

(2) 冬季現地調査の 結果について

資料2の目次

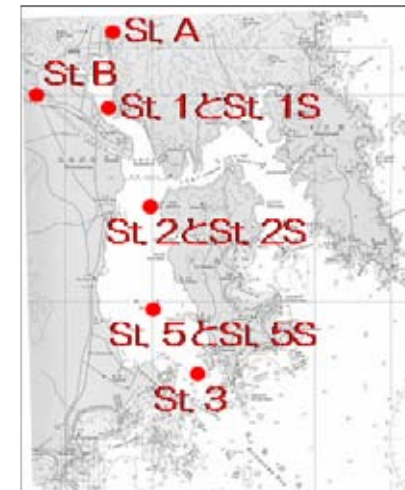
項目	内容	ページ
1．底泥の悪化要因解析	C、N安定同位体比による要因解析	1～5
2．物質循環に必要な情報収集	水中ケーブルカメラによる底質の確認	6
	流況	7～9
3．物質循環に関する考察 ～夏季及び冬季調査の結果を踏まえて～	流況	10
	湾奥の底質と流況、降水量	11
	栄養塩（窒素）の循環	12
	栄養塩（リン）の循環	13
	赤潮と栄養塩の循環	14
	DOと流況、底質	15
4．物質循環に関する調査結果のまとめ ～湾奥の環境を中心として～		16
5．本調査で明らかになった点		17
6．今後の課題		18

1. 底泥の悪化要因解析：湾奥の悪化した堆積物の起源の推定

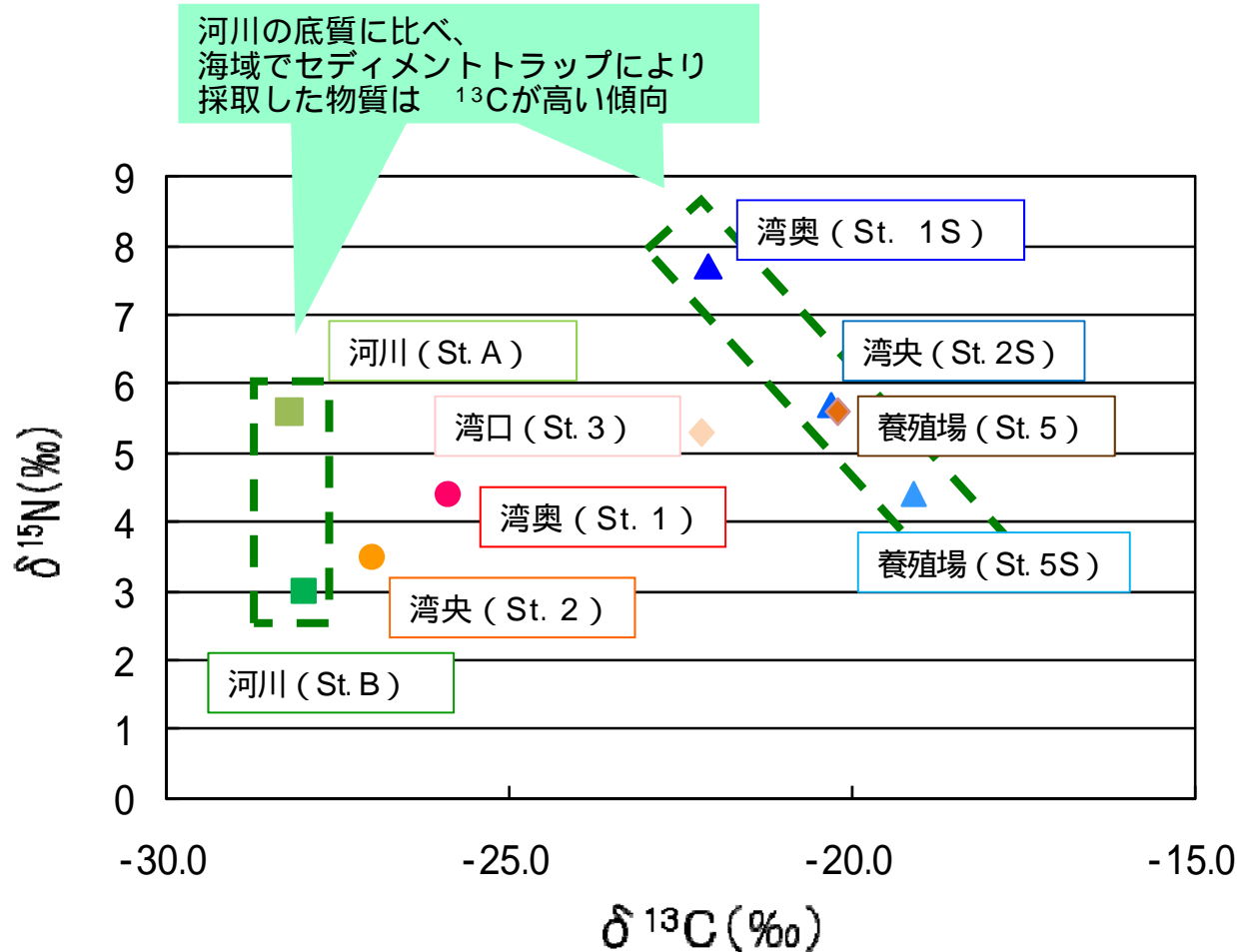
(1) C、N安定同位体の結果【C、N安定同位体の分布図】

C、N安定同位体の結果をまとめると、

^{13}C をみると、海域においてセディメントトラップにより採取された沈降物には、海起源物質が多く含まれていると考えられる。



注) 「St. 1S」の「S」は、セディメントトラップ調査により採取された試料を表す



(参考)
 ^{13}C は上流から河口域にかけて値が
上昇する
(例：東京・多摩川)
- 31.8‰ (淡水域)
- 19.6‰ (高塩分域)
【陸上植物と海洋プランクトンの ^{13}C 値の例】
- 25 ~ - 27‰ (陸上植物)
- 19 ~ - 22‰ (海洋プランクトン)

