

平成 21 年度環境省請負業務

北西太平洋地域海行動計画活動推進事業 報 告 書

平成 22 年 3 月
財団法人環日本海環境協力センター

は じ め に

この報告書は、環境省地球環境局からの請負により、財団法人環日本海環境協力センターが行った「平成 21 年度北西太平洋地域海行動計画活動推進事業」の実施結果を取りまとめたものである。

日本海及び黄海の海洋環境保全を目的として、日本、中国、韓国及びロシアは、国連環境計画（UNEP）の主導のもとに北西太平洋地域海行動計画（NOWPAP）に基づき、各国が役割を分担しつつ、同海域の環境保全を推進することとしている。これを受け、平成 11 年には、財団法人環日本海環境協力センター（NPEC）が特殊モニタリング・沿岸環境評価地域活動センター（CEARAC）に指定された。CEARAC は、水質測定など通常のモニタリングでは対応できない特殊なモニタリング手法を活用した環境評価方法の開発を担当しており、当面は人工衛星等のリモートセンシングの活用を優先課題としている。

CEARAC の中長期戦略として沿岸環境評価手法の確立及びツールの開発に関する活動が掲げられており、2008-2009 年の CEARAC の一活動として、富栄養化状況評価手順の作成が第 12 回 NOWPAP IGM で承認された。このことから CEARAC 活動の支持母体である NPEC は、北東太平洋の海洋環境保護を目的とするオスロ・パリ条約における富栄養化状況評価にかかる共通手順(OSPAR Common Procedure for Identification of Eutrophication Status)を参考に、平成 19 年度から富山湾をモデル海域とした NOWPAP 富栄養化状況評価手順書を作成するためのケーススタディを実施したところである。

平成 21 年度には、NOWPAP 富栄養化状況評価手順書の作成を行うとともに、その検証を目的として、引続き富山湾においてケーススタディを実施した。併せて、環境モニタリング手法としてのリモートセンシングの有用性を示すことを目的として、富山湾海域モニタリング調査及び衛星データの取得・解析を実施し、得られたデータにより、2007 年に CEARAC が策定した NOWPAP 富栄養化モニタリングガイドラインの検証を実施した。

本報告を取りまとめるにあたり、海洋環境リモートセンシング調査検討委員会ならびに富山湾プロジェクト調査研究委員会の委員の皆様からは数々の有益なご助言を賜りました。また、本事業を実施するにあたり、多くの方々のご協力を得ました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

平成22年 3 月

財団法人 環日本海環境協力センター

— 目 次 —

(1) 北西太平洋地域海行動計画活動推進業務	1
ア NOWPAP 富栄養化状況評価手順書の検証	1
1 . 調査の目的	1
2 . 調査概要	1
3 . 結果の概要	2
イ 富山湾海域モニタリング調査	5
1 . 調査の目的	5
2 . 調査概要	5
3 . 調査研究方法	5
4 . 調査結果の概要	8
ウ 富山湾海域富栄養化評価データセットの構築	14
1 . 目的	14
2 . 結果	14
エ 海洋に係る基盤情報の収集・整理	17
1 . 海洋の富栄養化に関する情報	17
2 . 海洋の衛星に関する情報	19
オ 各種委員会等開催	20
1 . 委員名簿	20
2 . 開催状況	21
(2) 環日本海海洋環境ウォッチシステム維持管理業務結果	22
1 . 維持管理要員の確保	22
2 . 維持管理作業の実施	22
3 . 光熱・通信費・リース料の支払い	23
4 . 契約期間中における記録の作成	23

5 . ホームページの運用状況	23
参考資料	25
参考資料 1 : NOWPAP 富栄養化状況評価手順書	27
参考資料 2 : 富山湾海域モニタリング調査結果、NOWPAP ガイドラインの検証及び NOWPAP 富栄養化状況評価手順書の検証 (NPEC、名古屋大学)	41
参考資料 3 : 植物プランクトンの増殖要因及び COD と内部生産の関係の検討 (富山大 学)	77
参考資料 4 : 富山湾内海水の物理特性 実船・実地による富山湾の海洋環境計測 (富 山高等専門学校)	107
参考資料 5 : 平成 21 年度富山湾海域モニタリング調査関連学会等発表リスト	141

(1) 北西太平洋地域海行動計画活動推進業務

ア NOWPAP 富栄養化状況評価手順書等の検証

1 . 調査の目的

本事業は、北西太平洋地域海行動計画（NOWPAP）を支援することを目的として、北東大西洋の海洋環境保護を目的とするオスロ・パリ条約における富栄養化状況評価にかかる共通手順（OSPAR Common Procedure for Identification of Eutrophication Status）を参考に作成した NOWPAP 富栄養化状況評価手順を検証するため富山湾においてケーススタディを実施する。併せて、富山湾海域モニタリング調査及び衛星データの取得・解析を実施し、得られたデータにより、2007 年に策定した NOWPAP 富栄養化モニタリングガイドラインの検証を実施する。

2 . 調査概要

NPEC では、NOWPAP 地域における沿岸環境の評価手法の開発に向けて、OSPAR における富栄養化判定手順の特徴・利点を取り入れながら、富山湾をモデル海域として NOWPAP 地域に適用できる富栄養化評価手順の確立を目的としたケーススタディ（富山湾ケーススタディ）を実施してきた。また、OSPAR 富栄養化判定手順では、衛星データは補完的なものとされているが、富山湾ケーススタディでは、その有用性に着目し、富栄養化状況及び影響の評価における衛星データの活用方法及び衛星データによる評価結果の検証方法も組み入れた。本年度は手順書を作成するとともに、今後 NOWPAP 地域で富栄養化評価を実施するにあたって、課題の抽出と評価手法の改善を行った。

本年度の 6 月に標記の手順書を作成した（参考資料 1）。手順書の作成にあたっては、NOWPAP 諸国から示された基準値の設定方法、海域区分及び富栄養化評価手法などへのコメントを反映した。手順書には NOWPAP 参加国における富栄養化評価手法が示され、基準値等はそれぞれの国において定めたうえで評価することになっている。2010～2011 年にかけて、日本（九州北西部海域）、中国（長江河口及び周辺海域）、韓国（チンヘ湾）及びロシア（ピーター大帝湾）において、各国 1 海域を対象として富栄養化評価が試行されることになった。今後、富栄養化を評価し、各国の比較を行う際には評価項目や基準値について 4 カ国で整合性を合わせることが課題となると考えられる。これまで、手順書の作成にあたり富山湾を対象にケーススタディを実施してきた。富山湾ケーススタディにおいては、OSPAR に準じて外洋における観測値の 1.5 倍を超えた濃度を富栄養化と判定する基準を適応した。さらに、富栄養化の評価は、富栄養化に関する生化学的な値との絶対的な比較のみで評価するのではなく、経年的な増加・減少傾向によるトレンド検定も取り入れた。基準値やトレンド検定の手法の再検討にあたっては、（財）環日本海環境協力センターに設置した赤潮/HAB 調査検討委員会及び海洋環境リモートセンシング調査検討委員会並びに富山湾プロジェクト調査研究委員会のレビューを受けた。なお、本章は、NPEC と名古屋大学との共同作

業によって作成した。本章の詳細は参考資料 2 に示した。

3 . 結果の概要

3 - 1 手順書の見直しに係る基礎情報

(1) 基準値の見直し

本年度は、日本における環境基準と水産用水基準、中国、韓国の海水の環境基準を参考として、基準値の見直し作業を実施するとともに将来的な 4 カ国共通の基準値を模索した。富栄養化の基準値に関しては、我が国における環境基準（類型 A、類型 B）と水産用水基準（水産 1 種）である全窒素 0.3 mg/L、全リン 0.03 mg/L 及び COD 3.0 mg/L を採用した。また、全窒素と DIN（溶存態無機窒素）、全リンと DIP（溶存態無機リン）、COD とクロロフィル a の相関関係から、DIN 0.144 mg/L、DIP 0.017 mg/L 及びクロロフィル a 6 µg/L を基準値として求めた。

(2) トレンド検定

トレンド検定の手法については、気象の分野で良く用いられているノンパラメトリック法である Mann-Kendall 法と Sen's slope 法を採用した。また、富栄養化指標項目の経年的な増加・減少に関するトレンド検定については、データが正規分布すると仮定したパラメトリック法を用いていたが、正規分布を仮定することなく検定できるノンパラメトリック法について検討を加えた。

