

# (3) 物質循環円滑化のための 方策について

# 目次

項目	内容	ページ
1．物質循環に係る負荷量及び除去量等の量的検討	(1) 負荷量	1～3
	(2) 除去量等	4
	(3) まとめ	5～6
2．気仙沼湾の健全化に向けて	(1) 健全化の目標(案)および不健全な事象について	7～8
	(2) 不健全化の要因について	9～10
	(3) 健全化に向けた基本方針の検討	11
3．物質循環円滑化のための方策について	(1) 方策メニューについて	12～14
	(2) 実証試験(案)の検討	15～17

# 1. 物質循環に係る負荷量及び除去量等の量的検討 (1) 負荷量

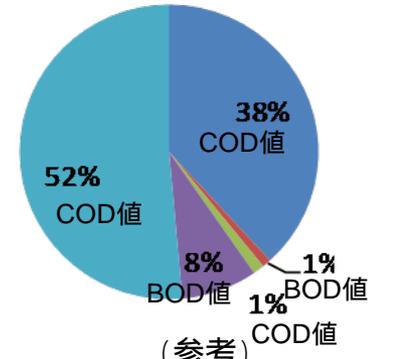
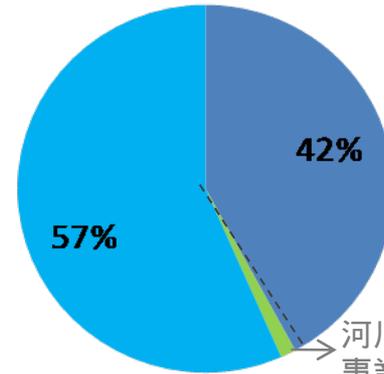
## 物質循環の現状(負荷)

・9月について流入負荷量および溶出量を算定した結果、全体の負荷量のうち、約3～4割を河川が、5～6割を底質からの溶出が占めると推定された。

流入負荷量および溶出量(9月の値:kg/日)

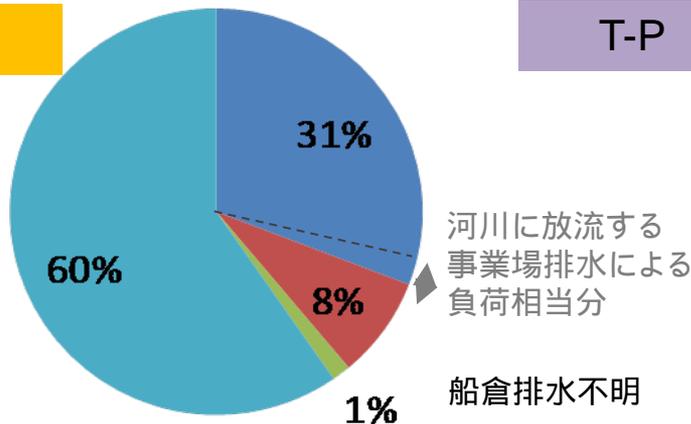
項目	COD (BOD)	T-N	T-P
河川からの負荷	1,389	683	36
下水道からの負荷	(31)	179	6
事業場からの負荷(湾に直接放流分) 日放流量上位20位以上(下水道処理場を除く)	44	32	6
漁港を利用する漁船の船倉排水	(299) 平均値	不明	不明
底質からの溶出	1,871	1,321	59
(参考)陸域からの負荷 (河川)+(下水道)+(事業場(湾に直接放流分))	1,464 BOD値含む	894	48
(参考)1980年算定の陸域流入負荷 下水道整備前、冬季調査より算定	2,053	761	152

