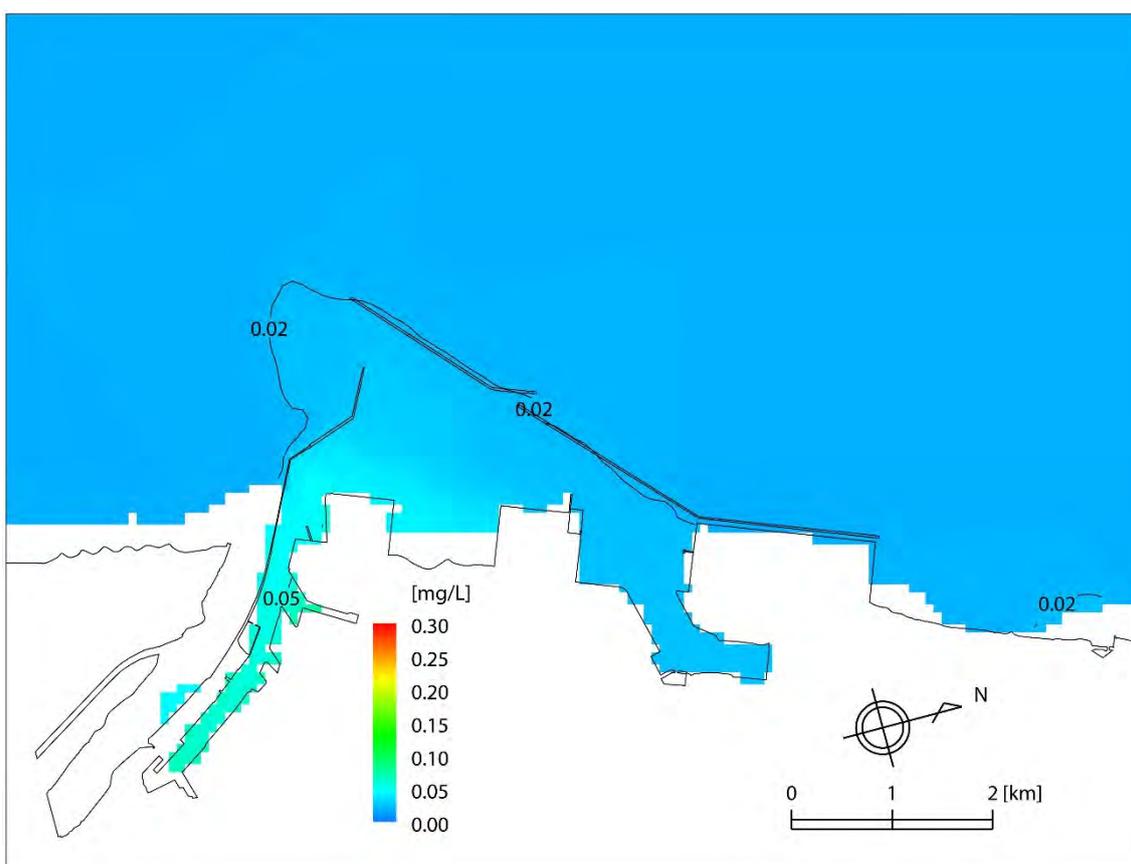
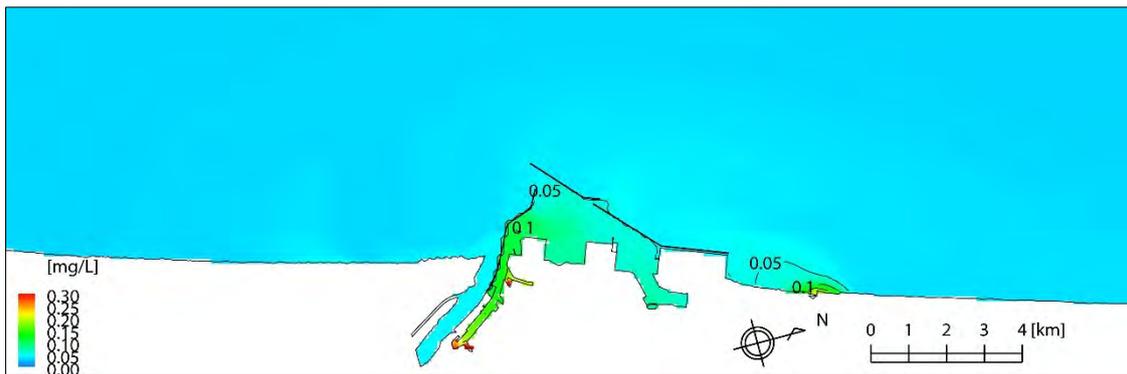