(3) クロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互関係

現場での採水試料のクロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互の関係を調べ、富山湾沿岸海域では、これらが相互にどのような関係にあるかを平成 21 年度の観測データを用いて検討した。透明度は、クロロフィル a 濃度、CDOM 及び SS と負相関を示した。一方、クロロフィル a 濃度と SS、クロロフィル a 濃度と CDOM、SS と CDOM とは正の相関を示した。クロロフィル a 濃度と SS はやや強い相関（ $r=0.710$ ）があり、SS の主体が植物プランクトンであることが推察される。クロロフィル a 濃度と透明度の関係、SS と透明度の関係には、それぞれやや強い負の相関がみられた（それぞれ $r=0.736, 0.792$ ）。その他の関係にはやや弱い相関がみられた（ $r=0.566 \sim 0.600$ ）。

(4) 溶存態無機窒素（DIN）の時系列変化、DIN とクロロフィル a 濃度の関係

富山湾東部では、神通川の河口に近い海域で DIN 濃度が高く、2009 年 5 月には 0.47 mg/L という値が検出された。DIN 濃度の季節変動は明瞭ではなかった。湾西部では、湾東部と比較して濃度が低く、0.2 mg/L 以下であった。河口から離れた地点においては、DIN 濃度が冬季に高く、それ以外の季節では低いという季節変動がみられた。

我が国における TN 濃度には環境基準が定められているが、DIN の基準は定められていない。ここで冬季 DIN の基準を定めるにあたり、全窒素（TN）と溶存態無機窒素（DIN）の関係をみた。両

者には、 $DIN=0.57 \times TN - 0.027$ ($r_s = 0.746$, $p < 0.001$) という関係がみられた。この式に環境基準類型の TN 濃度 0.3 mg/L を代入したところ、DIN は 0.144 mg/L と算出された。富山湾において、環境基準類型を満たすためには、DIN 濃度を 0.144 mg/L 以下にする必要があることが推察される。

DIN 濃度と同様に、クロロフィル a 濃度についても環境基準が定められていない。クロロフィル a 濃度の基準を定めるにあたり、富山湾における COD とクロロフィル a 濃度の関係をみた。両者の濃度には、 $COD=0.2178 \times Chl-a + 1.5612$ ($r_s = 0.585$, $p < 0.001$) という関係がみられた。この式に COD 3.0 mg/L (環境基準類型 B) を代入したところ、クロロフィル a は $6.6 \mu\text{g/L}$ と算出された。富山湾において、COD 環境基準類型 B を満たすためには、クロロフィル a 濃度を $6.6 \mu\text{g/L}$ 以下にする必要があることが推察される。

(5) 溶存態無機窒素 (DIN) の時系列変化、DIN とクロロフィル a 濃度の関係

平成 20～21 年度における富山湾の富栄養化を評価するにあたって、クロロフィル a 濃度と DIN 濃度の数値をもとに採用地点の見直しを行った。富山湾モニタリングにおいては富山湾に 9 地点を配置している (図 1-1)。ごく沿岸に近い地点 1 (滑川沿岸) と地点 9 (氷見沿岸) を評価対象から外し、神通川河口沖合にある地点 3 (神通川沿岸) と地点 5 (神通川沖) を追加して評価結果の変化を検討した。

クロロフィル a 濃度及び DIN 濃度の平均値、標準偏差、最大値及び最小値の変化について検討した。クロロフィル a 濃度においては、採用地点を変えても平均値 $\pm$ 標準偏差、最大値及び最小値には大きな変化は認められなかった。一方、DIN 濃度については、地点 3 及び 5 を追加した平均及び最大値がその他を上回った。これは、神通川から負荷された栄養塩が植物プランクトンに吸収される前に検出された結果と考えられる。富栄養化評価を行うにあたっては、クロロフィル a 濃度のみではなく、富栄養化の兆候をとらえるために負荷源の近辺における地点の配置が必要であると考えられた。

3 - 2 衛星データの取得・解析と NOWPAP 富栄養化モニタリングガイドラインの検証

(1) 環日本海海洋環境ウォッチシステムによるデータの取得

環日本海海洋環境ウォッチシステムにおいて、富山湾の現場調査の実施日と同日の MODIS (AQUA) または MODIS (TERRA) のクロロフィル a 濃度データを取得し、衛星別に、位置ズレのデータ、パスの端に該当するデータ、雲際のデータ、広域での不自然な変化を示したデータを除外し、現場で採水した検体分析によるクロロフィル a 濃度との相関関係の解析に供した。2009 年度のマッチアップ解析に使用した衛星データは以下のとおりであった。

2009 年 8 月 26 日、9 地点、AQUA

2009 年 12 月 25 日、7 地点、AQUA

マッチアップ解析は、2004 年度 5 月から 2010 年 1 月に取得した衛星データとともに行った (TERRA では計 71、AQUA では計 85 の地点数)。

(2) 衛星データ、過去のクロロフィル a 濃度でのマッチアップの検証

環日本海海洋環境ウォッチシステムにおいて、富山湾の現場調査の実施日と同日の MODIS(AQUA または TERRA) のクロロフィル a 濃度データを取得し、現場で採水した検体分析によるクロロフィル a 濃度との相関関係の解析に供した。選別前と選別後のデータについて衛星データとモニタリング調査データの関係調べた。MODIS (TERRA) においては、本年度においてマッチアップが得られなかった。一方、MODIS(AQUA)の場合は、16 点のマッチアップの追加ができた。MODIS(AQUA) のデータでは、衛星クロロフィル a と現場クロロフィル a の間に有意な相関がみられた。現時点において、衛星センサーとして MODIS (TERRA) よりも MODIS (AQUA) を用いる方が良いと判断される。

マッチアップデータについてクロロフィル a 濃度の推定誤差 (現場クロロフィル a 濃度 - 衛星クロロフィル a 濃度) / 現場クロロフィル a 濃度に対する SS 及び CDOM の関係を、それぞれセンサー別にみた。MODIS (TERRA) で得られた推定誤差と SS 及び CDOM との間には濃度比例的な相関関係は弱く、有意な関係はみられなかった。一方、MODIS (AQUA) で得られた推定誤差と SS 及び CDOM との間においても濃度比例的な相関関係は弱かった。AQUA で得られた衛星クロロフィル a 濃度は、SS や CDOM 濃度が上昇するに従い推定誤差が負の値を示すことがあった。

(3) 衛星データによる富栄養化海域の初期評価

13 年分の海色衛星データを用い、富山湾をモデル海域とし富栄養化状況の初期評価手法を開発した。開発した手法に基づき富山湾の富栄養化状況を 6 つに類型化し評価したところ、富山湾の湾奥から東岸部にかけてクロロフィル a 濃度が高く、その濃度が高い海域の一部において経年的な増加傾向がみられた。また、氷見市から小矢部川の河口にかけた沿岸部ではクロロフィル a 濃度は低いものの、経年的な増加傾向がみられた。これらの海域は、富山湾の中でも潜在的に富栄養化が進行している可能性があると考えられた。

そこで、本手法による富栄養化海域の初期評価の有用性を検証するために、衛星クロロフィル a 濃度が高くかつ一部において増加傾向がみられた湾奥部から東岸部沿岸を含むサブエリア B において、現場観測データにより得られた結果と比較した。その結果、現場観測データにおいても窒素の負荷量の増加傾向がみられたことから、衛星データにより得られた類型化の結果を裏付けることとなり、本手法の有用性を確認することができた。今後富山湾をモデル海域として開発した手法を NOWPAP 地域全体へ適用するべく、さらなる開発を進めていく必要がある。

イ 富山湾海域モニタリング調査

1. 調査の目的

手順書及び NOWPAP 富栄養化モニタリングガイドラインの検証に必要な富栄養化に関連する現場測定データを収集するため、定期的に採水業務、現場測定、化学分析、水中分光放射計（PRR）による水中放射輝度・照度の測定、及び CTD 計による水深 50 m までの塩分・水温の観測を実施する。

2. 調査概要

本調査において、富栄養化に関連する現場測定データを収集するため富山湾海域モニタリング調査を行う。また、NOWPAP 海域における富栄養化状況評価手順書（以下、手順書）の作成のため、データ取得を継続するとともに、富山湾海域富栄養化評価データセットを活用して、手順書の検証作業を行った。調査研究の実施にあたっては、財団法人環日本海環境協力センター（以下 NPEC と略記する）を中心に、名古屋大学、富山大学及び富山商船高等専門学校（平成 21 年 10 月 1 日以降富山高専と略記する。）の共同研究プロジェクトとして行った（以下これを、「富山湾プロジェクト」と称する）。

富山湾プロジェクトを推進するにあたり、NPEC に設置され、国内の有識者によって構成される「海洋環境リモートセンシング調査検討委員会」を活用し、指導・助言をいただいた。また、本研究に参画する名古屋大学、富山大学及び富山高専や、富山県環境科学センター及び富山県環境保全課の研究者及び有識者によって構成される「富山湾プロジェクト調査研究委員会」及び「富山湾プロジェクトワーキンググループ」を設置し、調査・研究の推進を図った。