COD

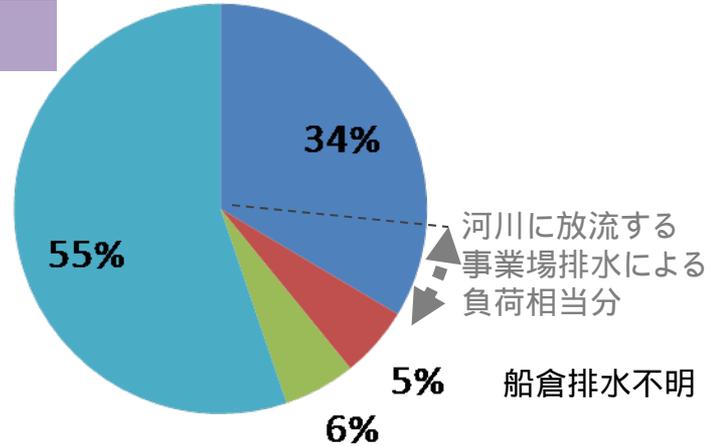


河川に放流する事業場排水による負荷相当分 (参考) 下水道、船倉排水 (BOD値) も含めた場合

T-N



T-P



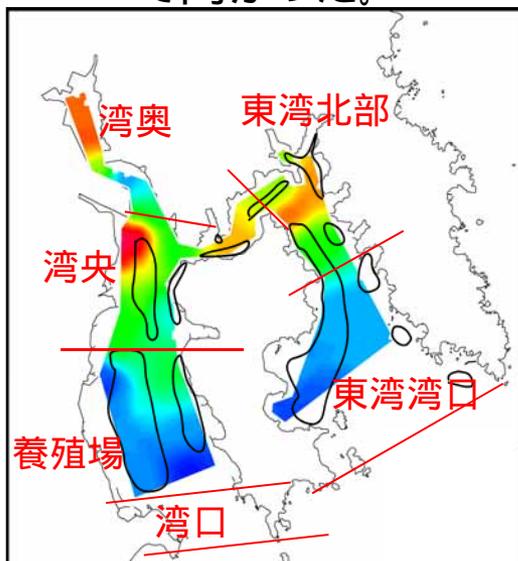
- 河川
- 下水道
- 事業場
- 船倉水
- 底質からの溶出

# (参考) 負荷量の算定方法

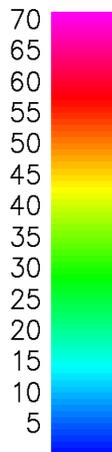
	項目	負荷量算定結果(kg/日):9月の値			算定方法
		COD (BOD)	T-N	T-P	
陸域	河川からの負荷	1,389	683	36	2006年～2009年の公共用水域水質調査による水質と調査日の流量からL-Q式を算出し2008年9月に適用 大川切通の水位をH-Q式で流量に換算後、各流域の面積比を乗じた
	下水道処理場からの負荷	(31)	179	6	2008年の年間放流量×水質/366(日/年)
	事業場からの負荷 (排水水質=規制値の仮定) 日平均水量上位20位の事業場(下水道未接続の事業場対象)から下水道処理場を除いた	$\left( \begin{array}{c} 87 \\ \text{河川に放流} \\ 43 \\ \text{湾に放流} \\ 44 \end{array} \right)$	$\left( \begin{array}{c} 76 \\ \text{河川に放流} \\ 36 \\ \text{湾に放流} \\ 32 \end{array} \right)$	$\left( \begin{array}{c} 16 \\ \text{河川に放流} \\ 9 \\ \text{湾に放流} \\ 6 \end{array} \right)$	事業場からの平均放流量×代表特定施設別排水濃度平均値 平成21年度水質汚濁物質排出量総合調査、平成22年3月、環境省 し尿場については下欄参照
	(参考)し尿処理場からの負荷 実測を基に算出、河川に放流	(1)	5	4	2008年9月の放流量×水質/30(日/月)
湾内	漁港を利用する漁船の船倉排水	(96～502)	-	-	H21の気仙沼市の9月の水揚げ量×原単位/30(日/月) 加藤・中沢(2007)
	底質からの溶出	1,871	1,321	59	本年度調査による溶出速度×湾内の面積(詳細は次ページ)
	(参考)沈降量	2,217	-	-	本年度調査による沈降量×湾内の面積(西湾湾奥・湾央のみ)
合計	陸域からの流入負荷	1,464	894	48	湾内での負荷のCOD値は船倉排水のBOD平均値を含む。
	湾内での負荷	2,170 (BOD値含)	1,321	59	
(参考)既往知見	1981年算定の陸域流入負荷(下水道処理場整備前)	2,053	761	152	冬季調査:放流量×水質(実測と推算) (資料)気仙沼市公共下水道終末処理場の処理水放流に関する技術調査報告書、気仙沼市・日本下水道事業団

# 底質からの溶出による負荷量の算定

・底質からの溶出量は、T - Nでは養殖場や東湾北部、東湾湾口、T-Pでは湾奥、湾央で高かった。

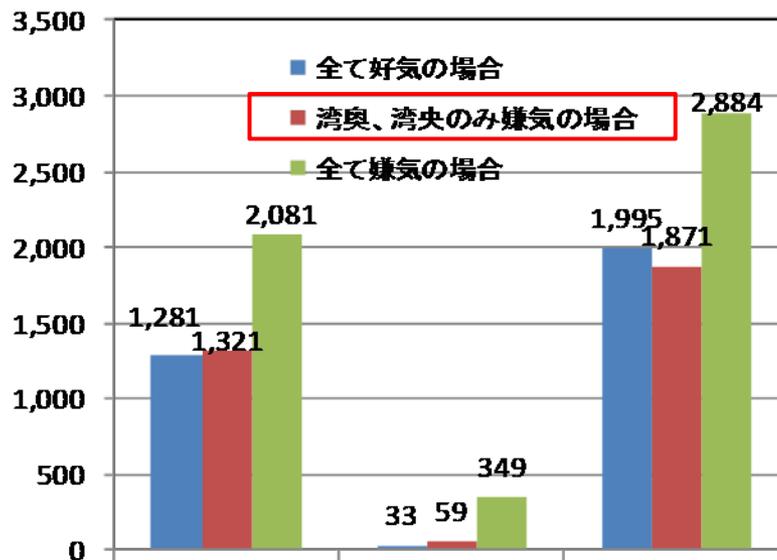


COD  
(mg/g乾泥)



← 水産用水基準

溶出量 (kg/日)



## 算定区分

コンター図: 底質のCOD  
(気仙沼水産試験場、2010年5月)  
湾内の黒枠部分: 二枚貝養殖場  
(2001年漁協データ、伊藤ら(2007))

## 負荷量算定結果

1ページ目の底質からの溶出として、  
湾奥、湾央のみ嫌気の場合の値を用いた。

## 使用する溶出速度データ

区域	使用するデータ
湾奥	St 1
湾央	St 2
養殖場	St 5
湾口	St 3
東湾北部	St 4'
東湾湾口	St 3

本年度夏季調査の値を使用

## 負荷量算定結果の詳細

単位: kg/日

項目	T-N		T-P		COD	
	好気	嫌気	好気	嫌気	好気	嫌気
湾奥	6	197	-20	43	-269	365
湾央	152	0	87	51	414	-345
養殖場	471	624	-7	90	2,058	977
湾口	34	101	-4	9	18	181
東湾北部	375	440	7	97	-357	407
東湾湾口	243	720	-30	61	132	1,298
合計	1,281	2,081	33	349	1,995	2,884

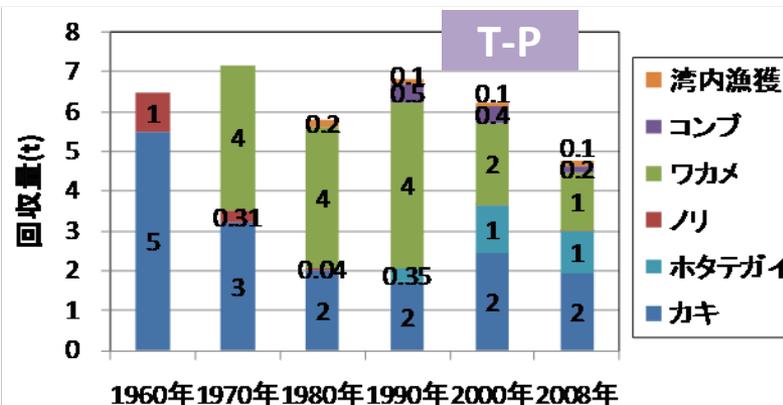
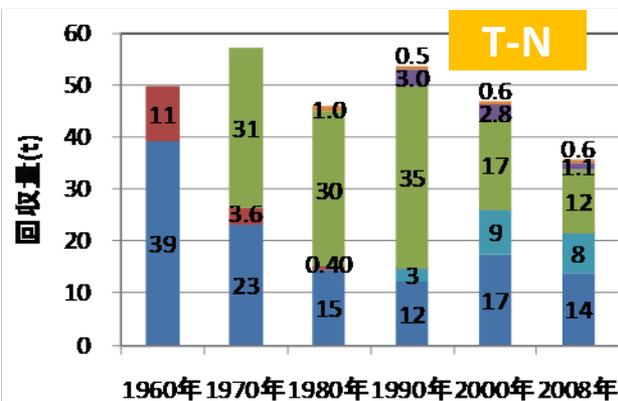
## (2) 除去量等