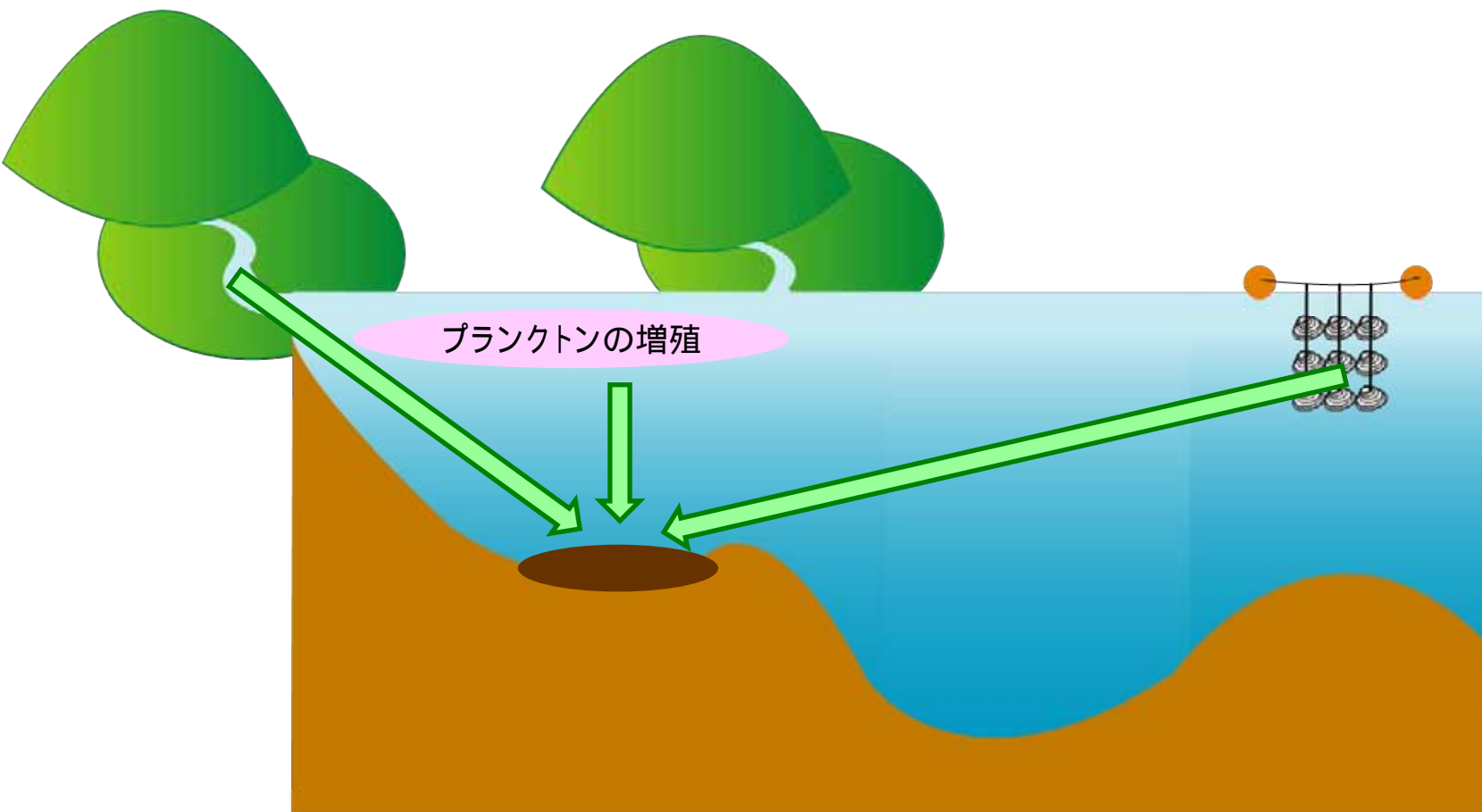
1. 底泥の悪化要因解析：湾奥の悪化した堆積物の起源の推定

(2) 悪化要因解析の前提条件

分析結果より、湾奥、湾央の底質中の有機物（COD、TOC）が養殖場、湾口に比べて多いことが分かった。
湾奥、湾央への有機物の負荷源として、

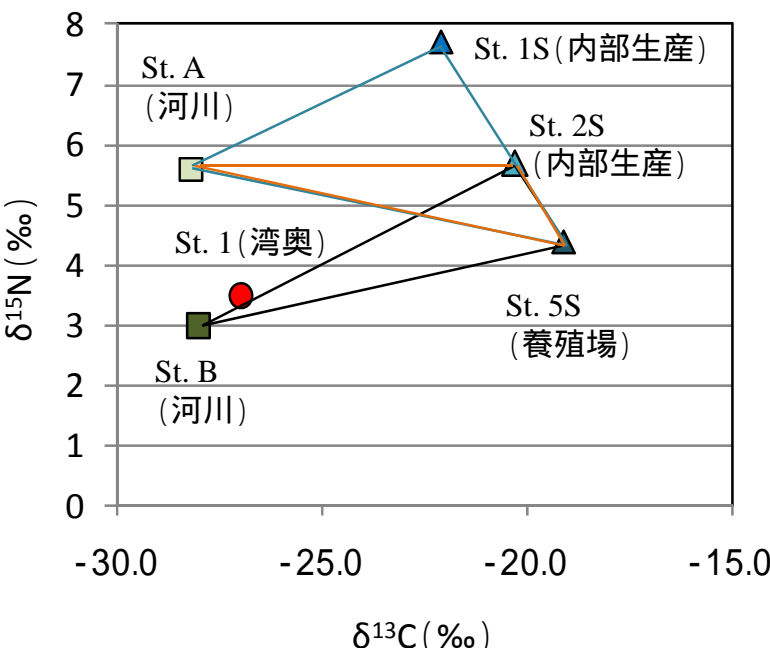
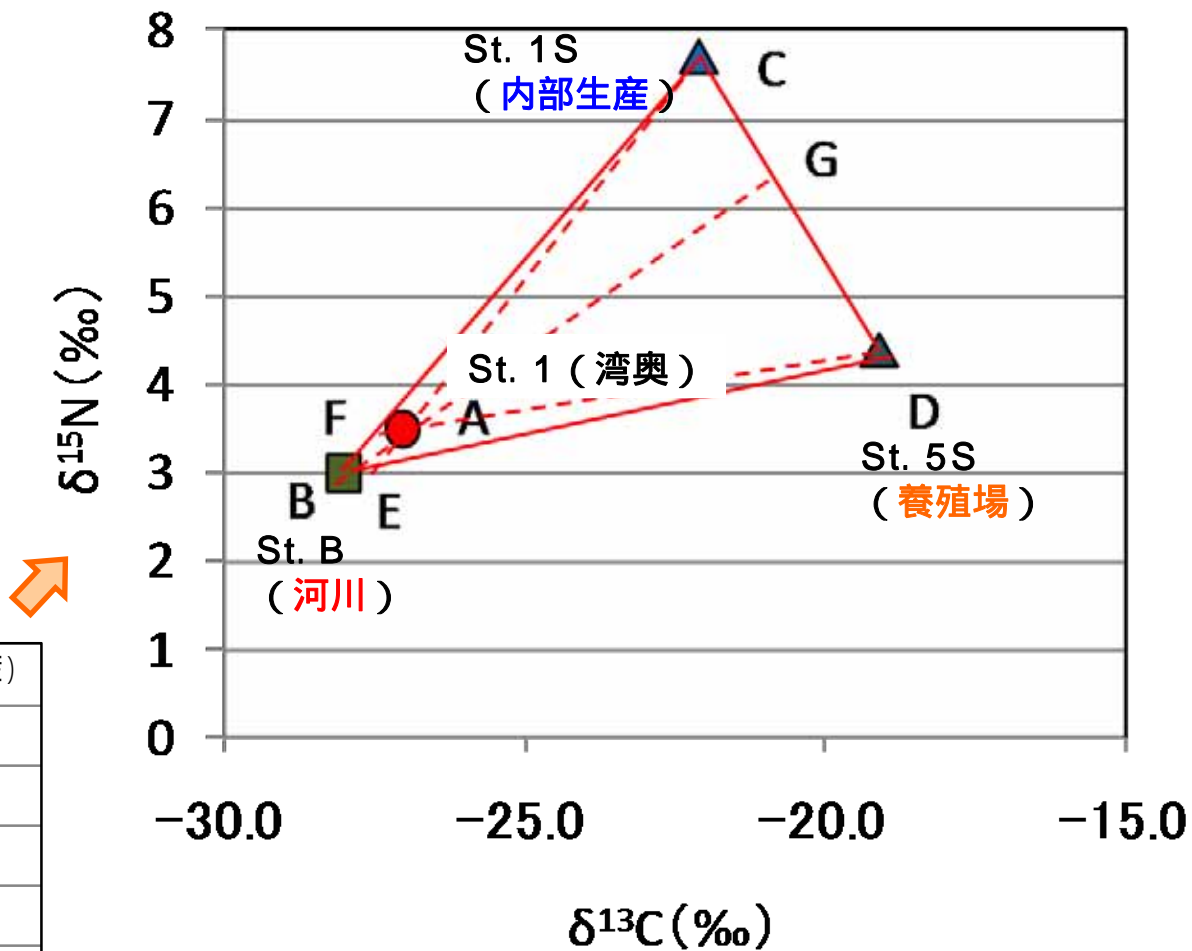
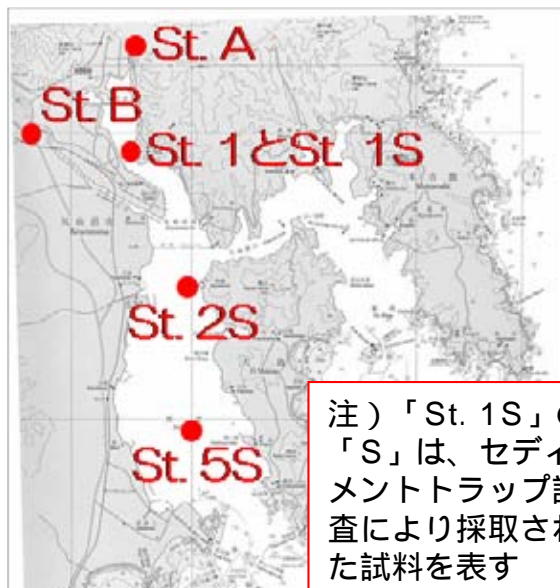
1. 河川からの負荷
2. 植物プランクトンの増殖（内部生産）による負荷
3. 養殖による負荷

が大きいと仮定した。



1. 底泥の悪化要因解析：湾奥の悪化した堆積物の起源の推定

(3) 湾奥 (St. 1) の起源の推定



湾奥の底質の起源を、河川、内部生産、養殖場とすると湾奥の堆積物に占める

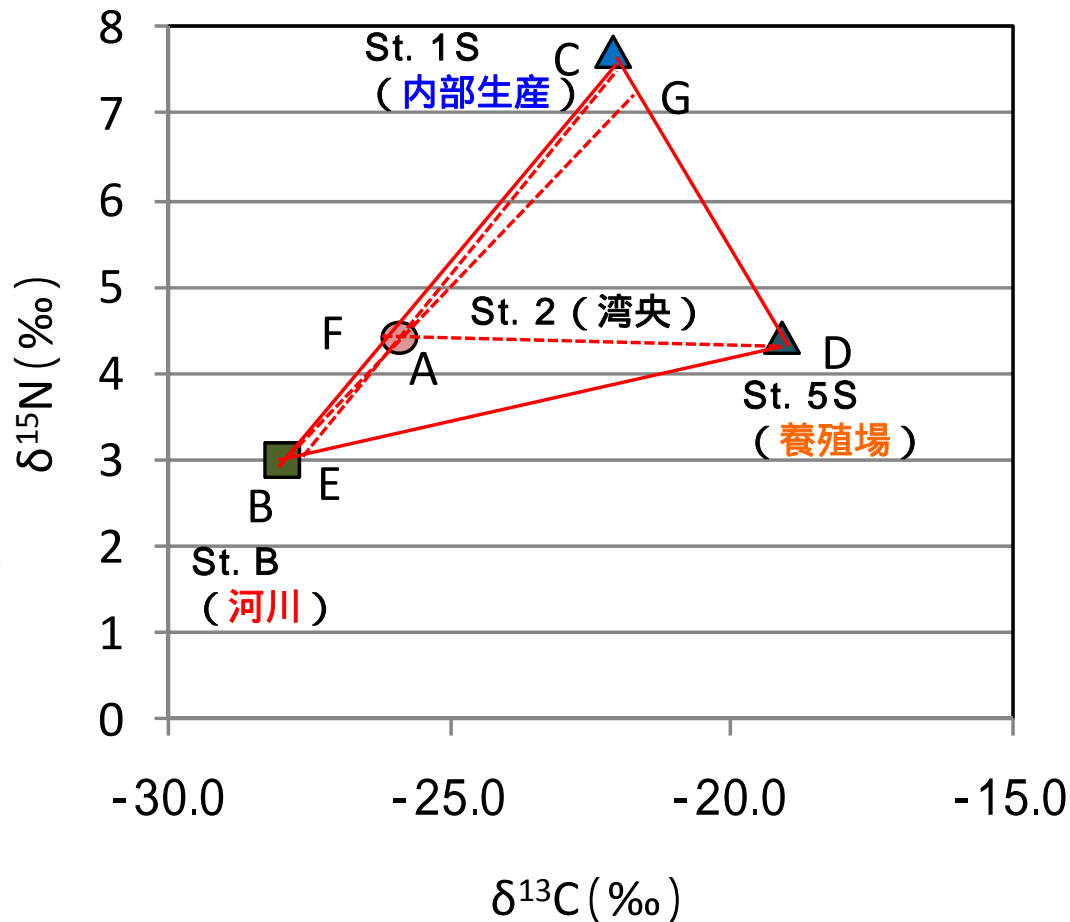
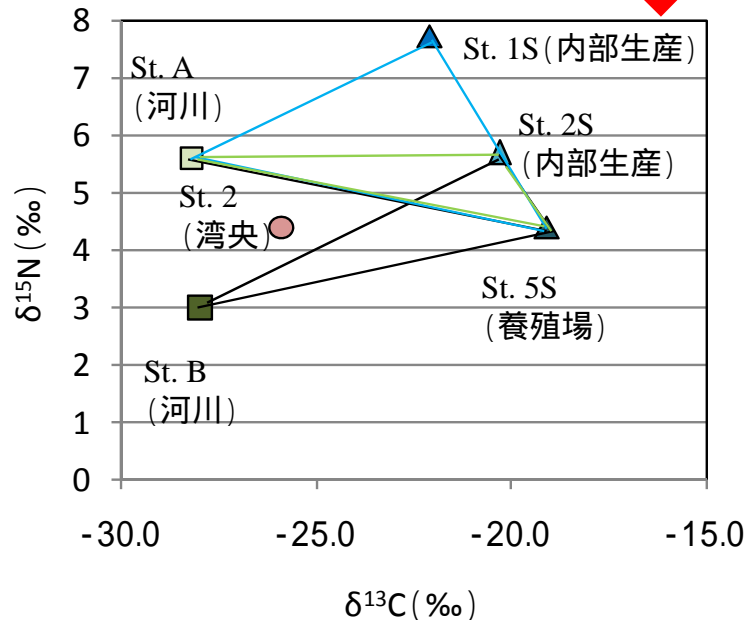
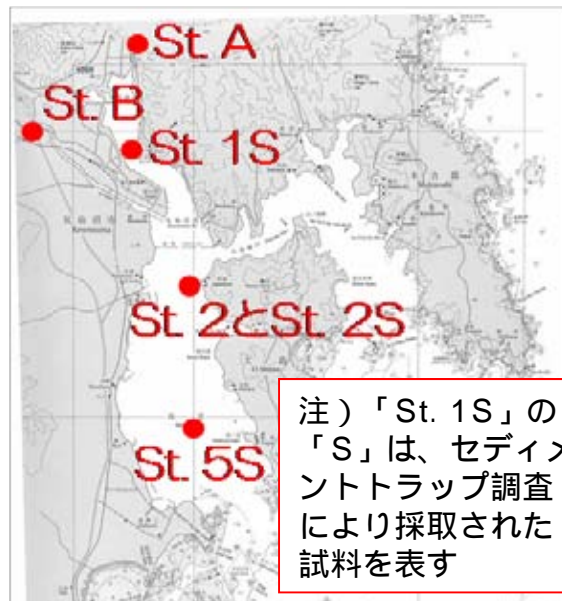
河川の割合 = $(AG/BG \times 100) = 85.7\%$