3. 調査研究方法

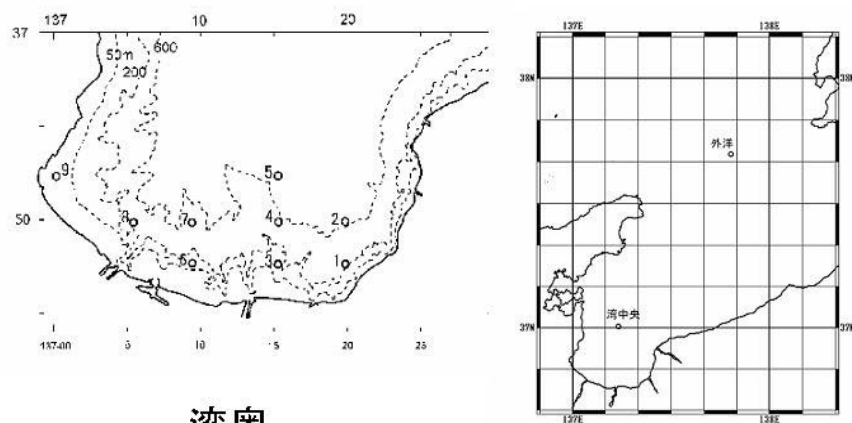
3 - 1 調査地点及び調査船

富山湾における水質の把握と、シートルースデータの収集のため、富山湾奥の 9 地点、富山湾中央 1 地点及び外洋 1 地点の合計 11 地点において原則毎月 1 回調査を実施した（表 1-1、図 1-1）。湾奥の調査では富山高専所属の実習艇「さざなみ」（総トン数 15 トン）を、また、湾中央と外洋の調査では、富山県農林水産総合技術センター水産研究所漁業調査船「立山丸」（総トン数 160 トン）を用いた。

表 1-1 富山湾プロジェクト調査位置

調査地点番号	測定地点名	緯度	経度
1	滑川沿岸	36° 47.6′	137° 19.9′
2	滑川沖	36° 49.9′	137° 19.9′
3	神通側沿岸	36° 47.6′	137° 15.2′
4	神通側沖①	36° 49.9′	137° 15.2′

5	神通側沖②	36° 52.3′	137° 15.2′
6	新湊沿岸	36° 47.6′	137° 09.3′
7	新湊沖	36° 49.9′	137° 09.3′
8	小矢部川沿岸	36° 49.9′	137° 05.4′
9	氷見沿岸	36° 52.3′	137° 00.7′
	湾中央	37° 00.2′	137° 13.8′
	外洋	37° 41.7′	137° 48.8′



湾奥

湾中央及び外洋



調査点の呼称

図 1-1 調査点及び本報告で用いる調査点の呼称

3 - 2 調査・分析方法

- ・ 船上での現場測定等

「さざなみ」による調査では、pH、表面水温、透明度及び水色を測定し、水中分光放射計（Biospherical 社製 PRR600）による水深 30 m まで水中下向き分光照度と上向き分光輝度の鉛直分布観測を行った。また、海洋環境の把握のため、CTD による水深 50 m までの水温及び塩分の鉛直分布観測を行った。表面水温は棒状温度計、透明度はセッキ板、水色はフォーレル・ウーレ水色計により測定した。表層水をバケツで採水し、溶存酸素（DO）、クロロフィル a 濃度、SS、溶存態無機窒素及び有色溶存有機物（CDOM）の測定に供した。なお、調査地点 3 と 5 では、表層水のほかに水深 0.5 m 及び 2 m から採水器を用いて海水を採取し、よく等量混合した後、クロロフィル a の分析に供した。また、溶存酸素は、0.5 m と 2 m をそれぞれ測定し平均値を求めた。このほか、船上において気温、雲量、風向、風速、波浪を観測した。

「立山丸」による調査では、採水バケツにより表層から採取した検体を実験室に持ち帰り、クロロフィル a 濃度、SS 及び CDOM の測定に供した。

なお、上記の調査のほか、富山商船高専は、「若潮丸」（総トン数 231 トン）による CTD 及び超音波式多層流向流速計（ADCP）による調査を実施した。

- ・ 実験室での分析

NPEC は、採取した検体について、DO、SS、CDOM 及びクロロフィル a 濃度の分析を行った。SS、クロロフィル a 及び CDOM の分析は、「衛星海色データ校正・検証のための海洋観測指針」（地球科学技術フォーラム/地球観測委員会海洋環境サイエンスチーム編、2001）によった。DO の分析は、JIS k0102 32.1 ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法によった。

富山大学が採取した検体については、富山大学が形態別リン（全リン、溶存態別リン、溶存態オルトリン酸、吸着態リン）、クロロフィル a、化学的酸素要求量（COD（Mn））（全 COD、溶存態 COD）及び全窒素の分析を行った。なお、クロロフィル a 濃度の分析方法は、富山大学では吸光光度法、NPEC では蛍光光度法であった。

3 - 3 調査研究推進体制

本調査研究は、次の役割分担の下に、NPEC、名古屋大学、富山大学及び富山高専の共同研究プロジェクトとして行った。

富山湾海域モニタリング調査

- ・ 調査計画の策定と取りまとめ、富山湾海域モニタリング調査研究における海上調査の実施（NPEC）
- ・ 富山湾海域モニタリング調査研究における採水、現場測定の実施及び研究室における分析の実施（富山大学）
- ・ 富山湾における海洋環境特性の時空間的変動の解析（富山高専）

4．調査結果の概要

4 - 1 実施状況

「さざなみ」による富山湾奥の調査は、2009 年 4 月～2010 年 3 月の間に合計 12 回実施した。「立山丸」による湾中央と外洋の調査は、2009 年 4 月～2010 年 3 月の間に合計 12 回実施した。

現場における測定等項目は、水温、塩分、pH、透明度、水色、PRR 観測（水中放射輝度等）及び CTD 観測（層別水温、塩分）であった。また、船上において採水し、実験室に持ち帰った後、形態別 COD_{Mn}、DO、クロロフィル a 濃度、全リン、形態別リン、全窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素等の分析を行った。分析結果は参考資料 2 に示した。

（１）クロロフィル a 濃度、懸濁物質（SS）、有色溶存有機物（CDOM）及び透明度の季節変化について

NPEC において、クロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度のデータ解析を行った（参考資料 1）。平成 21 年度のクロロフィル a 濃度は、例年どおり 7 月と 9 月にピークがみられた。湾西部では 5 月と 7 月にピークがみられ、5 月に本年度の最高値である 21 µg/L がみられた。SS も、クロロフィル a 濃度と同様の傾向で推移し、6～7 月にピークがみられた。CDOM では湾東部においては 6 月に、湾西部においては 5 月にピークがみられた。河川水の影響が大きい地点 1、3、6 において比較的高かった。一方、9 月以降に CDOM は 0.2 m⁻¹ 以下で推移した。透明度は、河川水の影響下にあると考えられる調査地点のみならず、比較的河川の影響を受けにくい、やや沖合の定点においても大きく変動した。概ね、クロロフィル a 濃度、SS 及び CDOM と逆の推移を示した。7、9 月における透明度の低下は、クロロフィル a 濃度と SS の上昇によると考えられる。一方、8 月には透明度が上昇した。

（２）クロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の季節変化

現場での採水試料のクロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互の関係を調べ、富山湾沿岸海域では、これらが相互にどのような関係にあるかを平成 21 年度の観測データを用いて検討した。透明度は、クロロフィル a 濃度、CDOM 及び SS と負相関を示した。一方、クロロフィル a 濃度と SS、クロロフィル a 濃度と CDOM、SS と CDOM とは正の相関を示した。クロロフィル a 濃度と SS はやや強い相関（ $r=0.710$ ）があり、SS の主体が植物プランクトンであることが推察される。クロロフィル a 濃度と透明度の関係、SS と透明度の関係には、それぞれやや強い負の相関がみられた（それぞれ $r=0.736, 0.792$ ）。その他の関係にはやや弱い相関がみられた（ $r=0.566 \sim 0.600$ ）。

（３）富栄養化状況評価の採用地点の見直し

平成 20～21 年度における富山湾の富栄養化を評価するにあたって、クロロフィル a 濃度と DIN 濃度の数値をもとに採用地点の見直しを行った。富山湾モニタリングにおいては富山湾に 9 地点を配置している（図 1-1）。ごく沿岸に近い地点 1（滑川沿岸）と地点 9（氷見沿岸）を評価対象から外し、神通川河口沖合にある地点 3（神通川沿岸）と地点 5（神通川沖）を追加して評価結