# 除去量等の検討

項目	2008年(t/年)		算定方法
	T-N	T-P	
養殖による除去量 (養殖生産量)	35	5	農林水産統計による年間養殖生産量 × N,P含有量 船越(2008)等
湾内漁獲による除去量 (漁獲量)	0.6	0.1	農林水産統計(気仙沼湾の漁業地区別集計)による年間生産量 × N,P含有量 船越(2008)等
(参考) 藻場による固定量	212	19	藻場面積(自然環境保全基礎調査) × 原単位 村岡・斉藤(2004)、赤澤ら(2003)、赤澤ら(2004)、石川ら(1981)
(参考) 干潟による浄化量 1960年代に消失	5	1	干潟(面積:空中写真読み取り) × 原単位 平成12年度藻場・干潟等の環境保全機能定量評価基礎調査

## 養殖および湾内漁獲 算定対象

養殖種	こんぶ類
	わかめ類
	のり類
	かき
漁獲種:海藻類	ほたてがい
	こんぶ類
	その他の海藻類
漁獲種:底生生物	わかめ類
	あさり類
	あわび類
	うに類



## 養殖種の算定原単位

養殖種	含有量 (g/kg)	
	窒素	リン
カキ	3.631	0.506
ノリ	6.208	0.580
ワカメ	3.040	0.360
コンブ	1.312	0.200
ホタテガイ	7.2	1.02

湾内漁獲量は1980年以降のみ。1982年、1990年、2000年、2005年の値を使用(漁業地区別集計の実施期間)

### (3)まとめ

## 気仙沼湾の負荷および除去・固定量の概算推定(T-N)

負荷量:9月の値

除去量等:年間値/366(日)

値を( )で表記

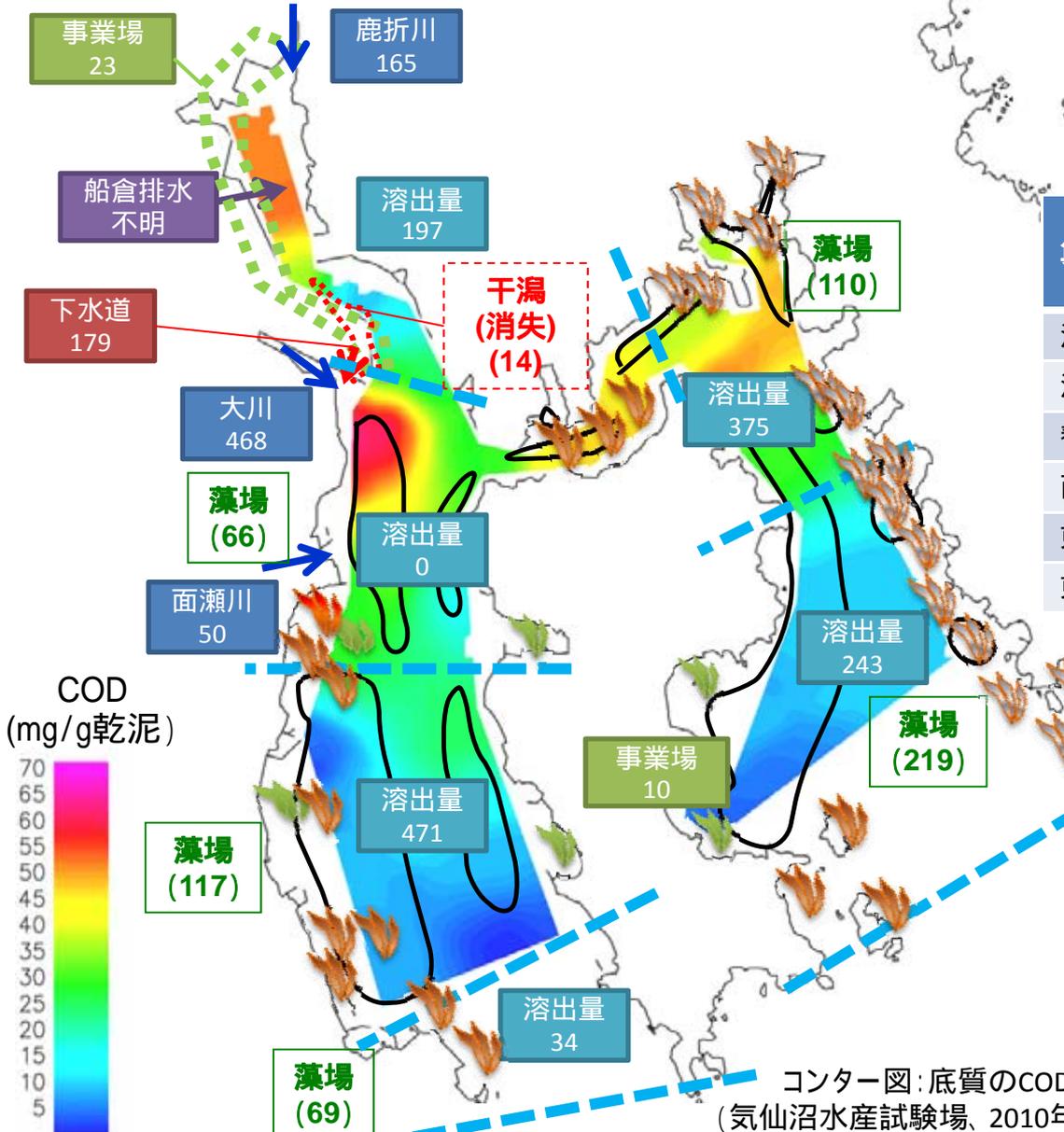
単位:kg/日

---:底質からの溶出量算出区分

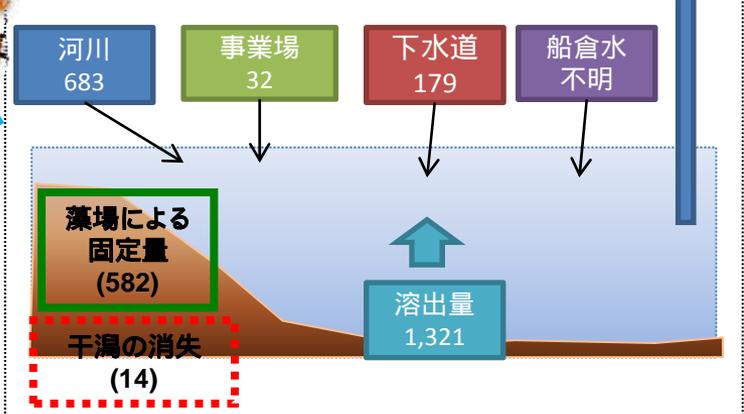
○:二枚貝養殖場(伊藤ら(2007))