図3-6-8(10) 水質シミュレーション結果(既定計画、全リン、夏季、第2層：-4~-10m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

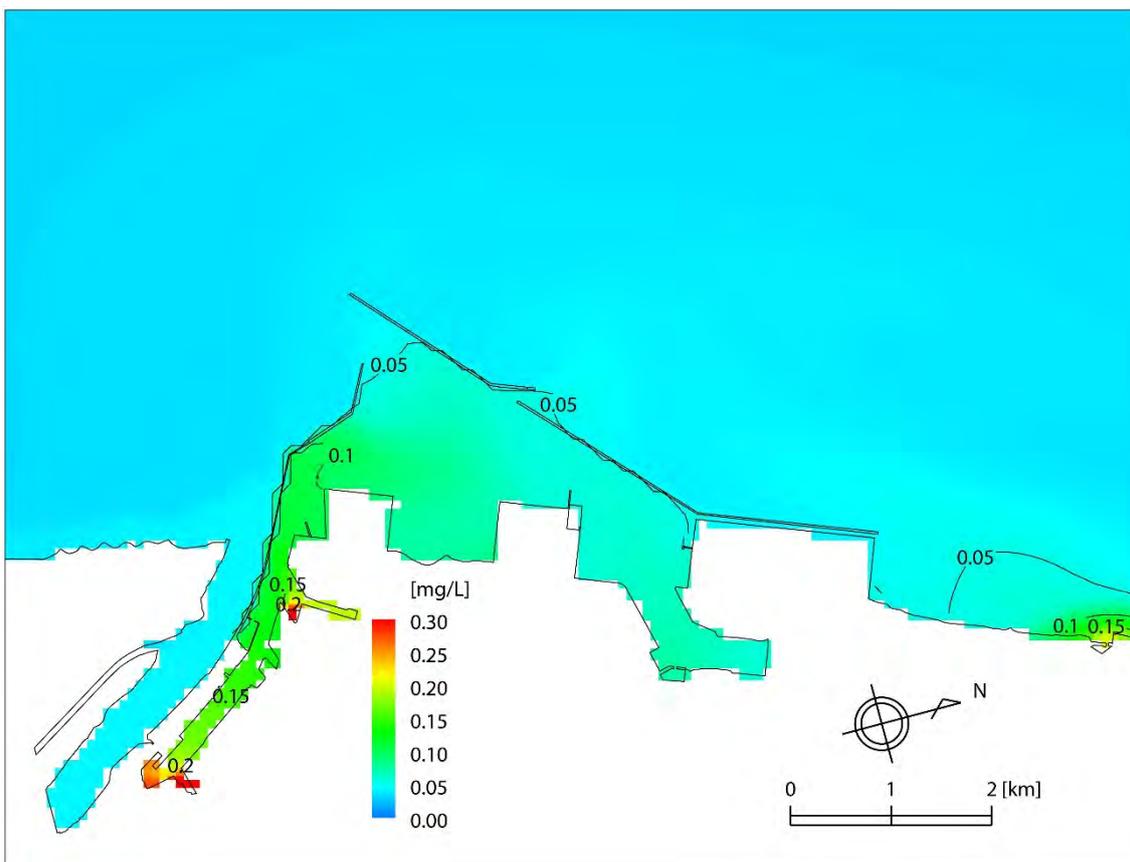
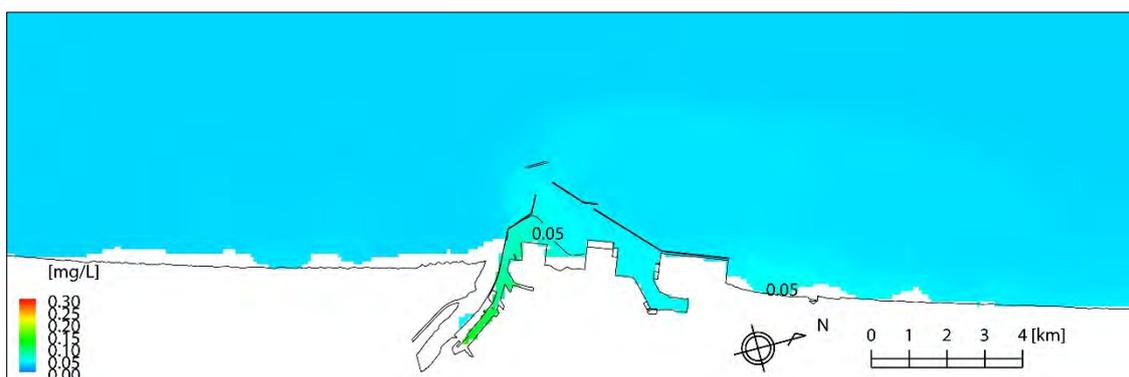