果の変化を検討した。

クロロフィル a 濃度及び DIN 濃度の平均値、標準偏差、最大値及び最小値の変化について検討した。クロロフィル a 濃度においては、採用地点を变えても平均値 ± 標準偏差、最大値及び最小値には大きな変化は認められなかった。一方、DIN 濃度については、地点 3 及び 5 を追加した平均及び最大値がその他を上回った。これは、神通川から負荷された栄養塩が植物プランクトンに吸収される前に検出された結果と考えられる。富栄養化評価を行うにあたっては、クロロフィル a 濃度のみではなく、富栄養化の兆候をとらえるために負荷源の近辺における地点の配置が必要であると考えられた。

4 - 2 溶存形態別リン、全窒素などの栄養塩等動態

富山大学において、リンが植物プランクトンの増殖の制限因子になる可能性が高いことから、リンに着目し、形態別（溶存態オルトリン酸、懸濁態オルトリン酸、溶存態有機リン、懸濁態リン）にリンの分析を行い、その海域や季節による挙動、クロロフィル a 濃度や COD との関係を検討した。また、全リンと全窒素の関係についても検討した。その結果、以下のことがわかった。なお、詳細は参考資料 3 のとおりである。

（１）植物プランクトンと形態別リンの関係

クロロフィル a（植物プランクトンの目安）と全リン、懸濁態リン及び溶存態オルトリン酸との関係を調べた。春季から秋季においてクロロフィル a が増加すると、懸濁態リンが増加する傾向が見られた。春季から秋季において、植物プランクトンがリンを取り込み、増殖し、植物プランクトンに取り込まれた状態の懸濁態リンが増加したためと考えられる。溶存態オルトリン酸が検出されるのは、クロロフィル a がほとんど検出されないときである。

冬季において溶存態オルトリン酸が検出される。植物プランクトンの増殖が盛んな春季から秋季にかけて、溶存態オルトリン酸は植物プランクトンに取り込まれ、懸濁態リン（植物プランクトンそのもの、その死がいや分解途中のもの）や、溶存態有機リン（植物プランクトンによって合成された ATP や ADP など）に変化する。冬季には、溶存態オルトリン酸は植物プランクトンに消費されずに残ると考えられる。また、この変化は、1999 年から毎年、再現性よく生じている。

（２）植物プランクトン（クロロフィル a）と COD の関係

形態別 COD（懸濁態 COD、溶存態 COD）の経年変化では、夏季に 2 mg/L を超えることが多く、その超過分の大部分は懸濁態 COD であった。クロロフィル a と COD、懸濁態 COD、溶存態 COD の関係から、クロロフィル a と COD との関係には、秋季に良好な相関（ $R^2 = 0.80$ （秋季））が、夏季に相関（ $R^2 = 0.52$ （夏季））が見られた。クロロフィル a と溶存態 COD の関係にはやや相関が見られたが、クロロフィル a と懸濁態 COD の関係には相関が見られなかった。

(3) 内部生産CODの寄与率

各月ごとのCODに占める内部生産CODの寄与率を求めたところ、夏季において内部生産CODの寄与率が大きくなった。クロロフィルa濃度が夏季において高くなったことから、内部生産CODの寄与率も夏季において高くなったと考えられる。

(4) クロロフィルa濃度と衛星クロロフィルa濃度との比較

衛星データとの対応を、コンター図を作成して検討した。8月26日の衛星クロロフィルa濃度と現場クロロフィルa濃度には、湾沿岸部ではやや高く、沖の濃度は低いという点では一致するものの、濃度がかなり違っており、衛星クロロフィルa濃度がかなり低い結果となった。8月が群を抜いて透明度が高かった。黄海など濁度の高い所では衛星データが高めになるといわれている。今回逆に非常に濁度が低く透明度の高い場合、実測に比べ、衛星データが過小になっているのではないかと考えられる。これ以外の5観測においては、採水試料を測定して得られたクロロフィルaと概ね対応していた。

(5) COD、クロロフィルa、溶存態オ尔特リン酸の季節変化

有機汚濁等の実態を把握するために、COD、クロロフィルa、溶存態オ尔特リン酸の離散データをバイリニア補間計算により補完し、各月ごとにコンター図を作成し、季節変化を比較した。夏季には、沿岸部に、COD値、クロロフィルa値の高いところが見られ、冬季には、沿岸部に溶存態オ尔特リン酸濃度の高いところが見られた。このことから、沿岸部から、溶存態オ尔特リン酸の供給があり、これを栄養塩として植物プランクトンが増殖し、内部生産によりCOD値が増加したと考えられる。

4-3 富山湾内海水の物理特性

富山高専において、湾内海水の物理特性を解明するため、練習船「若潮丸」のCTDによる水温・塩分等の鉛直分布調査を行った。一方、同校実習船「さざなみ」にて、富山湾モニタリング調査地点の水深約50mまでのCTD調査を行った。同時に各観測点における停船時と小矢部川の河口近辺ではADCP調査を行った。また、臨海部に位置する当校より目視や計器により、富山湾の気象・海象観測を行っているが、2009年11月16日に顕著な「寄り回り波」の観測が行え、その現象解析を行った。その結果を以下に示す。尚、詳細は参考資料4の通りである。

(1) 練習船「若潮丸」によるCTD調査

「若潮丸」では新湊沖約5海里、水深約800mの定点を定めて、基本的に月1回のCTD観測を実施している。ここでは、2004年6月から2009年12月までのデータを示している。これより考察できた事項を示す。

富山湾では水深約400m以深は季節的な変動はあまり受けておらず、非常に安定した水塊が存在していることがわかる。水深約400m以深では水温が1未満となっており、この領域では定

常に低い温度の水塊が存在している事がわかる。T-S ダイアグラムにこれらの数値を載せると、ポテンシャル水温が1 未満のエリアで、塩分がほぼ 34.1 ~ 34.2 PSU に収まっている事がわかる。ここで得られたデータを柳らの T-S ダイアグラムと照らしあわせると、日本海固有水の領域とほぼ一致した結果が得られている。このことより、富山湾の深層水は日本海固有水が起源と推測できる。

上層部の水塊については、水深約 200 m までのエリアは、水温や塩分が定常的ではなく、大きく変動している事がわかる。また、この変動は季節的な要因が原因になっている事が推察される。水温に関しては、気温の影響が大きい事が容易に想像できるが、塩分に関しては 34.5 PSU 程度の高塩分水が夏季の約 100 m 深付近に存在しており、これは外部からの高塩分水の流入が無いと存在し得ない水塊である。また、T-S ダイアグラムより、低温部の水を除き、塩分が広範囲で分布している事がわかる。これは外部から侵入する高温高塩分の対馬暖流水と、河川や降水、また富山湾に特有の湧水^[10]の混合が行なわれている事を示唆し、複雑な水塊環境を形成している事がわかる。また、この図で低塩分での温度分布を見ると（塩分 33.5 ~ 33.9 PSU、ポテンシャル温度 10 ~ 25 の範囲）、最も低温になるのが 3 月または 4 月である事がわかる。気象庁での富山県における平均気温分布を見ると 1、2 月が最も気温の低い月になるが、それから 1、2 ヶ月ずれて海水温に反映されている事がわかる。これは、気温が直接海表面温度を下げるわけではなく、河川からの雪代（雪解け水）が 3、4 月頃に大量に富山湾に流入し、その影響で海水表面の水温が冷やされている事が考えられる。

（２）実習艇「さざなみ」による沿岸 CTD / ADCP 調査

ア CTD 調査による海水温度・塩分の季節・場所的変動特性の把握

「さざなみ」では、富山湾内に定められた 9 定点での CTD 観測を水深約 50 m まで行っている。この観測による 2009 年度における季節変動特性を考察する。

海水温度の特性

海水温度データを見ると、表層の温度が約 20 を下回り 10 数 以下となる 10 から 4 月までは、冬季の鉛直循環により海水温度が一定となる傾向が見えている。しかし、6 月においては、表層温度が 20 ~ 25 の間となり、鉛直循環は見られない。例年のデータを見ると、この 5 か 6 月において、冬場から夏場の傾向に変化していく。6 ~ 9 月においては夏場の傾向となるが、8 月が表層で約 25 の一番高温の時期となっている。また、この 8 月のデータでは、どのポイントにおいても水深約 20 m までが一定値を示している。これは透明度の図の注釈でも示しているが、この数日間降水量が非常に少なかったため、河川水の流入も少なく一定値になったと思われる。

全体的に見ると、特に沿岸部の St.1,2,3,6 においては水深約 10 m までの温度変化が大きく、特に神通川や富山新港からの流出水が強く影響しているものと思われる。同じ沿岸部でも、St.9 では、こうした影響が小さい。また、St.4,5 は、ほぼ同様の傾向を示している。これより神通川から出た河川水が沿岸沿いに東方向に流入していることが推測される。これも例年通りの傾向であ