内部生産の割合 = $(AE/CE \times 100) = 13.0\%$

養殖場の割合 = $(AF/DF \times 100) = 5.2\%$

1. 底泥の悪化要因解析：湾奥の悪化した堆積物の起源の推定

(4) 湾央 (St. 2) の起源の推定



湾央の底質の起源を、河川、内部生産、養殖場とすると湾央の堆積物に占める

河川の割合 = $(AG/BG \times 100) = 66.8\%$

内部生産の割合 = $(AE/CE \times 100) = 28.4\%$

養殖場の割合 = $(AF/DF \times 100) = 4.8\%$

1. 底泥の悪化要因解析：湾奥の悪化した堆積物の起源の推定

(5) 推定と今後の課題

【C、N同位体比による結果】

- ・湾奥、湾央の底質ともに、河川からの粒子が多いことが考えられる。

【流況】

- ・夏季調査（10月）では、下層（海底上1.0m）では、北への流れが卓越

大川から流入する粒子が湾奥へ運ばれている可能性がある。

【推察】

- ・湾奥の底質は、河川由来の可能性が推察される。

【課題】

- ・C、N同位体の結果を検証する方法が必要。
- ・内部生産が赤潮起源のものだと考えられる。そのため、平常時の測定が必要だと考えられる。

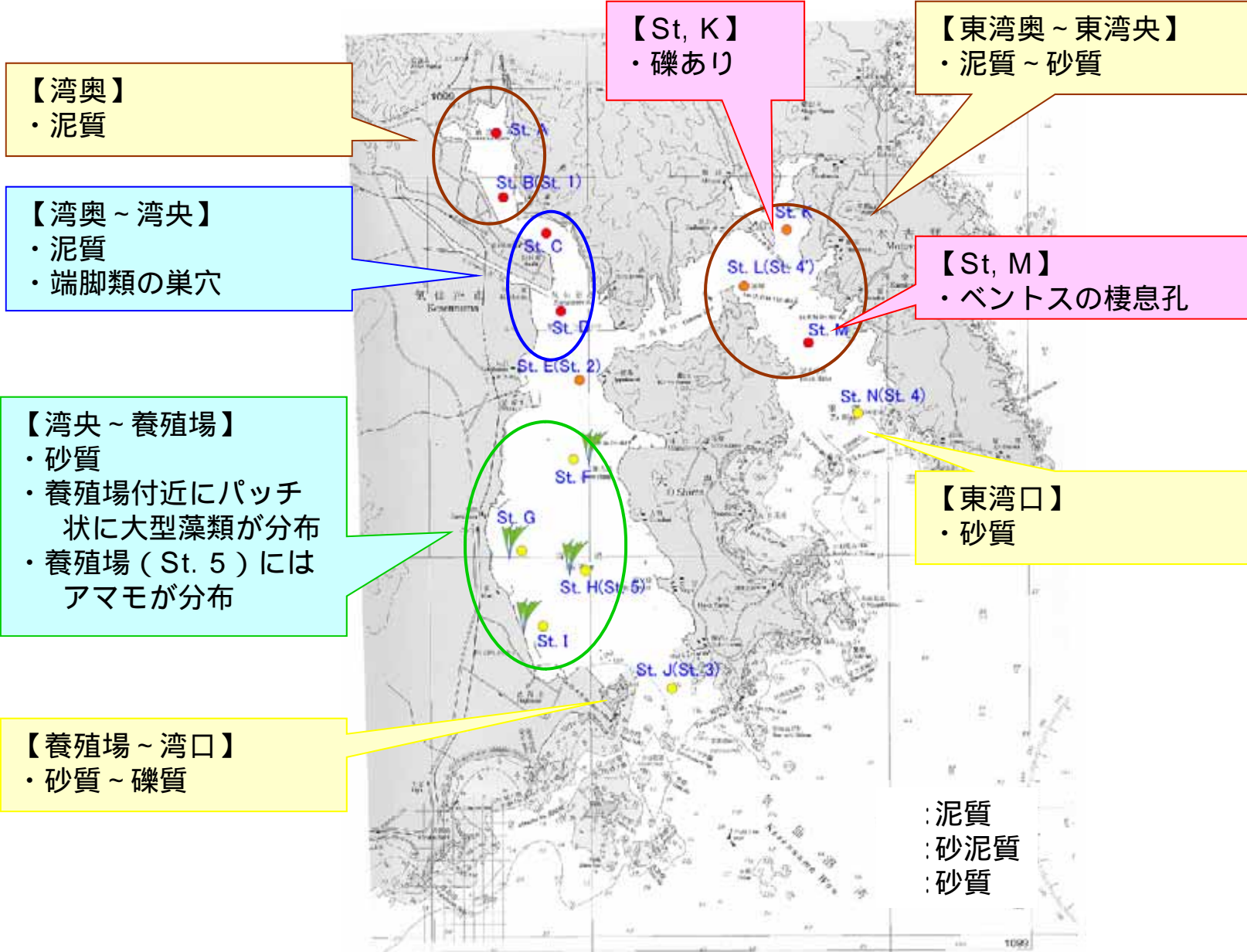
【過去の干潟の形状】

- ・大川河口域の干潟は、湾奥の方が大きい。



河口からの土砂は、湾奥への方に堆積している可能性がある。

2. 物質循環に必要な情報収集：水中ケーブルカメラによる底質の確認



2. 物質循環に必要な情報収集：(1) 流況(経時変化と調和分解)

[夏季調査]

- ・風速は0.3 cm/sと弱い。風向も周期的に北、南と変化した。
- ・潮汐 (M_2) の影響は西湾口 (St. 3) で小さい値だが、西湾口 (St. 3) では他地点に比べて若干大きい。

[冬季調査]

- ・風速は2.2 cm/sと弱く、北風が卓越した。
- ・潮汐 (M_2) の影響は西湾口 (St. 3) で小さい値だが、西湾口 (St. 3) では他地点に比べて若干大きい。
- ・表層の流向は、夏季調査より南流が卓越した。

湾奥 (St 1)

湾中央 (St 2)

養殖場 (St 5)

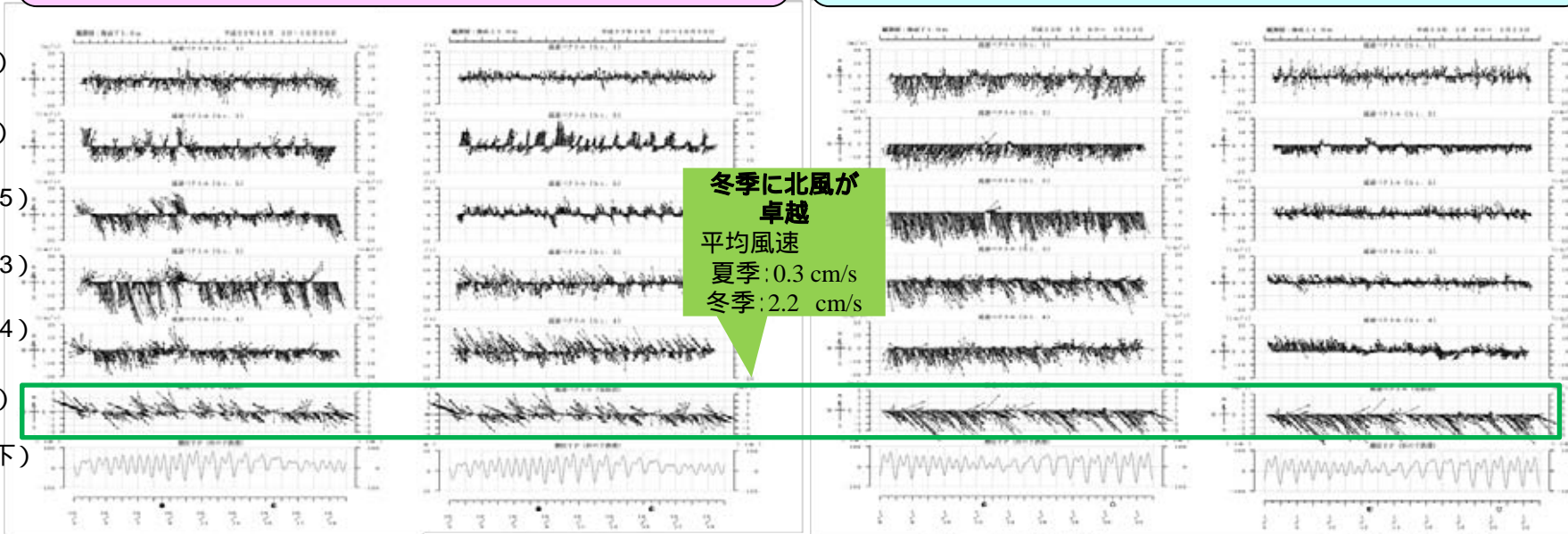
西湾口 (St 3)