算出区分	負荷量 - 除去・ 固定量
湾奥	385
湾央	452
養殖場	354
西湾湾口	-35
東湾湾奥	265
東湾湾口	34

-  テングサ場
-  ガラム場、アラメ場、ワカメ場
-  アマモ場、アオサ・アオリ場
-  その他



水産業による  
除去量  
(96)



コンター図:底質のCOD  
(気仙沼水産試験場、2010年5月)

# 気仙沼湾の負荷および除去量の概算推定 (T-P)

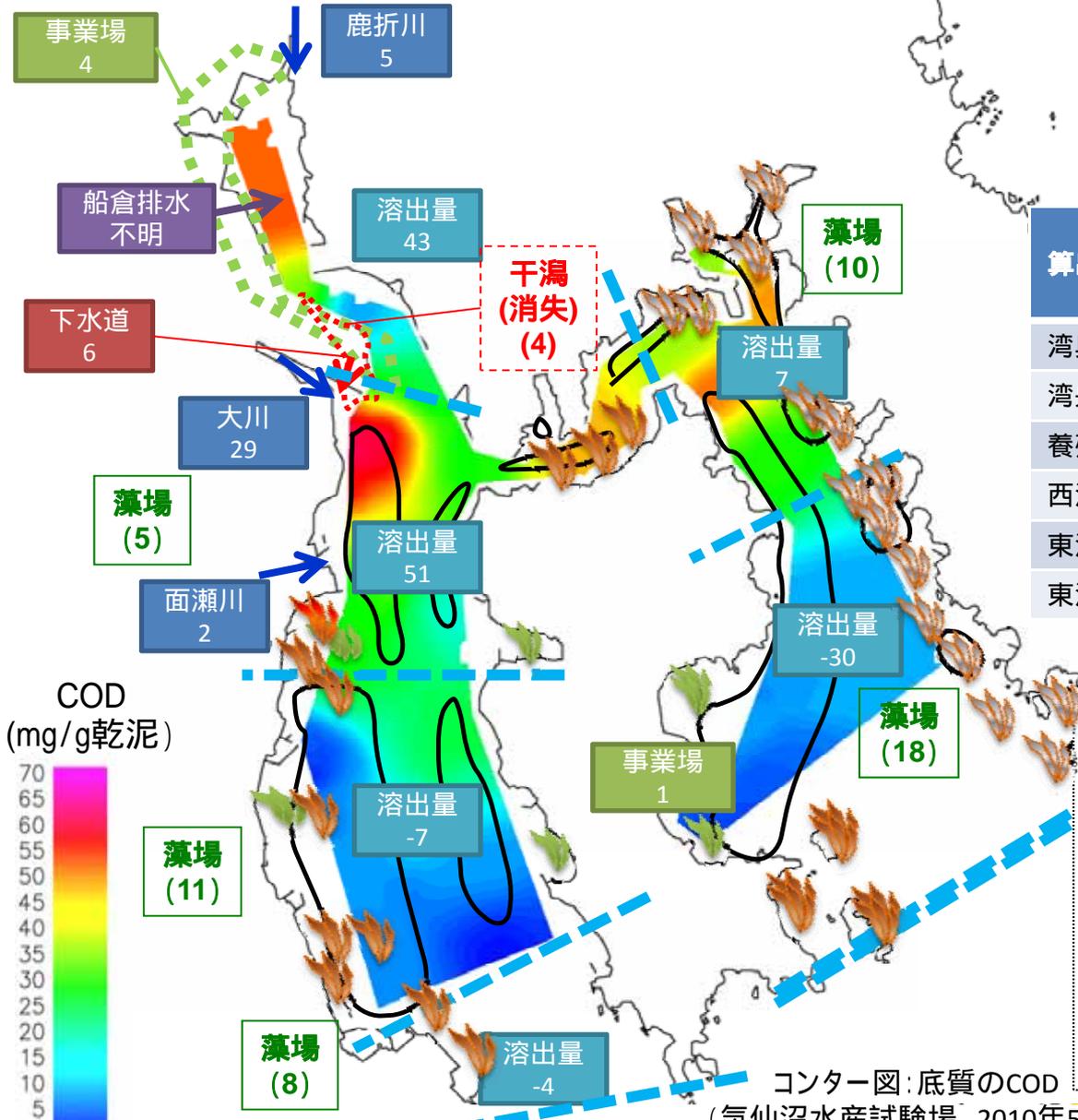
負荷量: 9月の値  
 除去量等: 年間値/366(日)  
 値を ( ) で表記

単位: kg/日

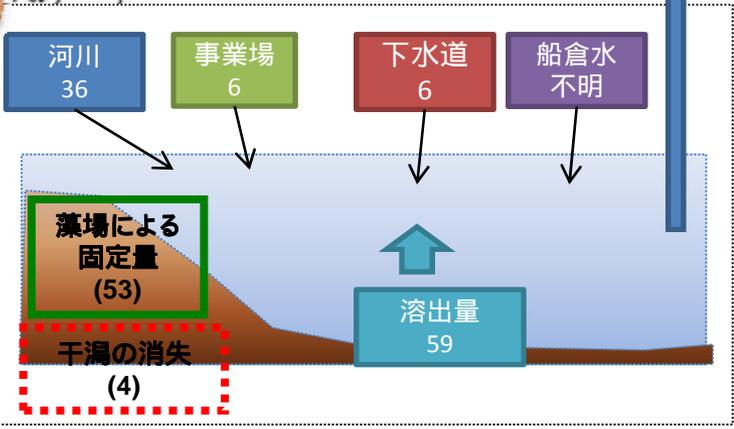
--- : 底質からの溶出量算出区分  
 ○ : 二枚貝養殖場(伊藤ら(2007))