るが、この強さが年変動していることも考えられるので、今後、実情と原因を検証していきたい。

塩分の特性

塩分データでは、表層においては全体的の平均塩分より低めであり、水深が深くなるにつれて上がってくる傾向がある。そして、これらの値は水深が約 200 ~ 300 m に存在する対馬暖流水の値に収束していくものと推測できる。全体的に見ると、水深が約 20 m 以上においては 6 月が 34 PSU 以上の高塩分のピーク時であることが分かる。また、透明度が高い 8 月においては、水深が約 30 m において、33 PSU 程度の低塩分から 34 PSU 以上の高塩分にシフトしていくのが確認できる。また 7 月においては、表層から水深約 10 m において、30 ~ 33 PSU の低塩分層が広く分布していて、特に St. 4, 5, 7, 8, 9 で顕著に見られる。この観測の一週間程前は降雨日が多く、この影響が表層に出ているものと思える。神通側河口から沖合に離れる、St. 3, 4, 5 においては、冬場の鉛直循環の状況を見ると、沖合に行くにつれて、河川水の影響が減っていく全体傾向が見られる。St. 7, 8, 9 では、この傾向がさらに弱くなる。

イ ADCP 調査による水塊の流向流速特性の観測

「さざなみ」では、富山湾内に定められた 9 定点での CTD 観測に併せて ADCP 観測を行った。まずは、各観測点において、諸観測で 10 分程の停船を行っている時に ADCP 観測を実施した。この結果をベクトルプロットすることにより、水深が 2 m 毎に、観測エリア全体における流向流速状況、また湾内全体の流れの傾向を知ることが可能となった。結果例として、ある観測日においては、上げ潮時のためか、全体的半時計廻りで、沿岸部では陸岸に沿って流れる傾向が見られた。また別の日の観測結果では、潮流の停滞時であるためか、全体的には等深線に沿った時計回りの流れが、水深が約 3 ~ 31 m において確認できる。しかし、St. 2, 6, 8 では、反対方向の流れが確認され、St. 9 では他よりも流れの強さが弱く、水深による方向も一定していない。

次に小矢部川河口周囲観測について示す。ここでは小矢部川と庄川の河川水が多く流入し、海底谷が直近まで食い込む、複雑な海底地形となっている。そこで、前記の一連観測の最後にこのエリアの連続観測を行った。観測結果より、流速の深度分布を見ると、流速が約 0.15 m/s 以下と非常に弱いことが分かる。そして、下段の流向分布を見ると、場所と深度により、流向が大きく異なることが分かる。河口から出た所では、水深が約 10 m までは、西から南方向に約 0.1 m/s の流れの層があることが分かる。また、海底谷際の水深が急激に変化する部分では、低部に河を遡る反流が確認できる。今後、こうしたデータを蓄積し、このエリアの流れのメカニズムを解析し、これを富山湾全体の流れの把握につなげていきたい。

一方、沿岸域の ADCP・CTD 観測のデータを利用し、数値シミュレーションを行った。富山湾への流入河川である庄川を対象とし、数値シミュレーションを用いて汽水域における流動場の解析を行った。数値シミュレーションでは、増水後から平水時に戻る際の海水と淡水の挙動のシミュレーションを行った。シミュレーションの初期条件は、庄川内は淡水とし、海側から潮汐により海水を流入させるものとする。24 時間後の結果より約一日程度で、河口から上流部まで塩水楔が

進入していくことが分かった。

(3)「寄り回り波」の实地観測と現象解析

富山湾には古くより「寄り回り波」と称する特異波浪が観察され、船舶や沿岸域の建築・土木設備や人命に大きな被害を与えてきた。2009 年 11 月 16 日には、富山湾には局所的ではあるが、昼頃から夕方にかけて、この顕著な寄り回り波が襲来した。この寄り回り波を、富山高専の展望台よりビデオカメラによる撮影を行い、その現象解析を行った。この時の風向は南から南西、風力は 3~4 であり、北東方向から卓越したうねりが海岸線に押し寄せていた。ここで動画を観察することにより、2 つのうねりが干渉する様子が推測できた。また、海底谷の直近の四方沖では顕著な寄り回り波が発生していない。現象解析として、周期 12 秒で計算したうねりの海岸付近での波長は 50~100 m であった。そして、この海面で富山高専所有の実習艇(全長約 8 m)を走らせ、この画像と比較した所、波長はおおよそこの範囲で間違い無いと考えることができた。また、北東から北北東の方向からうねりが進入していると考えた場合、これが海底谷で屈折し、海老江沖で 2 つの方向から来る波が合成されていると考えられる。

こうした現象が起こるのは、富山湾の複雑な海底地形に、特有の性質を持った波が伝搬するに当たり、特別な増幅器やフィルター効果を及ぼしていると考えられる。この寄り回り波の発生メカニズムを知り、その予測及び防止対策を考えることは重要なことである。また、こうした現象解析が、富山湾の水塊構造やその流動特性の現象把握にも関連していると考えられる。

ウ 富山湾海域富栄養化評価データセットの構築

1 . 目的

富山湾における富栄養化状況の評価を実施するにあたって、富山湾において複数の機関で実施されている水質・生物調査結果を統一的な様式で取りまとめたデータセットを作成するとともに、データセットへのデータの追加・更新方法について確立する。

2 . 結果

平成 21 年度富山湾富栄養化仮想データベース連絡会議を平成 21 年 11 月 16 日に開催した。富山県における海洋環境データは、図 1-2 に示したとおり複数の機関で所有されている。データの追加は、主に富山県環境保全課、富山県環境科学センター、富山大学、富山高専及び富山県農林水産総合技術センター水産研究所の協力を得て行った。

水質に関するデータベースの形式は、エクセル形式とした。水質等の現場観測データの多くは月ごとに管理されていることから、1 年 12 カ月を 1 電子ファイルとして年別に管理した。また、観測を行った日時、位置情報、時刻、分析方法なども銘記することとした。衛星に関する情報は、環日本海環境ウォッチシステムで毎日更新されており、ホームページ上で閲覧可能であることから水質データと同様のデータベース化は行わないこととした。データの追加・更新方法は、各機関の持つ情報を表 1-2 のとおり情報源情報として把握したうえで、年 1 回程度のデータ提供とウェブ上の情報をもとに CD-ROM に保存し、参画機関で共有する方法を確立した。