東湾口 (St 4)

風 (気仙沼)

潮位 (杉の下)

冬季に北風が卓越
平均風速
夏季: 0.3 cm/s
冬季: 2.2 cm/s

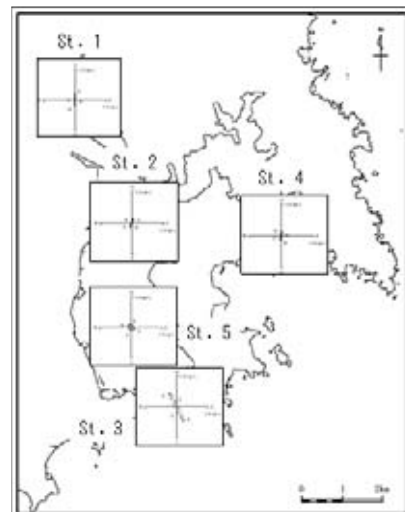


表層(海面下1.0 m)の経時変化

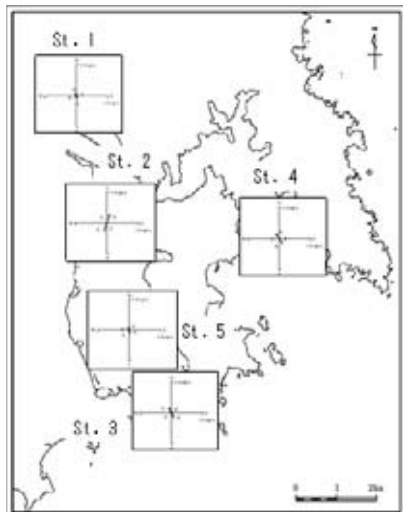
下層(海底上1.0 m)の経時変化

表層(海面下1.0 m)の経時変化

下層(海底上1.0 m)の経時変化

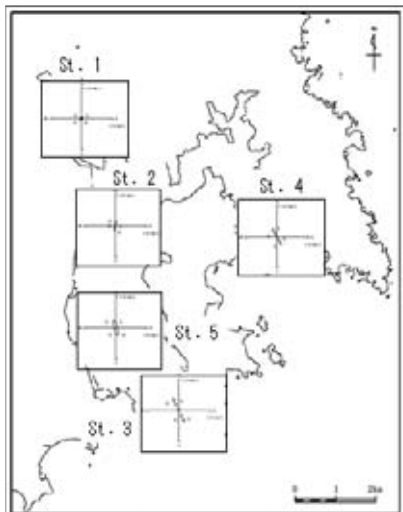


表層の調和分解(夏)

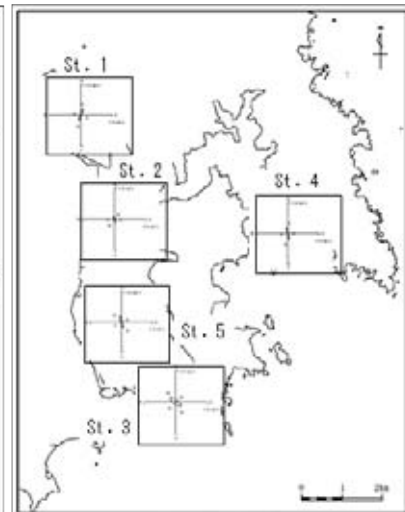


下層の調和分解(夏)

【夏季調査における流況の経時変化と調和分解】



表層の調和分解(冬)



下層の調和分解(冬)

【冬季調査における流況の経時変化と調和分解】

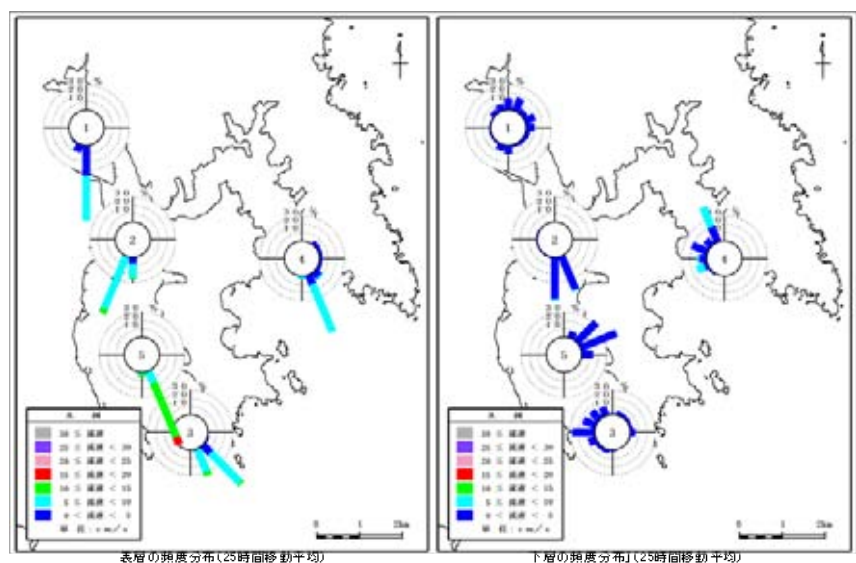
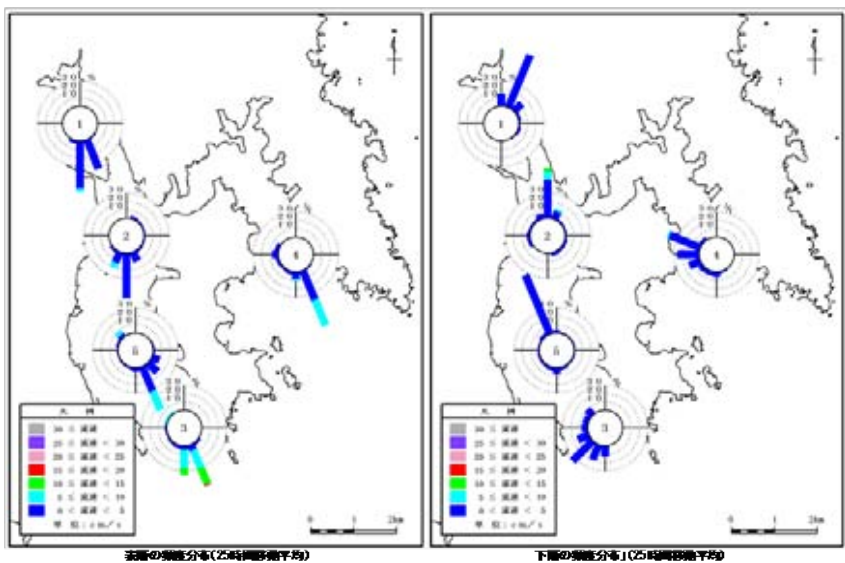
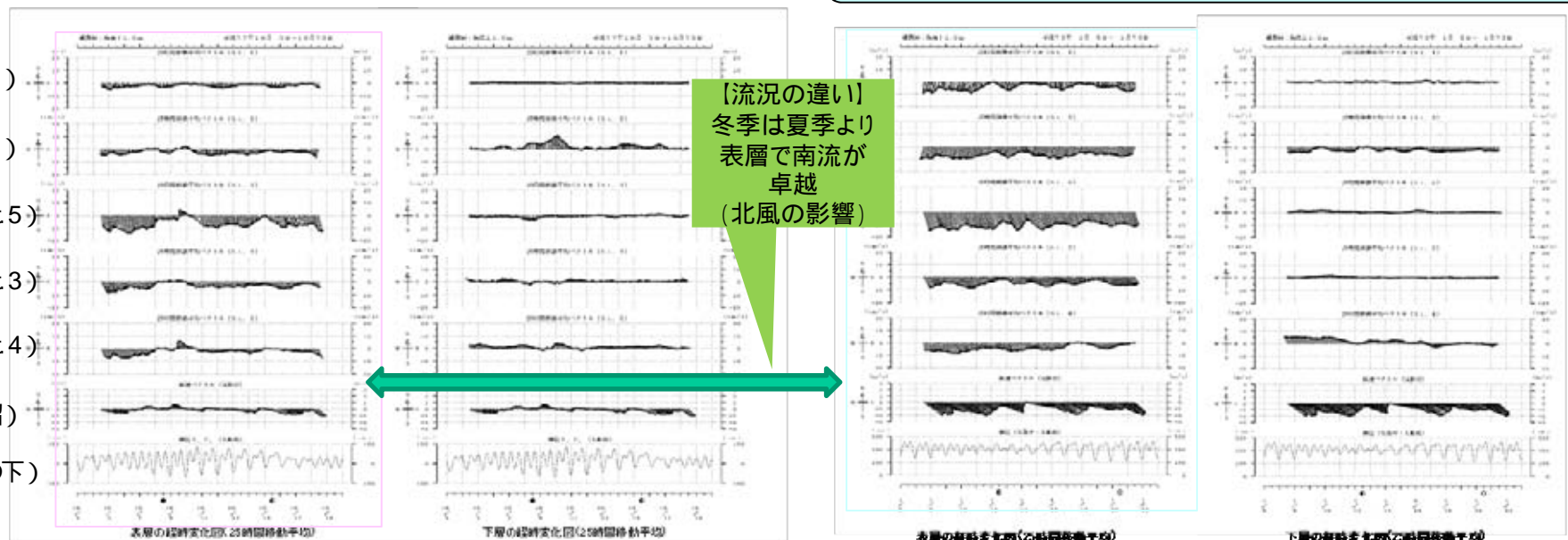
2. 物質循環に必要な情報収集：(2) 流況(潮汐残差流)