算出区分	負荷量 - 除去量 固定量
湾奥	52
湾央	83
養殖場	-11
西湾湾口	-8
東湾湾奥	-3
東湾湾口	-17

-  テングサ場
-  ガラモ場、アラメ場、ワカメ場
-  アマモ場、アオサ・アオリ場
-  その他



**水産業による  
除去量  
(13)**



コンター図: 底質のCOD  
 (気仙沼水産試験場、2010年5月)

## 2. 気仙沼湾の健全化に向けて (1) 健全化の目標(案)および不健全な事象について

### 気仙沼湾の健全化に向けた検討

#### 健全化の目標とする海(案)の検討

##### 委員の方々からいただいた意見

###### 【目標とする海】

- ・不健全な事象の軽減・解消
- ・豊かに生育した、美味しい水産物
- ・美しい景観、きれいな海
- ・藻場とそれを利用する生態系
- ・水質の改善(環境基準の達成)

###### 【目標の検討とその後について】

- ・時期・場所の設定
- ・目標の具体的な提示
- ・市民・県民に分かりやすい指標
- ・科学的データの提示
- ・社会全体での取組

#### 【気仙沼湾における健全化の目標(案)】

##### 豊穡の海、恵みの海、安らぎの海 気仙沼 (仮)

豊かな自然環境のもと、水産業をはじめとする海の恵みを健全な物質循環の基に将来にわたって維持していく。



ヘルシープランに向けて次年度以降具体的な健全化目標を後述する基本方針案を基に検討

< 検討内容 >

改善目標、達成時期、健全度因子、目標達成指標

# 気仙沼湾の健全化に向けた検討

## 不健全な事象(案)の検討

現在生じており、今後も生じる可能性が高い事象  
湾内の生物、環境への悪影響が大きい事象



### 気仙沼湾で検討対象とする不健全な事象(案)

底質の悪化とそれに起因する貧酸素水および赤潮の発生

底質の悪化

貧酸素水の発生

赤潮の発生

### 委員の方々からいただいた意見

【不健全な事象】

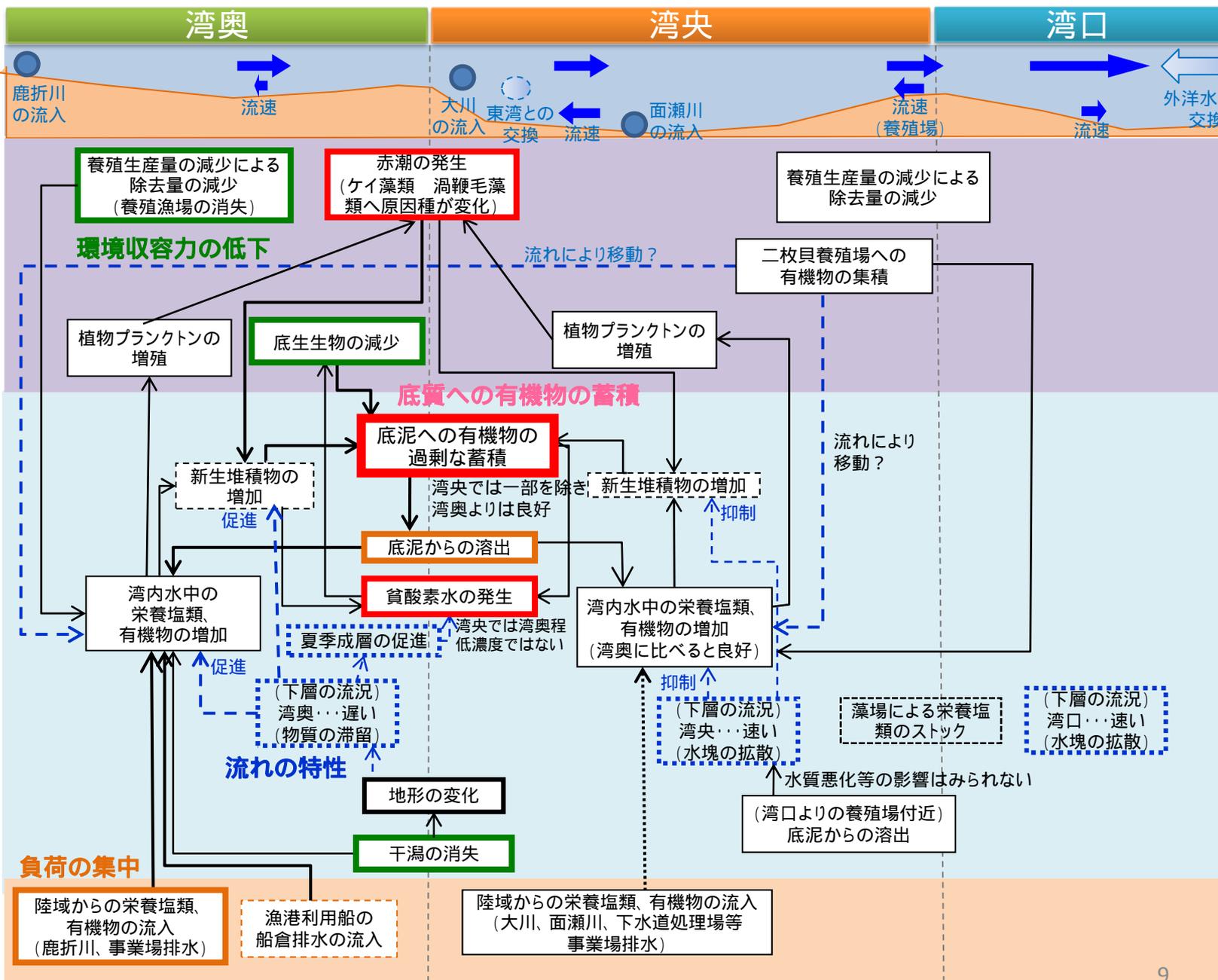
本年度としては、

「貧酸素水の発生」「赤潮の発生」「底質の悪化」を不健全な事象とする

→来年度必要に応じて見直し

# (2) 不健全化の要因について

## 気仙沼湾の物質循環に関する連関図



# 気仙沼湾における物質循環の不健全化の要因

気仙沼湾の物質循環に関して不健全化の要因として考えられる事項(前頁のフローより)