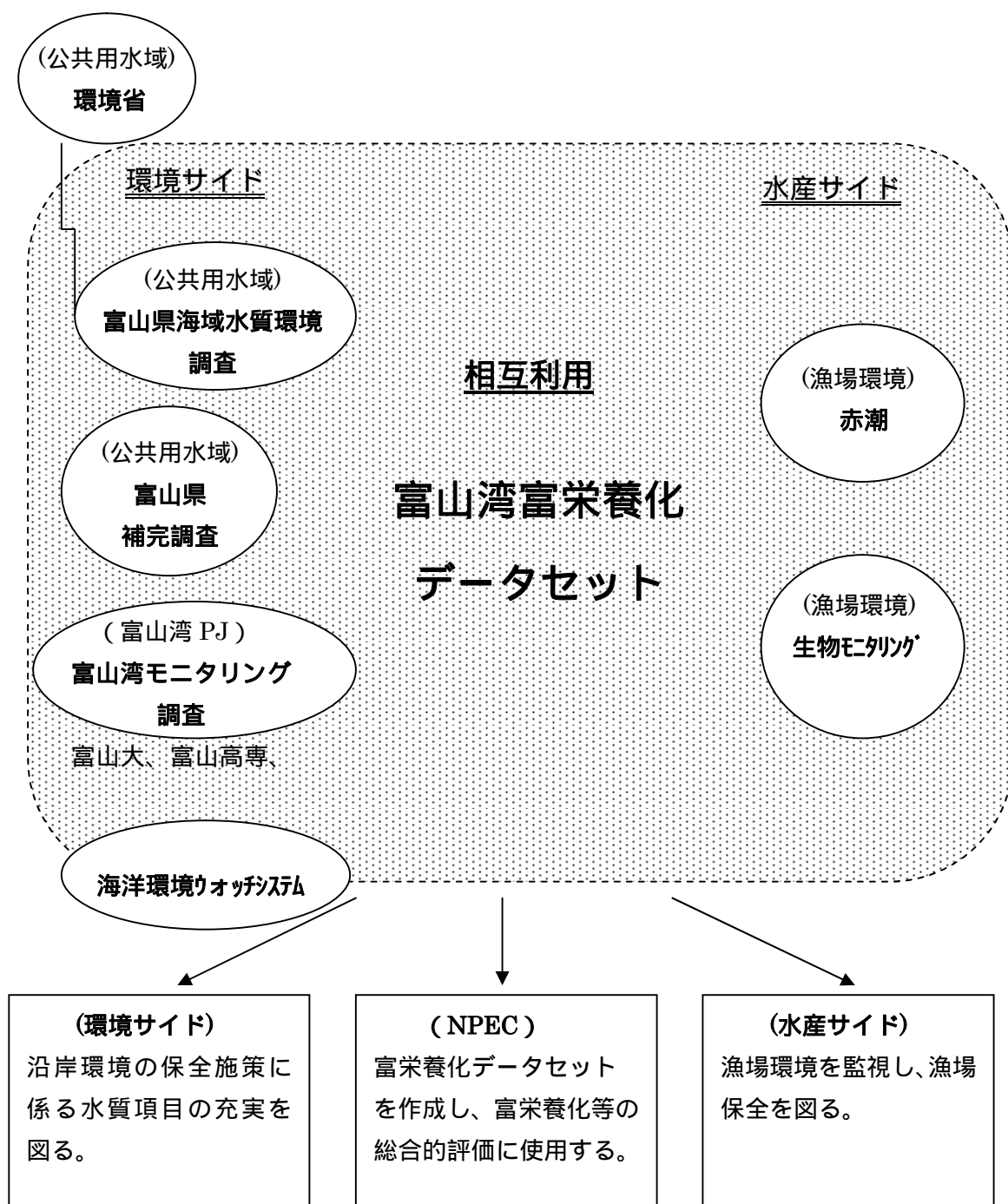


図 1-2 富山湾富栄養化データセットの概略

表 1-2 富山湾における富栄養化等調査シート

整理 番号	調査区分	所管機関	調査名	目的	調査実施期間	主な測定項目	調査頻度	海域調査点数 (2005年実績)	
①	環境部局による水質監視	富山県（環境保全課）	公共用水域水質環境調査（海域水質環境調査）	水質環境の監視	1976年度～（全窒素・全りんは1997年度～）	DO、COD、全窒素、全りん	毎月1回	23 沿岸：10 神通川：7 小矢部川：6	
②		富山県（環境保全課）	富山湾水質保全対策調査（補完調査）	富山湾海域において富栄養化の状況の把握	1997年度～	DIN、DIP、クロロフィルa、全窒素、全りん	毎月1回	9	
③		富山県（環境保全課）	水質事故報告	水質事故発生状況の把握	1975年度～	事故地点、汚染範囲、流出原因、魚類等への影響	事故発生時随時		
④	環境分野における調査・研究	富山県（環境保全課）	予測モデルの諸元基礎調査	河川からの流出負荷量のデータを整備し、予測モデルの精度向上を図る	2005年度	河川流出負荷量（T-N、T-P）の推定（1985～2004年）	単年度	5河川	
⑤		富山県（環境保全課）・海上保安庁	富山湾共同環境調査（環境保全課実施）	河川水の流入によるCOD・窒素・りん等の拡散状況の把握	2004～2005年度（実測）	COD、全窒素、全りん、DIN、DIP、クロロフィルa、透明度	河口海域：年4回 富山湾全域：2005年度に1回	神通川河口海域：10地点 小矢部川河口海域：10地点 富山湾全域：10地点（2005年度）（計30地点）	
⑥			海潮流調査（海上保安庁実施）	河口海域の海潮流の状況を把握		流向、流速、水温、塩分	漂流ブイ調査、流速計設置長期調査、富山湾全域：2005年度1回	漂流ブイ調査及び流速計設置長期調査：神通川・小矢部川河口海域各1区画 ADCP調査：神通川、小矢部川河口調査点（21点、27点）、富山湾全域44点	
⑦		富山県（環境科学センター（TESC））	富山湾の水質汚濁メカニズムに関する研究	難分解性溶存有機物（CDOM）に注目した汚濁機構の解明	2005～2007年度	溶存有機物（CDOM）、難分解性溶存有機物（R-DOM）、及びクロロフィルa	年4回	7地点	
⑧		（財）環日本海環境協力センター（NPEC）、富山県環境科学センター、富山大学、富山商船高等及び長崎大学	北西太平洋地域海洋行動計画活動推進事業調査（富山湾プロジェクト調査）	富山大学、長崎大学、富山商船高等高等学校、富山県環境科学センターと共同で、人工衛星による海域のモニタリング手法の有用性の検証	2003年度～	DIN、DIP、クロロフィルa、SS、DO、全窒素、全りん、透明度、CDOM、COD	毎月1回	11	
⑨		（財）環日本海環境協力センター（NPEC）	富山湾海域流動解析プログラムの構築	湾内での水温分布から流動を推定するプログラムの構築及び解析	2003～2005年度 解析期間：2002～2004年度	衛星データ：クロロフィルa、SST 現場調査：表層流向、流速、水温	衛星データ：通年 現場調査：2005年5月10～13日	富山湾を含む範囲（138° E30' ～138° E30'、36° N40' ～38° N40'）	
⑩	水産部局による漁場環境保全	富山県（水産研究所）	漁場環境調査	定置網漁場調査	定置網の水質環境の把握	1975年度～	COD（アルカリ法）、塩分、濁度	毎月1回	37地点
⑪				水質環境調査	定置網以外の漁場の水質環境の把握	1995年度～	COD（アルカリ法）、DO、クロロフィルa、塩分、濁度	毎月1回	18地点
⑫				赤潮調査	赤潮の発生状況及び漁業被害状況	1966年度～	発生範囲、植物プランクトンの種類、密度	赤潮発生時	富山湾全域
⑬				生物モニタリング調査	富山湾沿岸水域の富栄養化等、漁場環境の長期的な変化の監視	1996年度～	感生動物、汚染指標種、感質	4・10月	8地点
⑭				富山湾沿岸定線観測	富山湾の海況の把握及び海況変動の規則性の探求	1953年度～	水温、塩分	毎月1回	26地点
⑮	衛星データ	環境省・NPEC	環日本海海洋環境ウォッチシステム	環日本海地域の海洋環境に関する衛星リモートセンシング情報の発信	2002年から稼働（過去のデータも保存）	クロロフィルa（衛星） 表面水温（SST）	数回／日	富山湾全域	
⑯		NASA	Ocean Color WEB	リモートセンシングデータの提供	1978年～	クロロフィルa、表面水温、濁度等		全球	
⑰	その他	富山県（生活衛生課）	食中毒発生報告	食中毒の拡大防止	1994年～	発生年月日、発生場所や原因食品等	食中毒発生時		

エ 海洋に係る基盤情報の収集・整理

以下に示す国内外の論文や報告書から、沿岸環境評価手法に関する情報の収集・整理を行い、NOWPAP 富栄養化手順書を検証した。

1 . 海洋の富栄養化に関する情報

文 献	情 報
Bricker, S. B., J. G. Ferreira and T. Simas (2003) An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. <i>Ecological Modelling</i> , 169, 39-60.	クロロフィル a 濃度によって、海域の栄養状況を 4 分類化した。
Chiba, S. and T. Saino (2002) Interdecadal change in the upper water column environment and spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis. <i>Marine Ecology Progress Series</i> , 231, 23-35.	日本海の対馬暖流影響域においてクロロフィル a 濃度の長期観測から、鉛直混合の強化によって植物プランクトンの増殖が制限された。
Justic, D., N. N. Rabalais, R. E. Turner, Q. Dortch (1995) Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequence. <i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i> , 40, 339-356.	河川が流入する海域における栄養塩の濃度並びにそれらのモル比によって植物プランクトンの増殖が制限される要因を求めた。
Kauppi P. (2007) Phytoplankton quantity as an indicator of eutrophication in Finnish coastal waters: Applications within the Water Framework Directive. Finnish Environment Institute, Finland, Helsinki.	フィンランド沿岸における富栄養化の指標として植物プランクトン量の指標化をした。
Monbet, Y. (1992) Control of phytoplankton biomass in estuaries: A comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. <i>Estuaries</i> , 563-571.	河口海域における植物プランクトンの増殖について、潮汐の大小に大きく影響を受けていた。
Nagata H. (1998) Seasonal changes and vertical distributions of chlorophyll a and primary productivity at the Yamato Rise, central Japan Sea. <i>Plankton Biology & Ecology</i> , 45, 159-170.	日本海中央部の大和堆におけるクロロフィル a 濃度が記述されている。日本海沖合のバックグラウンド値として参照した。
Nixon, S. W. (1995) Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. <i>Ophelia</i> , 41, 199-219.	富栄養化の定義として、生態系における炭素供給速度を提案し、その速度から富栄養化を 4 区分した。