【夏季調査】
 (表層)・湾奥を除く地点で、風向の変化に関連性を確認。
 (下層)・湾奥～湾央～養殖場で北流を確認。

【冬季調査】
 (表層)・夏季に比べて北風の卓越したことで全地点で南流が卓越。
 (下層)・下層では湾央で南流が、養殖場で北西流が卓越した。

湾奥 (St 1)
 湾央 (St 2)
 養殖場 (St 5)
 西湾口 (St 3)
 東湾口 (St 4)
 風 (気仙沼)
 潮位 (杉の下)

【流況の違い】
 冬季は夏季より
 表層で南流が
 卓越
 (北風の影響)



【夏季調査における25時間移動平均流の経時変化と調和分解】

【冬季調査における25時間移動平均流の経時変化と調和分解】 8

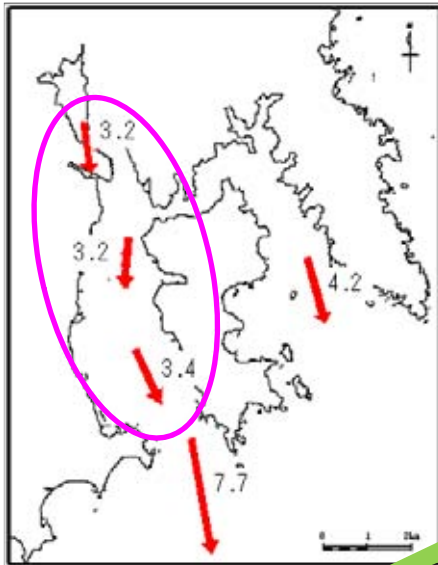
2. 物質循環に必要な情報収集：(3) 流況(平均流)

[夏季調査]

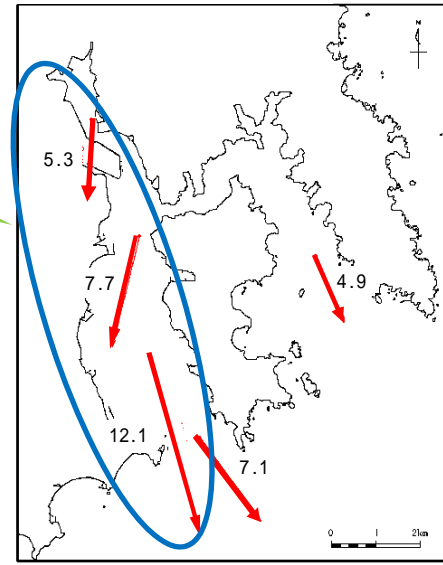
- (表層)・湾奥を除く地点で、風向の変化に関連性を確認。
- (下層)・湾奥～湾央～養殖場で北流を確認。
- ・西湾口では、湾内への流れ(北西流)より南西流が大きい。

[冬季調査]

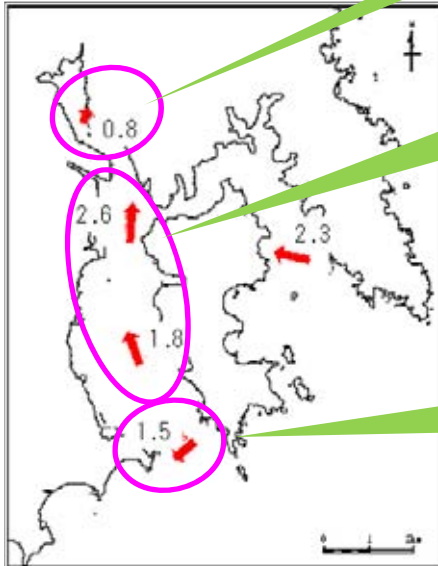
- (表層)・夏季に比べて北風の卓越することで全地点で南流が卓越。
- (下層)・下層では、湾央で南流が、養殖場で北西流が卓越した。
- ・夏季調査に比べて、西湾口で湾内への流れになり、東湾口で湾内への流れが速くなった。



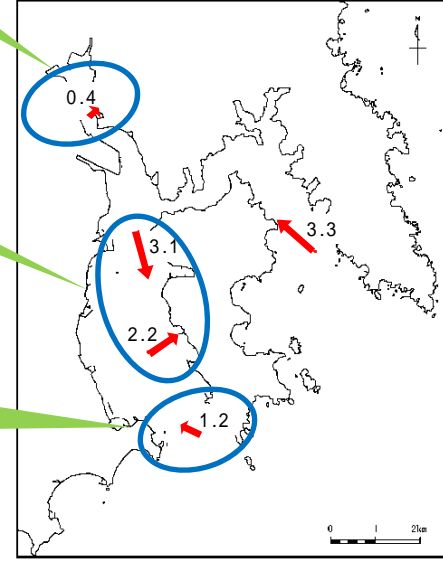
【表層の流況】
湾口除く地点で南流が速くなる。



【湾奥の下層】
・流速が最も遅い。



【湾央、養殖場の下層】
夏季:両地点で北流、
冬季:湾央で南流
養殖場で北東流

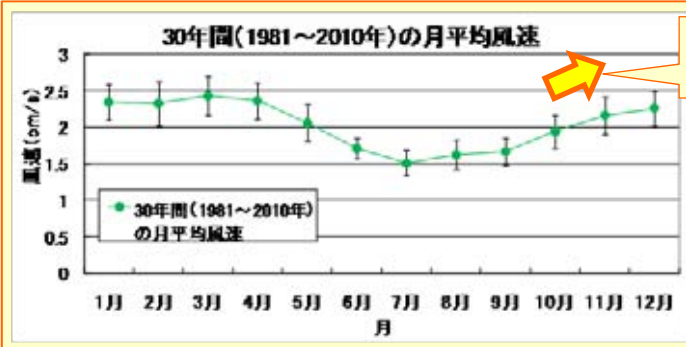


【西湾口の下層】
夏季:南西流
冬季:北西流

3. 物質循環に関する考察 (流況) : 夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

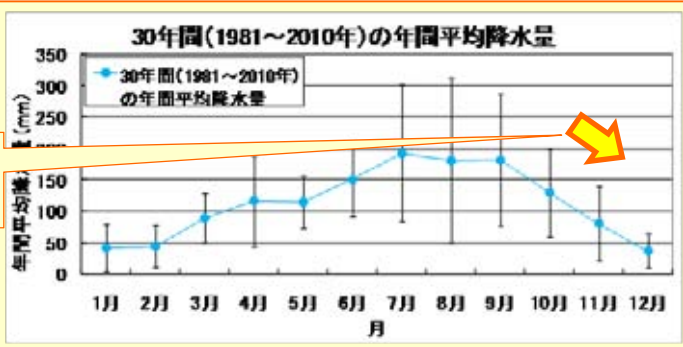
【流況】

- ・ 風が弱まる夏季は、河川流入によって、湾奥から養殖場でエスチュアリー循環が発生する。
- ・ 北風が強くなる冬季は、表層は南向きの吹送流が、下層では湾口における湾内への流れ、海底地形によって湾央～養殖場に還流が発生する。



秋から冬にかけて風速が速くなる

秋から冬にかけて降水量が減少



(水質調査)
・ 全地点の表層で、下層に比べて低塩分

(風の影響)
・ 平均風速 0.3 cm/s

(西湾口の平均流)
・ 湾内への流れが弱い。

【夏季調査】
・ エスチュアリー循環 (湾奥～養殖場)

- 河川流入によって表層の南流
- 下層は北流が卓越
- 外洋からの流入が小さい
- 養殖場で水深が浅くなる海底地形

湾奥～養殖場付近の下層で北向きの流れになる。

【冬季調査】
・ 下層で還流 (湾央～養殖場)

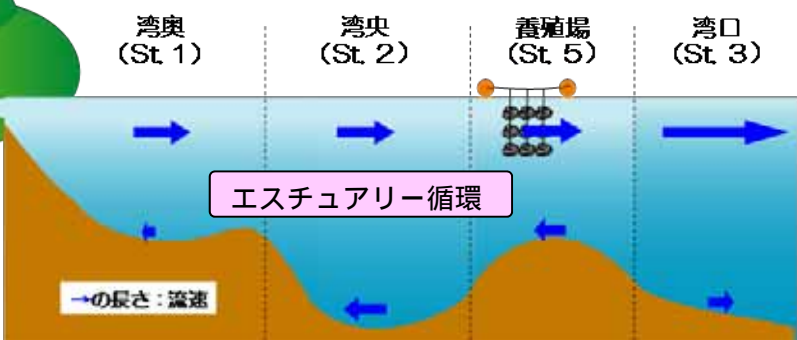
- 北風の卓越による表層の南流
- 湾央の下層で南流が卓越し
- 養殖場では北東流が卓越する
- 外洋からの流入がある
- 養殖場で水深が浅くなる海底地形