図 3-6-8(11) 水質シミュレーション結果(既定計画、全リン、冬季、第1層：0~-4m)

計算範囲全体図



酒田港拡大図

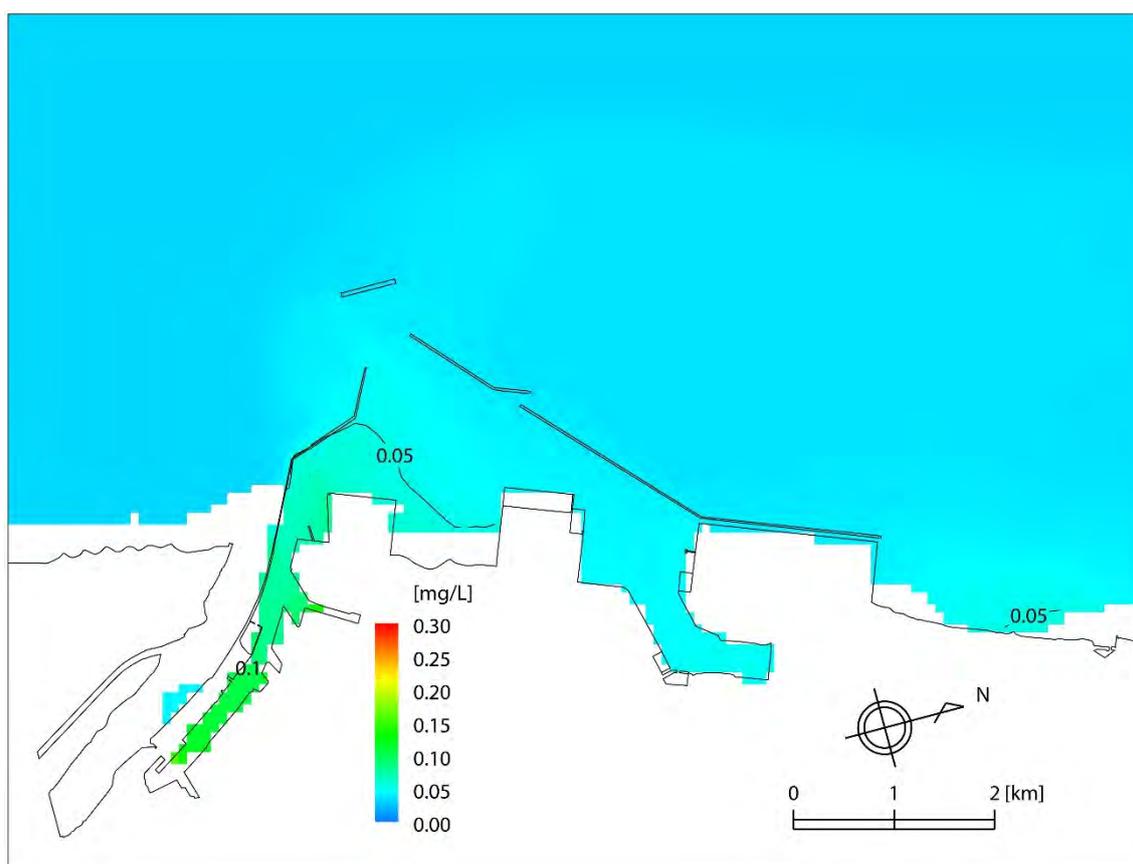


図3-6-8(12) 水質シミュレーション結果(既定計画、全リン、冬季、第2層：-4~-10m)