文 献	情 報
Nixon, S. W. (2009) Eutrophication and the macroscope. Hydrobiologia, 629, 5-19.	富栄養化の定義に関する世界的な動向の整理と OSPAR 等をはじめとする富栄養化に関する既存の取り組みにおける問題点の指摘がされた。
Salmi, T., A. Maatta, P. Anttila, T. Ruono-Airola, T. Amnell (2002) Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates -The Excel template application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute, Helsinki.	トレンド検定のノンパラメトリック手法としての Mann-Kendall 法と Sen's slope 法の解説。
Turner, R. E. and N. N. Rabalais (1994) Coastal eutrophication near the Mississippi river delta. Nature, 368, 619-621.	ミシシッピ河口海域においてこの 100 年間で窒素の負荷量が倍増する一方でケイ素の負荷量が半減した。
Yamada K. and J. Ishizaka (2006) Estimation of interdecadal change of spring bloom timing, in the case of Japan Sea. Geophysical Research Letters, 33, L02608.	日本海中央部におけるクロロフィル a 濃度の長期変動を衛星データから明らかにした。日本海上空の風が弱い年に、植物プランクトンの春の増殖が早い傾向があった。
Yamamoto, T. (2003) The Seto Inland Sea – eutrophic or oligotrophic? Marine Pollution Bulletin, 47, 37-42.	富栄養化という現象が、状態を表すものか傾向を表すものかを区別したうえで、栄養塩濃度の減少傾向から瀬戸内海の富栄養化を述べた。
Xiao, Y., J. G. Ferreira, S. B. Bricker, J. P. Nunes, M. Zhu and X. Zhang (2007) Trophic assessment in Chinese coastal systems – Review of methods and application to the Changjiang (Yengtze) Estuary and Jiaozhou Bay. Estuary and Coasts, 30, 901-918.	アメリカ NOAA で開発された沿岸環境手法である ASSETS を中国沿岸で適応した結果が示された。
西澤誠也 (2008) 気象観測データの長期トレンドの統計解析. 応用数理, 18, 27-38.	気象関係の統計手法として Mann-Kendall 法が紹介された。

2 . 海洋の衛星に関する情報

文 献	情 報
Kahru, M. and B. G. Mitchell (2008) Ocean color reveals increased blooms in various parts of the world. EOS, 170.	長期間に亘る衛星クロロフィル a 濃度の時系列データから、全球でのトレンドを求めた。
Gohin F., B. Saulquin, H. Oger-Jeanneret, L. Lozac ' h, L. Lampert, A. Lefevre, P. Riou and F. Bruchon (2008) Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations. Remote Sensing of Environment, 112, 3329-3340.	欧州連合が Water Framework Directive にて定める、富栄養化リスク評価手法に基づき、衛星クロロフィル a 濃度を用いて、沿岸海域の類型化を行った。
Harding Jr. L. W., A. Magnuson and M. E. Mallonee (2005) SeaWiFS retrievals of chlorophyll in Chesapeake Bay and the mid-Atlantic bight. Estuarine Coastal and Shelf Science, 62, 75-94.	現場観測によりモニタリングが困難な夏季のクロロフィル a 濃度短期変動を衛星クロロフィル a 濃度により検出した。

オ 各種委員会等開催

1. 委員名簿

海洋環境リモートセンシング調査検討委員会名簿

氏 名	所 属・職 名
石坂 丞二（委員長）	名古屋大学地球水循環研究センター 教授
柳 哲雄	九州大学応用力学研究所 所長
浅沼 市男	東京情報大学総合情報学部 教授
川村 宏	東北大学大学院理学研究科 教授
才野 敏郎	独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境観測研究センター 温暖化情報観測研究プログラム プログラムディレクター
伊藤 恭一	財団法人リモート・センシング技術センター 利用推進部 次長
尹 宗煥	九州大学応用力学研究所 教授
山崎 孝	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙利用ミッション本部 衛星利用推進センター 特任担当役

富山湾プロジェクト調査研究委員会名簿

氏 名	所 属・職 名
石坂 丞二（委員長）	名古屋大学地球水循環研究センター 教授
田口 茂	富山大学理学部生物圏環境科学科 教授
千葉 元	富山商船高等専門学校商船学科 准教授
堀 武司	富山県環境科学センター 所長
浦田裕治	富山県生活環境部環境保全課 課長

富山湾プロジェクトワ - キンググループ名簿

氏 名	所 属・職 名
波多 宣子	国立大学法人富山大学理学部生物圏環境科学科 准教授
古山 彰一	富山商船高等専門学校情報工学科 講師
笹島 武司	富山県環境科学センター 水質課長
森 友子	富山県生活環境部環境保全課 水質保全係長

２．開催状況

２－１ 海洋環境リモートセンシング調査検討委員会の開催

赤潮／HAB 調査検討委員会との合同により、東京都において２回開催された「赤潮／HAB 調査検討委員及び海洋環境リモートセンシング調査検討委員会合同会合」において、事業計画、調査結果等について報告し、指導、助言を受けた。

第１回 2009 年 7 月 10 日

第２回 2010 年 3 月 19 日

２－２ 富山湾プロジェクト調査研究委員会及び富山湾ワーキンググループの開催

富山湾プロジェクト調査研究委員会及びワ－キンググループ委員会との合同により富山市において２回開催し、事業計画、調査結果等について報告し、指導、助言を受けた。また、富栄養化評価手法の検討のため勉強会を開催した。

第１回 2009 年 5 月 27 日

第２回 2010 年 3 月 5 日

勉強会 2010 年 1 月 25 日

(2) 環日本海海洋環境ウォッチシステム維持管理業務結果

環日本海海洋環境ウォッチシステム(以下「本システム」という)を用いて 人工衛星の軌道情報及び海洋環境情報を定期的にインターネット上から取得し、画像回してインターネット上で黄海するため、人工衛星による観測データの信号受信・処理システムの維持管理業務に係わる作業を、以下の通り実施した。

1. 維持管理要員の確保

本維持管理業務を適正に遂行するにあたり、本システムが使用している機器類及びソフトウェア（以下、「機器類」という）についての専門的知識及び運用の経験を有する以下の2名を確保した。

(財)環日本海環境協力センター 調査研究部 研究員 寺内元基
副主幹研究員 島田博之

2. 維持管理作業の内容

システムの作業の確認等

本システムが使用している機器等が正常に作動していることについての状況確認を1日3回(朝、昼、夕方)行い、構成している機器等についてシステムエラー等が発生した際には機器等のリセット、再起動を実施した。

不要ファイルの削除

本システム内のハードディスク装置作業領域内において使用さえる作業ファイルのうち、不要なファイルを定期的に削除することにより、ハードディスク装置の作業領域を確保した。

消耗品の交換

ファイルサーバー用のハードディスク、UPS(無停電装置)のバッテリー等の消耗品を必要に応じて交換した。

重大な故障の報告

本システムにて使用する危機等において、専門業者による修理作業が必要となる故障・破損等は発生しなかった。

システムホームページの定期更新

本システムで得た海表面水温、クロロフィル a 濃度等の情報を定常的に処理・加工し、ホームページを通じて情報発信した。海のカレンダーページで新たに、九州北西部海域(日本)、長江河口域及び周辺海域(中国)、チンヘ湾(韓国)のデータセットを作成し追加した。

衛星データ利用支援コンテンツ及び普及啓発コンテンツの作成・追加

衛星データの利用を促進するため、データベース利用マニュアルの充実を図るとともに、データ活用事例のページにインタビュー記事、データ活用事例、研究資料等を追加した。

3．光熱・通信費・リース料の支払い

本システムが使用する電気料金、電話回線使用料、プロバイダー契約料の支払いを行った。

4．契約期間中における記録の作成

本維持管理業務の実施にあたっては、使用した消耗品の数量、不具合等の記録等を作成し、円滑に業務を遂行した。

5．ホームページの運用状況

平成 15 年 3 月に環日本海海洋環境ウォッチシステムのホームページが開設されて以来、これまで多くのユーザーが、ウォッチシステムが提供するデータ及びリモートセンシング画像を利用している。特にデータ解析ソフトの紹介、活用事例、海のカレンダー等を追加しホームページを大幅に改訂した平成 17 年 6 月以降は、登録ユーザーの数が着実に増加しており、平成 21 年度末の時点で約 150 人の登録ユーザーがいる。(図 1)。また、ホームページへのアクセス数は 2008 年までは増加傾向にあったが、今年度には月間平均で 1 万 3 千のアクセスがあった(図 2)。提供コンテンツへのアクセス率は、海のカレンダー、画像検索、データ解析ソフトウェアの順で高い。今後、更なるコンテンツの充実を図っていく必要があると思われる。