表層は南向きの吹送流、下層では還流が発生している可能性がある。

(水質調査)
・ 湾奥、湾央のみの表層で下層に比べて低塩分

(風の影響)
・ 平均風速 2.2 cm/s
・ 北風の卓越

(西湾口の平均流)
・ 湾内への流れが強い。



【夏季におけるエスチュアリー循環】



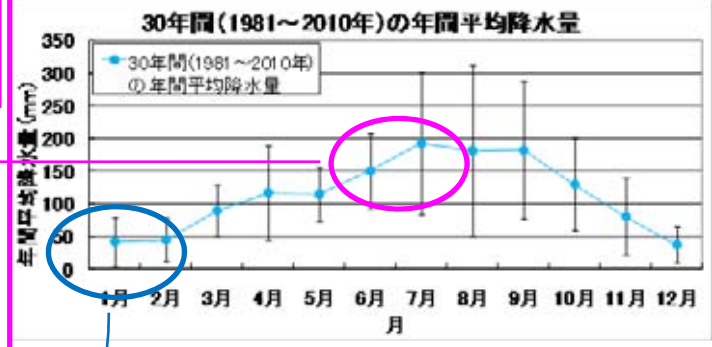
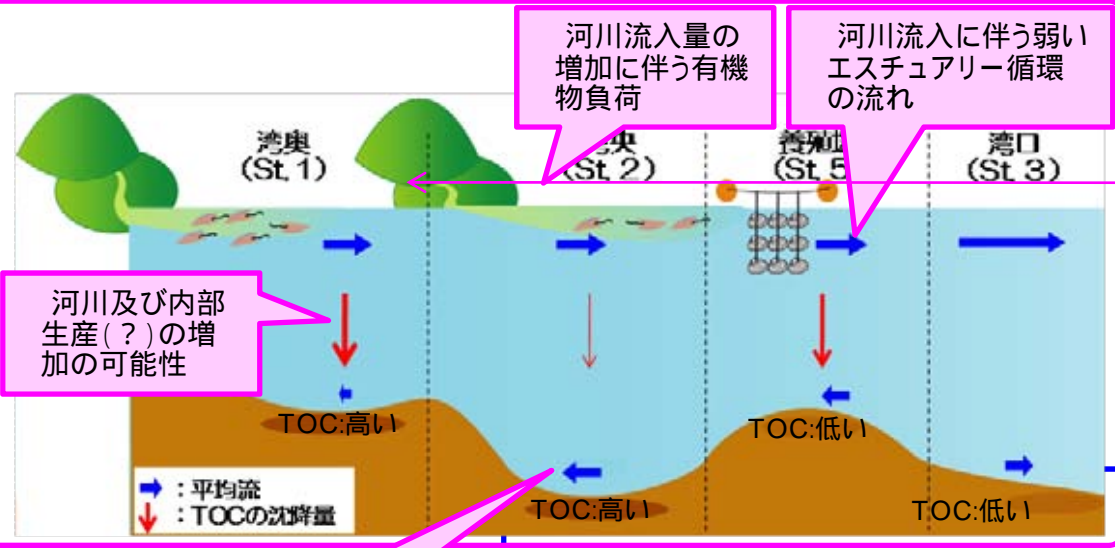
【冬季の下層における還流の発生】

3. 物質循環に関する考察（湾奥の底質と流況、降水量）：夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

【湾奥の底質と流況、降水量】

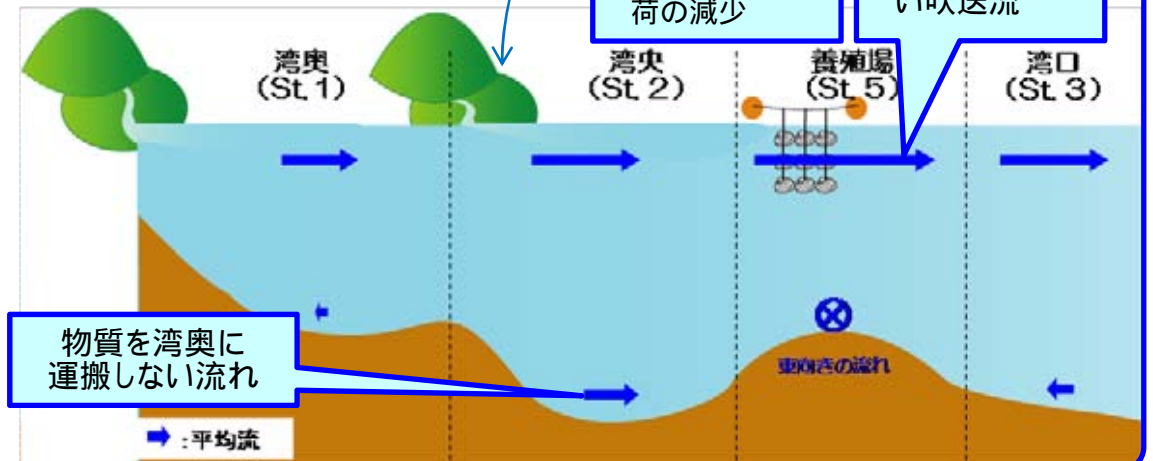
- 夏季には、降水量が多く、河川からの流入負荷が多い。
- 夏季には風速が弱まり、河川流入に伴う弱いエスチュアリー循環が起きている。その結果、湾奥～養殖場の下層では、湾奥への流れができる。
- 冬季は、降水量が少なく、河川からの流入負荷が少ない。
- 冬季の下層では湾奥～養殖場への還流が起き、さらに北風によって強い吹送流がおきる。
- そのことから、湾奥の底質は、夏季の流入量の増加と風の影響の減少に伴う弱いエスチュアリー循環によって形成された可能性がある。

夏季調査 平成27年9、10月



物質を湾奥に運搬する流れ

冬季調査 平成23年1月



3. 物質循環に関する考察（栄養塩（窒素）の循環）：夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

【栄養塩（窒素）の循環】

➤ 夏季調査

（表層）夏季は河川からの流入負荷量が多いことから、両河川に近い湾奥、湾央が他地点より高くなったと考えられる
湾奥では懸濁態の窒素が多く、それとChl. aとの関係から植物プランクトン等の影響があると考えられる。

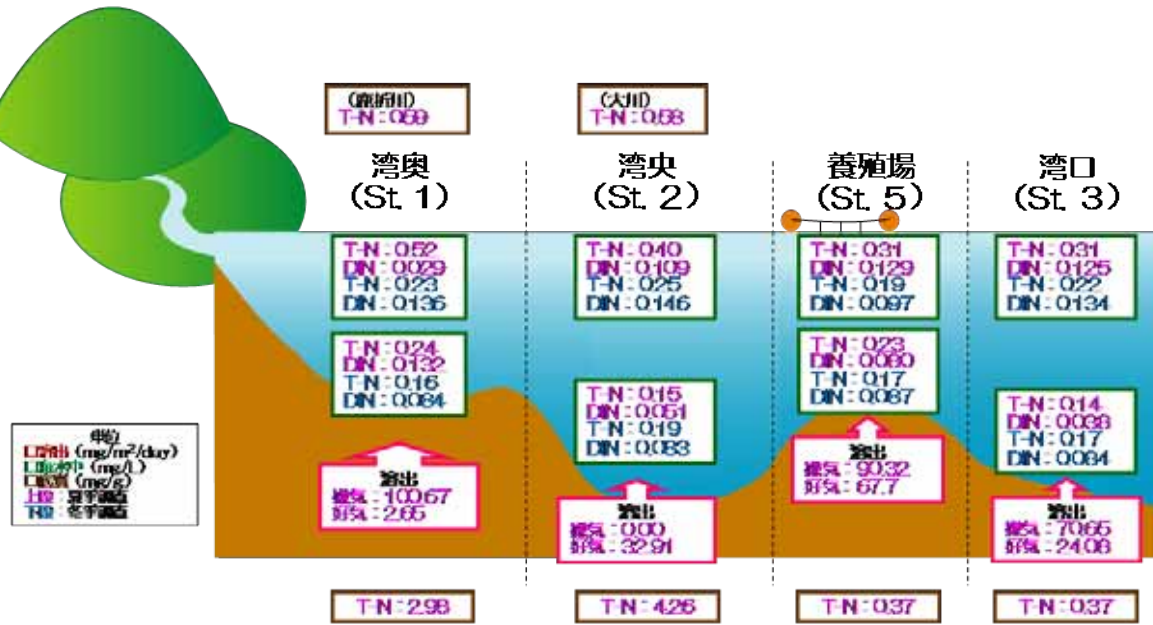
（下層）湾奥では、底質からの高い溶出及び流速が遅いことから、T-N、特にDINが高かったと考えられる。

➤ 冬季調査

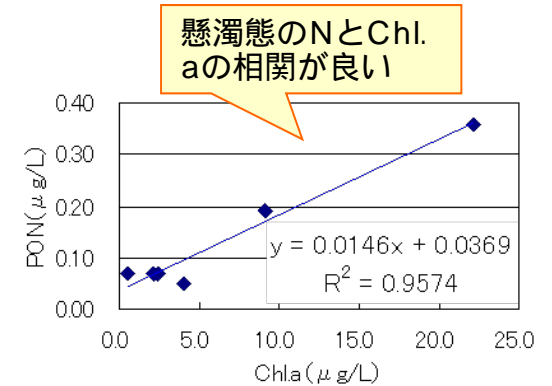
（表層）夏季調査に比べて表層流が速いため、T-Nに地点間の差異は小さくなったと考えられる。

夏季より鉛直混合が起こったため表層と下層の差が小さくなったと推察される。

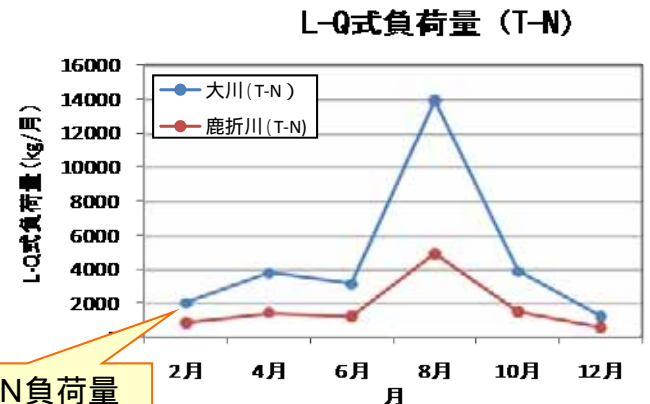
（冬季）冬季における湾奥は他地点との差異がないことから、底質からの溶出の影響が夏季より小さいと考えられる。