## 不健全な事象

**湾奥から湾央で不健全な事象が生じている。**

湾口(西湾・東湾):環境は比較的良好。大きな問題はみられていない。

**底質の悪化:**改善が進まない。一部では悪化傾向。

**赤潮の発生:**ほぼ毎年発生。昨年の秋季は、近年では規模の大きい赤潮が発生し、カキが出荷停止。赤潮原因種がケイ藻類から渦鞭毛藻類へ変化。

**貧酸素水の発生:**ほぼ毎年発生。規模不明。大きな被害は確認されていない。

## 不健全化の要因(湾奥)

### 【底質への有機物の蓄積】

- ・1960年代に底質の悪化が進み、1970年代以降改善が進んでいない。

### 【負荷源の集中】

- ・河川、事業場、漁港(船倉排水)等の負荷が集中。この他、汚濁した底泥からの溶出も。

### 【流れの特性】

- ・流速が低く、物質が滞留しやすい(本年度10月調査結果より推測)
- ・夏季底層水は湾口→湾奥に向かう傾向がある。(本年度10月調査結果より推測)

### 【環境収容力の低下】

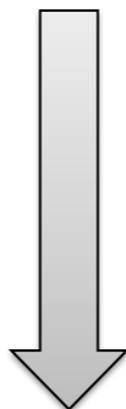
- ・大川河口付近に存在した干潟が消失(1960年代)
- ・湾奥の養殖漁場が事実上消失(ノリ、カキ:1960年代)
- ・夏季に底生生物が低下する傾向→高次生産に繋がる物質循環の滞り??

### (3) 健全化に向けた基本方針の検討

## 気仙沼湾の健全化に向けた基本方針(案)

#### (統括委員会案)

湾奥部の底質悪化機構の解明と湾奥部の底質環境の改善等による物質循環健全化



湾奥部→湾中央等でも悪化がみられるため**湾奥部等**とする。  
底質環境の改善等→赤潮や貧酸素水の要因となる**底質からの負荷を抑制**しつつ、**利用促進**を行うことにより物質循環の健全化を目指す。

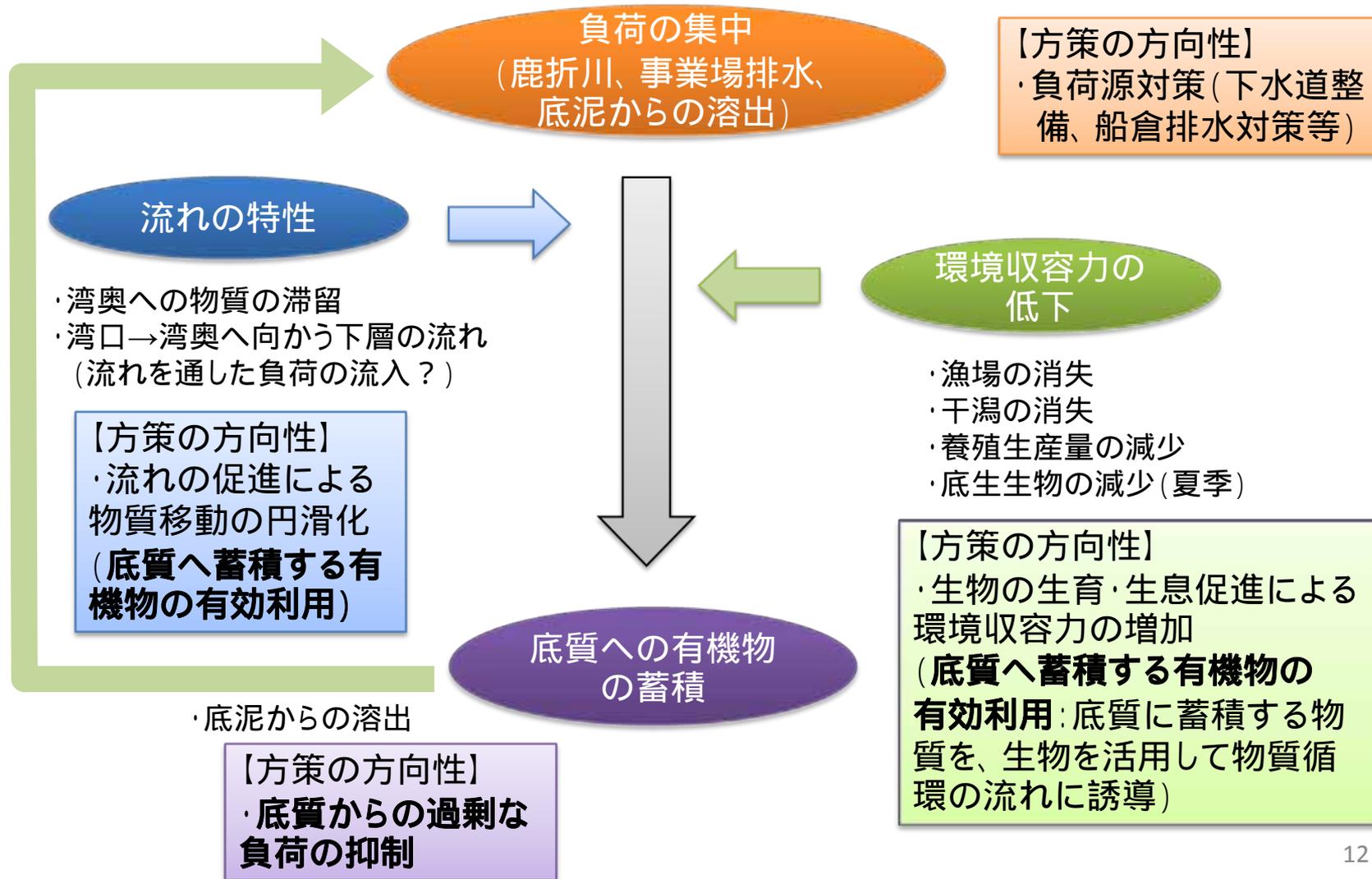
#### (地域検討委員会案)

湾奥部等の底質に由来する過剰な負荷の抑制および底質に蓄積する栄養塩類の利用促進による物質循環健全化

### 3. 物質循環円滑化のための方策について

#### (1) 方策メニューについて

## 湾奥等の物質循環円滑化のための方策



# 対処すべき要因と方策メニュー案

対処すべき要因	改善を目指す健全度因子	方策メニュー案
【負荷の集中】 ・河川からの負荷 (生活排水等)	・湾内への負荷 ・湾内水質のバランス(N,P,Si等)	・下水道整備(実施中) ・環境学習、市民講座 ・市民参加活動の開催・支援(生活排水対策活動、植林活動、海浜清掃) ・地産地消の推進
【負荷の集中】 ・船倉排水からの負荷 次年度調査等で検証	・湾内への負荷	・利用ルールの策定 ・氷積み場の整備(湾口等)
【流れの特性】 ・湾内の物質移動の円滑化	・湾奥に滞留する物質の移動	・湾奥の流れの促進 ・養殖筏の位置検討(緊急避難的対策)
【環境収容力の低下】 ・干潟の消失 ・水産物による系外への物質 除去量の低下 (高次生物の減少?) ・底生生物の減少(分解者)	・自然浄化機能等の環境収容力 (環境収容力の向上) ・水産物の養殖生産・漁獲量 (持続可能な水産業利用)	・湾奥での養殖復活(ノリ・ワカメ・コンブ等) ・底生生物の育成による分解促進 ・藻場の造成 ・干潟の造成 ・生物共生型護岸の整備
【底泥への有機物の蓄積】 ・底泥への有機物の蓄積	・湾内への負荷 ・底質環境 (生物生息環境の向上→ 環境収容力の向上)	・浚渫 ・覆砂(カキ殻等の覆砂材利用) ・底質改良 ・海底耕運

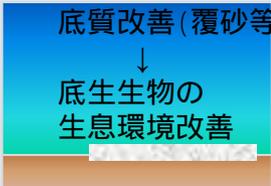
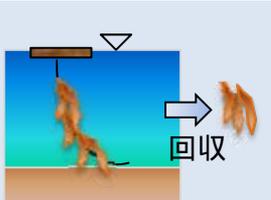
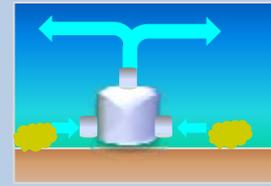
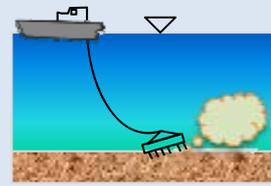
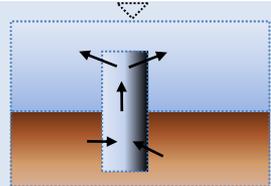
# (参考) 気仙沼湾および近隣の湾で実施されてきた対策メニュー

メニュー	内容	実施主体	成果
大規模浚渫	1976年から1987年にかけて、湾奥において実施。延べ浚渫面積は32万m <sup>2</sup> 、総浚渫土量は19万m <sup>3</sup> に上る。	宮城県	COD:約3千t、 全硫化物:約2百t除去
海浜清掃	海浜の環境保全やその意識の高揚などを目的に、毎年、多くの機関が清掃活動を行い、陸上からの汚濁負荷の軽減に努めている。	各種機関 (小中学校等)	-
【森は海の恋人】 運動	気仙沼湾の上流域で20年以上行われている広葉樹の植林活動を中心とした活動。環境教育をメインに森づくり、自然環境保全等を行っている。「森と海のかかわり」の視点に立った先駆的な活動。	N P O 森は海の恋人	これまでに約3万本の落葉広葉樹を植樹。平成2年から体験学習を開始し、参加した子供は、10,000人を超える。 (宮城県応募資料より)
(参考) 海藻活用水質 浄化事業	松島湾で実施。アカモクによる藻場造成と回収による水質浄化事業(H14~)。	宮城県	アカモクを用いた藻場造成の実証研究、堆肥化や食品としての利用に向けた開発研究を実施した。
(参考) 海底清掃と耕運	仙台新港沖において海底耕耘試験を実施。耕運は石巻地区の漁協でも実施。	宮城県 宮城県漁業協同組合	底質のCODや強熱減量に改善傾向がみられた。
(参考) 海中造林と磯根 資源管理	志津川湾において、磯焼け対策として、阻害要因となる生物の駆除や、アラメの移植を実施。海中造林は牡鹿半島でも実施。	宮城県漁業協同組合	-

## (2) 実証試験(案)の検討

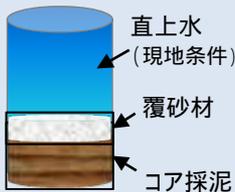
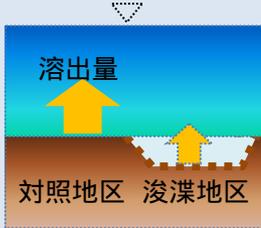
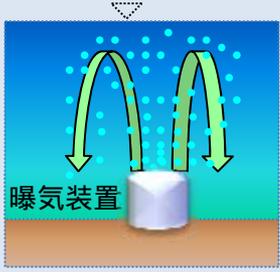
### 実証試験(案)の検討 1/3 - 有機物・栄養塩類の利用促進 -