【栄養塩（窒素）に関する調査結果】



【夏季調査における懸濁態窒素とChl. aとの関係】



8月にT-N負荷量
が大きくなる

【河川からの負荷量（T-N）】

3. 物質循環に関する考察（栄養塩（リン）の循環）：夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

【栄養塩（リン）の循環】

➤ 夏季調査

（表層）湾奥では懸濁態のリンが多く、それとChl. aとの関係から植物プランクトン等の影響があると考えられる。
鹿折川より大川の負荷量が多いが、湾奥より湾央でT-Pが高かった要因は不明。

（下層）湾奥では、底質からの高い溶出及び流速が遅いことから、T-P、特にD-PO₄-Pが高かったと考えられる。

➤ 冬季調査

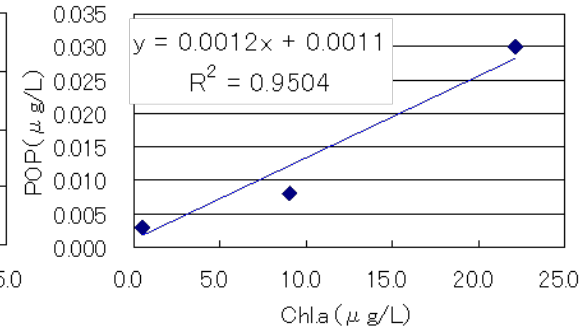
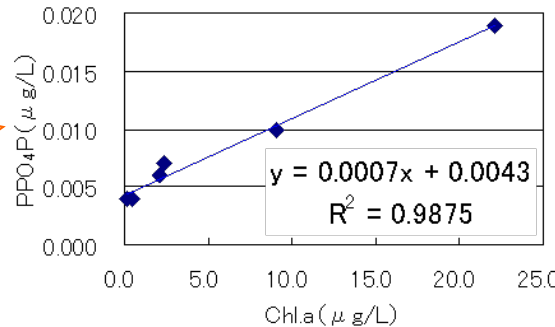
（表層）夏季調査に比べて表層流が速いため、T-Pに地点間の差異は小さくなったと考えられる。

河川流入負荷が夏季よりも小さいことも、夏季に比べてT-Pが小さくなった要因の1つと考えられる。

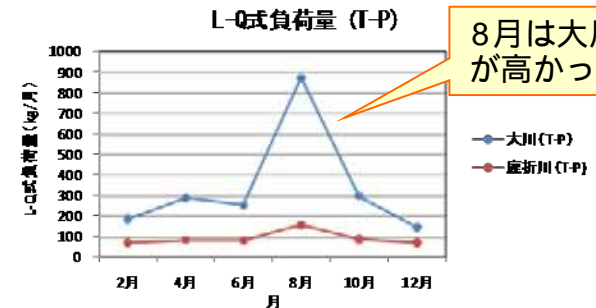
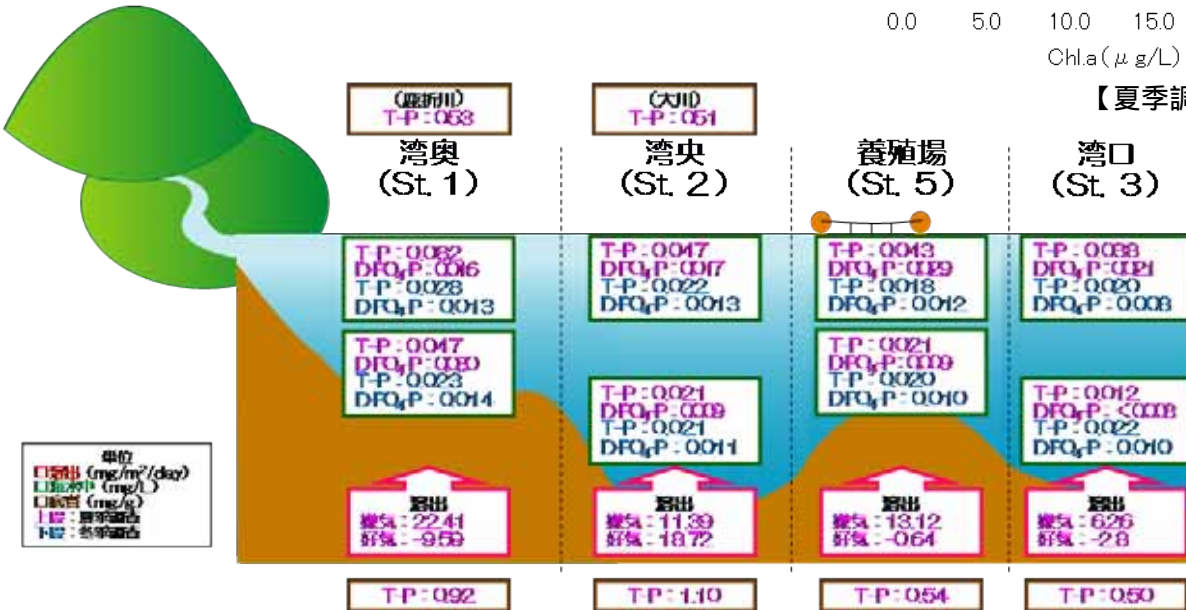
鉛直混合が起こったため、夏季より表層と下層の差が小さくなったと推察される。

（冬季）冬季における湾奥は他地点との差異がないことから、底質からの溶出の影響が夏季より小さいと考えられる。

懸濁態のPとChl. aの相関が良い



【夏季調査における懸濁態窒素とChl. aとの関係】



【河川からの負荷量 (T-P)】

【栄養塩（リン）に関する調査結果】

3. 物質循環に関する考察（赤潮と栄養塩の循環）：夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

【赤潮と栄養塩の循環の関係】

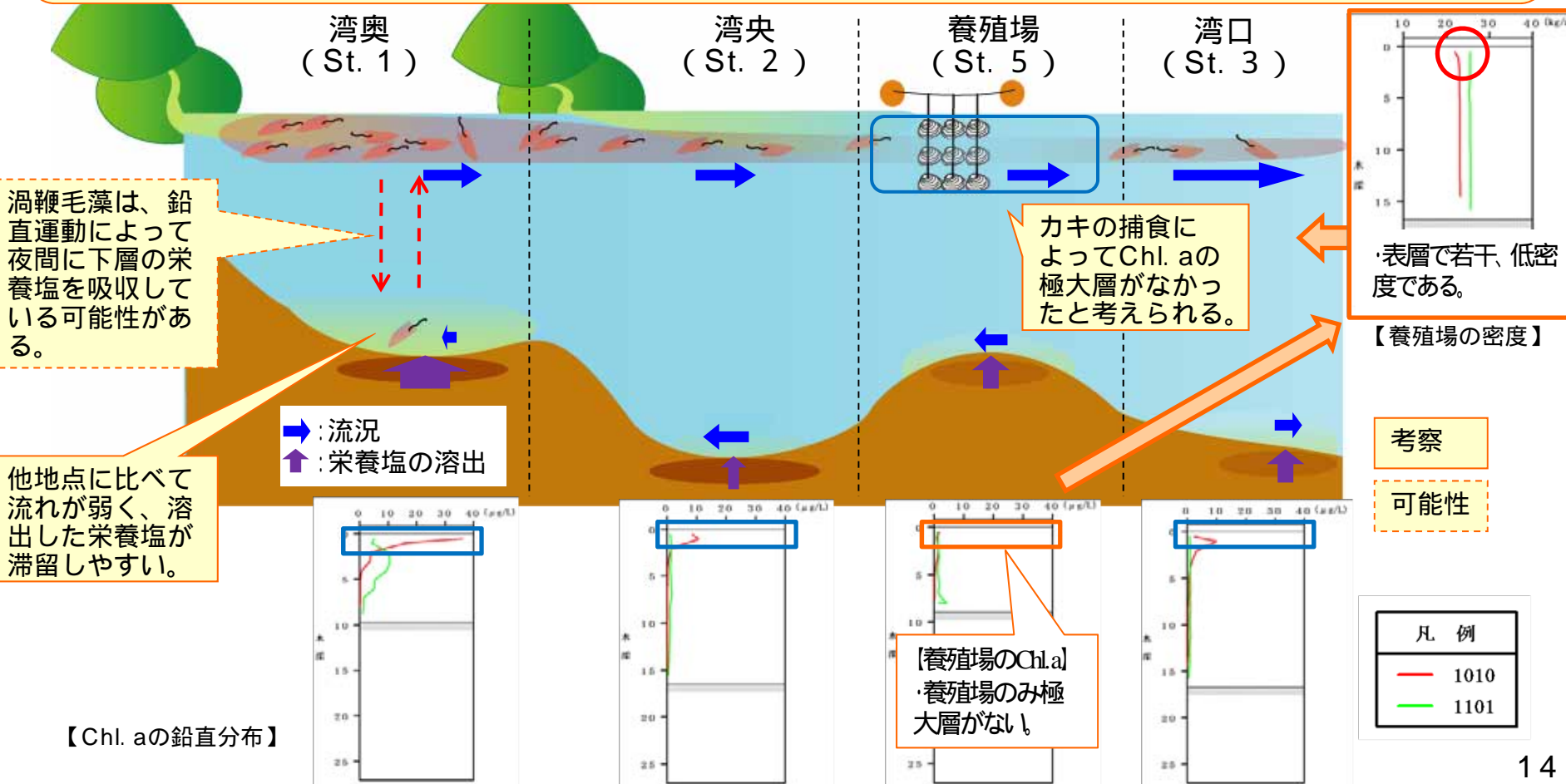
・調査日6日後に湾奥で *Prorocentrum dentatum* の赤潮 (104,000 cells/ml) を確認 その後、西湾口まで赤潮拡大

➤Chl. aが湾奥で高い要因

- ・Chl. aが高い原因種は、*Prorocentrum dentatum*である。
- ・他地点に比べて湾奥の下層では、底質からの栄養塩の溶出が多く、また流れが弱いため、栄養塩が豊富であること
- ・冬季調査でも湾奥のみ極大層があったことから、湾奥では植物プランクトンが増殖しやすい環境であると考えられる。