環境収容力の向上や、湾内の流れの促進等により、底質に蓄積する物質の物質循環を通じた利用促進を図る。

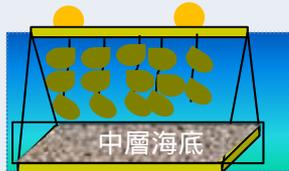
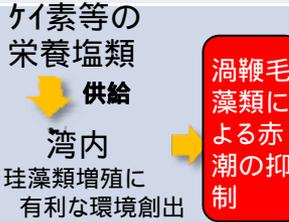
	実証試験の概要	イメージ図	検証項目	メリット	デメリット	健全化の方向性
1	環境収容力の向上 【底質改善による底生生物相の変化試験】 覆砂等により底生生物の生息環境を改善し、底生生物による有機物の分解と吸収を促進		・生物の生息生育状況 ・水質、底質の変化	・覆砂材として、養殖廃材である貝殻の利用可能性あり。 ・石巻湾でナマコ養殖の実績あり	・効果を出すには有る程度の事業規模が必要である可能性がある。 ・覆砂材が底泥に埋没する可能性がある。	・環境収容力の向上
2	【海藻を用いた水質浄化試験】 海藻類の養殖と回収により水質浄化を促進		・方策に適した海藻の種類 ・海藻の生育状況 ・水質の変化	・地元漁業者との連携が図れる。 ・松島湾でアカモクによる浄化試験の実績あり。 ・養殖種であれば、回収後の利用も容易にできる。	・事業実施場所の確保が困難である可能性がある。	・環境収容力の向上 ・湾内から陸域への物質循環の強化
3	湾内の物質移動の円滑化 【水流発生装置による鉛直流の誘起試験】 水流発生装置により、底層付近に滞留する物質を表層に移動させ、湾内への拡散を促進		・水質、底質の変化	・実海域での利用実績がある。	・装置設置の植費用及び装置維持のための管理、管理費用の負担が大きい。	・物質移動の円滑化
4	底質の分解促進 【海底耕運効果試験】 海底を耕運することにより、底質の分解を促進		・水質、底質の変化	・地元漁業者との連携が図れる。	・効果が明確でない。 ・一時的に水質が悪化する可能性がある。	・底質環境の改善 ・物質移動の円滑化
5	【ストレーナー利用による底質分解促進試験】 多孔質のストレーナーを底質に貫入させ、底質中の有機物分解を促進(間隙水の交換)		・水質、底質の変化 ・ストレーナーを通じた溶出量	・底質の表層だけでなく、より下層における有機物の分解の促進が期待できる。	・実海域での利用実績がない。 ・底質からの溶出による負荷量が過剰になる可能性がある。	・底質環境の改善 ・物質移動の円滑化

# 実証試験(案)の検討2/3 - 底質からの過剰な負荷の抑制 -

水中への過剰な負荷となる底泥からの溶出を抑制する。

	実証試験の概要	イメージ図	検証項目	メリット	デメリット	健全化の方向性
6	底質からの過剰な負荷の抑制 【貝殻(カキ殻、ホタテガイ殻)を用いた覆砂効果試験】 地元養殖場から発生する廃材である貝殻を用いて覆砂を実施し、底質環境を改善すると共に底質からの負荷を抑制		<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆砂材の厚さの条件</li> <li>・覆砂材の条件 (貝殻の種類、破砕度)</li> <li>・水質、底質の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期的に効果があらわれる。</li> <li>・地元養殖業から発生する廃材を利用しており、地元との連携が図れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カキ殻使用の法的制限がないか。</li> <li>・効果を出すには有る程度の事業規模が必要である可能性がある。</li> <li>・覆砂材が底泥に埋没する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質環境の改善</li> <li>・底質に由来する負荷の抑制</li> </ul>
7	底質からの過剰な負荷の抑制 【浚渫効果試験】 底質に蓄積する有機物を浚渫により除去し、底質環境を改善		<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模な浚渫を行い对照地区と比較</li> <li>・浚渫厚さ</li> <li>・水質、底質の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気仙沼湾での実績あり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業費高い。</li> <li>・効果不明(継続性も含め)</li> <li>・浚渫土砂の処理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質環境の改善</li> <li>・底質に由来する負荷の抑制</li> </ul>
8	底質からの過剰な負荷の抑制 【曝気効果試験】 曝気装置を海底に設置し、海水の攪拌を促進し、底質環境を改善 貧酸素は大きな問題とはなっていない。		<ul style="list-style-type: none"> <li>・水質、底質環境の変化 (夏季成層構造の変化)</li> <li>・曝気装置の設置・運用に係る課題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貧酸素水の発生抑制 (→嫌気状態による底泥からの溶出の抑制)</li> <li>・海水攪拌の促進 (底層から表層への物質移動促進の可能性)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・装置設置の植費用及び装置維持のための管理、管理費用の負担が大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質環境の改善</li> </ul>

- ・養殖場に集積する有機物の流出抑制や湾内から陸上への物質循環の強化により、湾内の流れを通じて湾奥への負荷となる可能性のある物質の流出を抑制する。
- ・水質バランスの向上により、漁業被害等の生じる植物プランクトンによる赤潮の発生を抑制する。

	実証試験の概要	イメージ図	検証項目	メリット	デメリット	健全化の方向性
9	底質悪化の抑制 【中層海底の設置試験:二枚貝養殖筏直下に集積する有機物の分解促進】 二枚貝養殖筏直下に中層海底を設置し、沈降する有機物の分解を促進		<ul style="list-style-type: none"> <li>・海底への有機物堆積量</li> <li>・中層海底における堆積物の分解状況</li> <li>・中層海底設置・運用に係る課題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地元漁業者との連携が図れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湾奥から湾中央の底質への影響が不明。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底質環境の改善</li> </ul>
10	【養殖筏への付着生物のバイオマス利用試験】 養殖筏へ付着する生物を地域でバイオマス利用(貝殻覆砂、肥料等)することにより、湾内から陸域への物質除去量を増加		<ul style="list-style-type: none"> <li>・付着生物回収から利用までのコスト・労力</li> <li>・肥料としての有効性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地元漁業者との連携が図れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業としての継続性の確立が困難。(地元需要との適合性)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湾内から陸域への物質循環の強化</li> </ul>
11	【天然藻場の海藻バイオマス利用試験】 天然藻場の海藻を肥料等に利用し、湾内の物質除去量を増加すると共に陸域で利用を促進		<ul style="list-style-type: none"> <li>・海藻類の回収から肥料利用までのコスト・労力</li> <li>・肥料としての有効性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地元NPOの植林活動等、地域の活動との連携が図れる。</li> <li>・環境学習プログラムとして利用しやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業としての継続性の確立が困難。(地元需要との適合性)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・湾内から陸域への物質循環の強化</li> </ul>
12	水質バランスの向上 【湾内における栄養塩類バランスの制御試験】(仮説検証要) 湾内の栄養塩類バランスのコントロールによりケイ藻類に有利な環境へ誘導し、渦鞭毛藻類による赤潮を抑制		<ul style="list-style-type: none"> <li>・湾内の栄養塩類バランスと植物プランクトンの種組成との関係性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上手く制御ができれば、効果の持続性が期待できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・栄養塩類バランスのコントロール手法が確立されていない。</li> <li>・最適な栄養塩類バランスの把握が困難。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水質バランスの向上</li> </ul>