➤養殖場で極大層が見られなかった要因

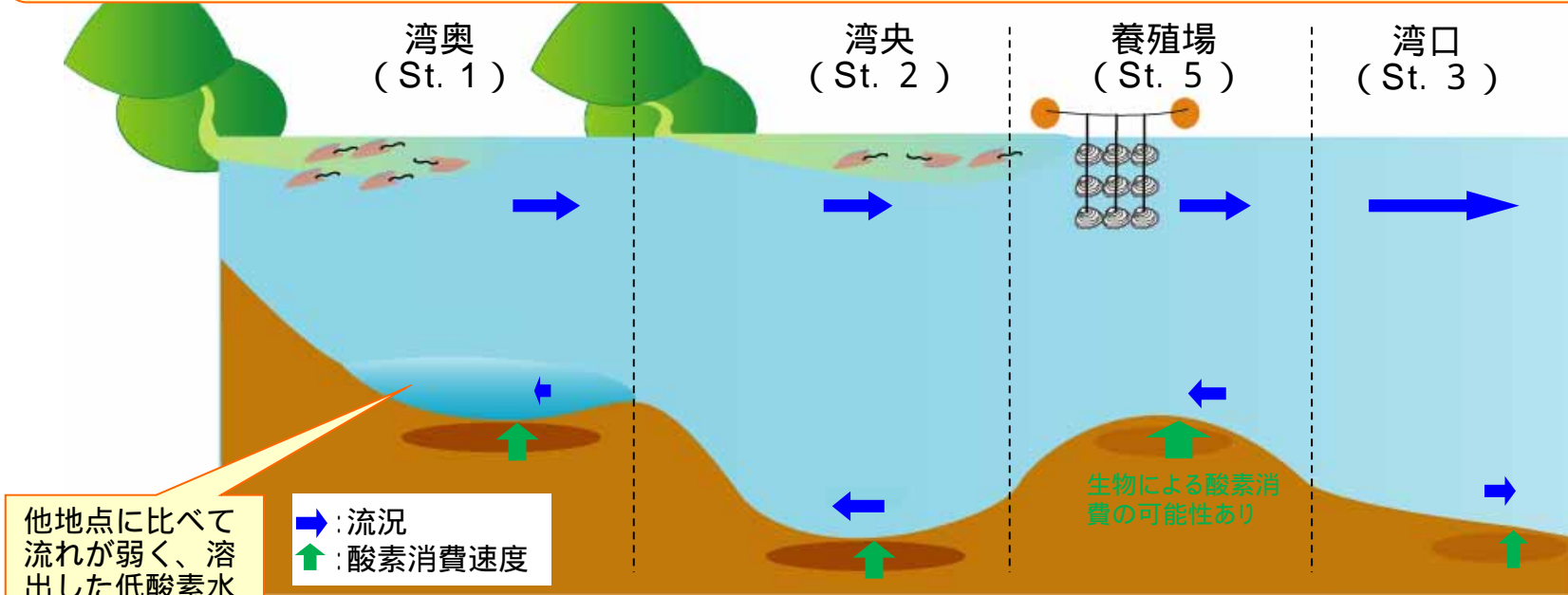
- ・下層に比べて、表層では低密度であった。鉛直混合によって養殖場付近でChl. aが低くなったことは考えにくい。
- ・カキの捕食によって、養殖場のみChl. aの極大層がなかったと考えられる。



3. 物質循環に関する考察 (DOと流況、底質) : 夏季及び冬季調査の結果を踏まえて

【DOと流況、底質との関係】

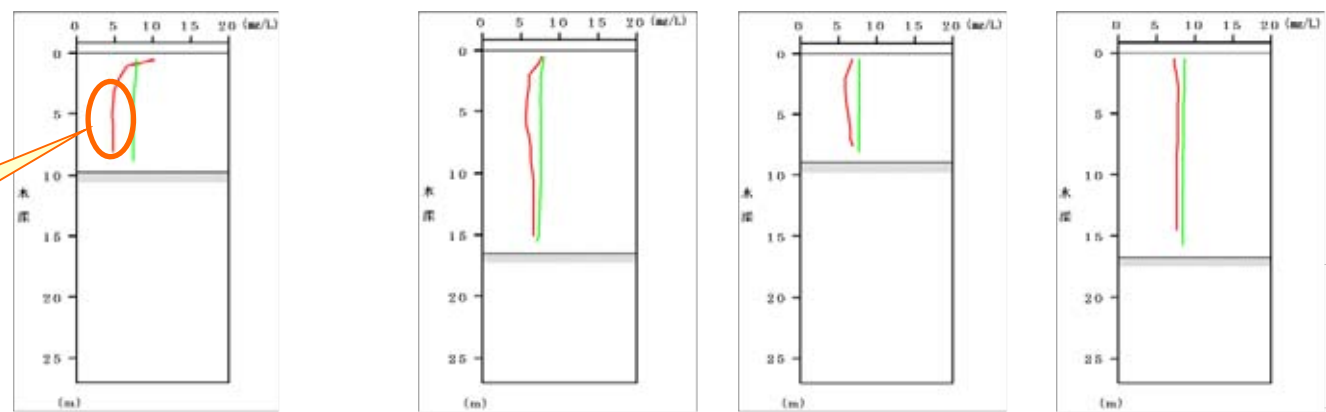
- ・夏季調査において、湾奥の下層のみでDOが低下 (4.5 mg/L)
 - ・冬季調査では、DOが低い水塊は確認されず、表層・下層とも差異なし。
- 湾奥の下層で低酸素量になりやすい要因
- ・他地点に比べて流速が遅いことから、底質で酸素消費された水塊が滞留しやすいこと



他地点に比べて
流れが弱く、溶
出した低酸素水
が滞留しやすい。

➡ : 流況
↑ : 酸素消費速度

他地点に比べて
流れが弱く、溶
出した栄養塩が
滞留しやすい。



凡 例	
—	1010
—	1101

【DOの鉛直分布】

5 . 本調査で明らかになった点 (推察含む)

【底質の成分分析】

- ・湾奥、湾央では、他地点に比べてCOD、TOCが高く、**有機物が多く含まれている**。
- ・硫化物も湾奥、湾央で高かった。
- ・大川のCOD、TOCが、鹿折川に比べて、高かった。
- ・C、N安定同位体比による湾奥、湾央の堆積物は、**養殖場、内部生産に比べて河川(大川)からの沈降物が多いと推察される**。

【流況】

- ・湾奥の下層では、夏季調査、冬季調査とも他地点に比べて**流速が最も遅かった**。
- ・潮汐の影響は、湾口の表層で最も大きかったが、他地点においては潮汐の影響は小さかった。
- ・夏季の西湾において、湾奥、湾央、養殖場において表層で南流、下層で北流が卓越し、**エスチュアリー循環が発生していた**。
- ・冬季の西湾において、北風の連吹によって、表層では流速の速い南流、**下層では半時計まわりの還流**が発生していた。この下層の還流の要因として、養殖場で水深が浅くなる海底地形、湾口からの流入が考えられた。

【水質】

(夏季調査)

- ・湾奥、湾央、湾口では**Chl. aの極大層**が確認されたが、養殖場では、カキの捕食によって極大層はなかったと考えられる。
- ・湾奥の表層では他地点に比べてT-P、T-Nが高かったが、DINは低かった。その要因として懸濁態の栄養塩とChl. aとの相関が良いことから、植物プランクトンだと考えられる。
- ・湾奥の下層でDINが高い要因の1つとして、**底質からの高い溶出量**が考えられた。

(冬季調査)

- ・湾奥のみChl. aの極大層が確認された。
- ・夏季調査に比べて冬季調査は、栄養塩濃度が低く、その要因として河川流入量と底質からの溶出の減少が考えられた。

【底質調査】

- ・酸素消費量は、養殖場、次いで湾奥で高かったが、養殖場で底生生物の影響が考えられる。
- ・西湾における栄養塩の溶出は、嫌気条件下では**湾奥で最も高かった**。

【赤潮の要因】

湾奥で植物プランクトンが増殖しやすい要因として

- ・湾奥では下層の流速が遅く、物質が留まりやすい。
- ・利用できる栄養塩が底質から溶出しやすい。
- ・増殖した植物プランクトンが流れによって拡散されにくい。

【貧酸素水塊の要因】

- ・湾奥の底質における酸素消費量は養殖場に次いで高い。
- ・養殖場に比べて湾奥は、流速が弱く、低酸素水塊が拡散しにくい。

6. 今後の課題

【今年度明らかにできなかった点】

- ・成層形成時の水塊構造の把握
- ・物質循環に対する生物の寄与

各調査項目の課題

【今年度指摘され、明らかでない事項】

漁港を利用する漁船の船倉排水による負荷

【底質の成分分析】

(課題)

- ・赤潮のような植物プランクトンの増殖時には、C、N同位体比が高くなる。
- ・C、N同位体比の結果の妥当性を他の方法で検証する必要がある。

(来年度の調査(案))

- ・平常時(赤潮未発生時)の内部生産のC、N同位体比の測定
- ・鉍物分析(妥当性の確認)

【流況】

(課題)

- ・本業務では、9月、1月では下層の流況が異なる。

(来年度の調査(案))

- ・成層構造が形成される夏季に流況調査を実施

【水質】

(課題)

- ・夏季の成層構造の把握
- ・夏季における成層発達時の水質
- ・貧酸素水の発生状況の把握
- ・船倉排水の影響把握

(来年度の調査(案))

- ・成層構造が発達した時の水質調査

【生物調査】

(課題)

- ・物質循環にどの程度、生物が影響しているか不明
- ・底生生物、植物プランクトン(春季ブルーム等)の把握

(来年度の調査(案))

- ・底生生物、植物プランクトンの把握

【最も重要なこと】

- ・四季を通じた物質循環を把握すること

【モデルで重要な点】

1. 流況把握
 - ・成層が発達する夏季における下層の流況が不明
2. 不健全な事象の把握
 - ・貧酸素水塊発生時の水塊構造の把握
3. 生物の把握
 - ・底生生物調査
 - ・植物プランクトンの種組成の把握
4. 船倉排水の把握