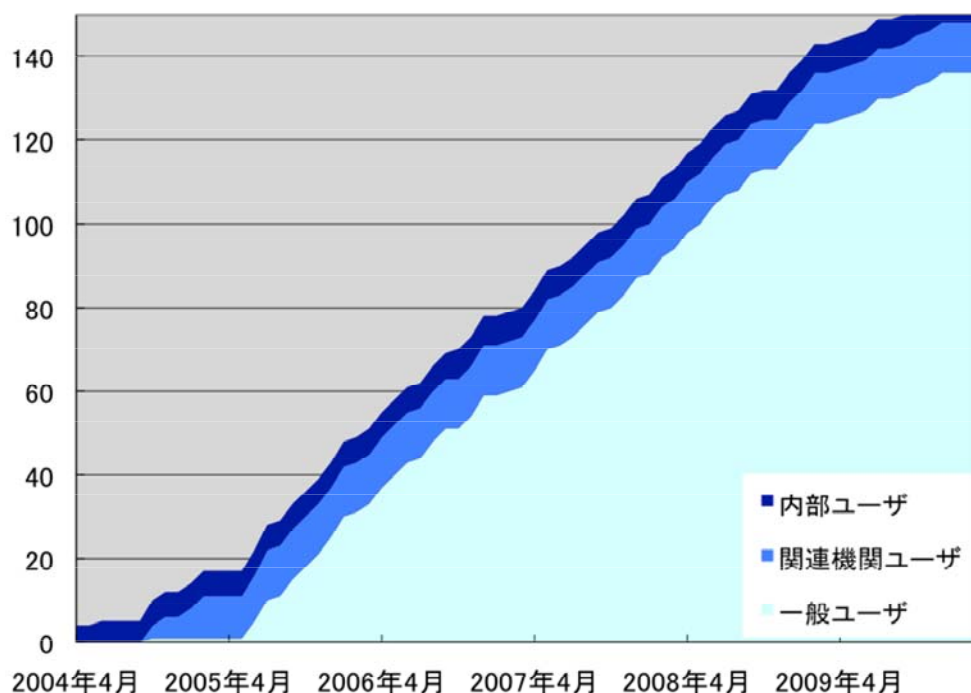


図 1 ウォッチシステムホームページ登録ユーザー数の推移

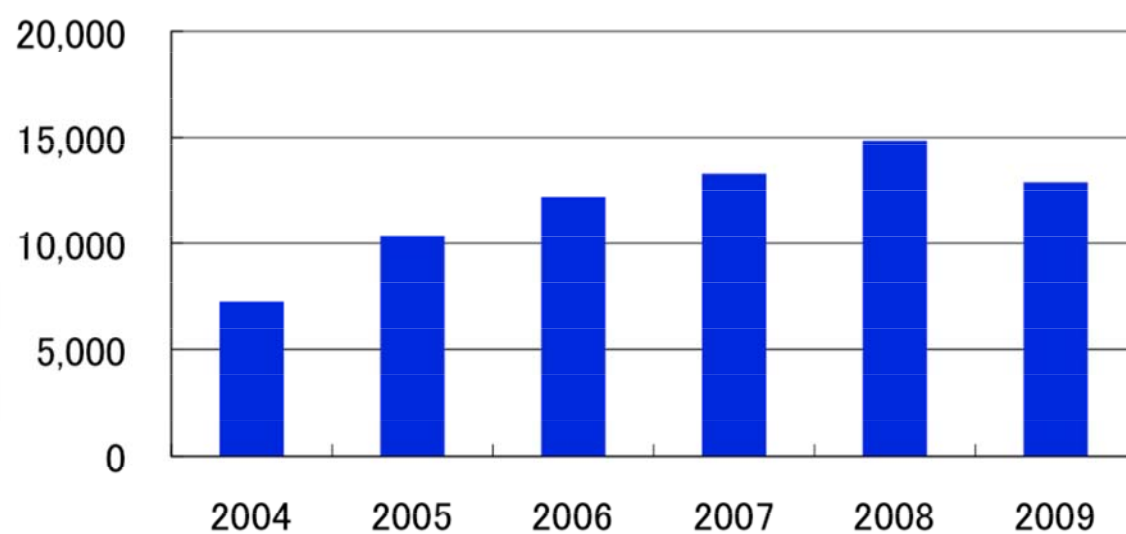


図2 ウォッチシステムホームページへのアクセス状況の推移
図の数字は、月間のアクセスページ数の年平均値を示す。

参 考 資 料

Procedures for assessment of eutrophication status including evaluation of
land-based sources of nutrients for the NOWPAP region
(Developed in June 2009)

- Contents -

1.	Introduction.....	28
1-1.	Background.....	28
1-2.	Objectives of the Draft Procedures.....	29
1-3.	Characteristics of the Draft Procedures.....	29
1-4.	Overall structure	30
2.	Scope of assessment.....	31
2-1.	Setting of assessment objective.....	31
2-2.	Selection of assessment area	31
2-3.	Collection of relevant information	31
2-4.	Selection of assessment parameters and data.....	33
2-4-1.	Categorization of monitored/surveyed parameters	33
2-4-2.	Selection of assessment parameters of each assessment category.....	33
2-4-3.	Setting of assessment value	34
2-4-4.	Selection of monitoring/survey data for the assessment.....	34
2-5.	Division of assessment area into sub-areas.....	34
2-6.	Setting of assessment period	34
3.	Data processing	34
3-1.	Data processing method	34
3-2.	Data screening	34
3-3.	Selection of monitoring/survey data for sub-area assessment	34
3-4.	Data processing	35
4.	Setting of assessment criteria	35
4-1.	Setting of criteria for selection of eutrophication identification tools.....	35
4-2.	Setting of criteria for classifying the eutrophication status of assessment parameter	35
4-3.	Setting of criteria for classifying the assessment category	38
4-4.	Setting of criteria for classifying the assessment area/sub-area	38
5.	Assessment process and results	38
6.	Review of results	38
7.	Conclusion and recommendation	39

1. Introduction

Eutrophication is the phenomenon of aquatic ecosystem enrichment due to increased nutrient loading. Eutrophication is often caused by human activities, such as inputs of fertilizers from agriculture farming, feed for aquaculture, untreated and/or treated sewage as well as industrial wastewater. Eutrophication causes the deterioration of the coastal environment and typically leads to the formation of harmful algal (phytoplankton) blooms which may subsequently induce fish kill, further ecosystem damage and, at times, are directly or indirectly associated with human health problems. Eutrophication degrades the water quality by decreasing oxygen amount and often light penetration through accelerating excessive production of organic matter in the coastal waters.

In the Northwest Pacific region, coastal areas of China, Japan and Korea are densely populated and eutrophication is often perceived as a potential threat for coastal environment, although eutrophication is rare in Russian waters. Ability to monitor their coastal systems is necessary to manage and sustain healthy coastal environments. However, the availability of continuous and synoptic water quality data, particularly in estuaries and bays is lacking, and it is difficult to characterize the response of water quality to human and natural impacts. Furthermore due to increases in agricultural and industrial activity as well as the possible changes of coastal run-off in this region, there has been an increase in the need for effective monitoring methods on the change of water quality.

Thus, Northwest Pacific Action Plan (NOWPAP) Working Group 3 (WG3) and Working Group 4 (WG4) have decided to use experience of the European countries and develop "Procedures for assessment of eutrophication status including evaluation of land-based sources of nutrients for the NOWPAP region (Procedures)". It is hoped that the obtained assessments will provide arguments to limit or, if possible, to reduce anthropogenic change of the coastal ecosystem.

1-1. Background

- 1.1. Development of the Procedures was proposed and approved at the 5th CEARAC (Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment Regional Activity Center) Focal Point Meeting (FPM) held in Toyama on September 18-19, 2007.
- 1.2. As part of the development processes of the draft Procedures, NPEC (Northwest Pacific Region Environmental Cooperation Center) has implemented a case study in Toyama Bay (Toyama Bay case study), by referring to the 'Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area'. An interim progress of the Toyama Bay case study was presented at the 5th CEARAC FPM and First Coastal Environment Assessment Workshop held in Toyama on March 6-8, 2008.

1-2. Objectives of the Procedures

- 1.3. The objectives of the Procedures are to enable each NOWPAP member state to assess the status and impacts of eutrophication in their respective sea areas, by using information obtained through existing monitoring activities. The assessment results could hopefully then be utilized by each NOWPAP member state for consideration and development of monitoring systems and countermeasures against eutrophication. The content of the Procedures will be continuously revised and improved by reflecting the feedbacks from each NOWPAP member state gains through the implementation of the Procedures. Figure 1 schematically shows the concept of the Procedures.

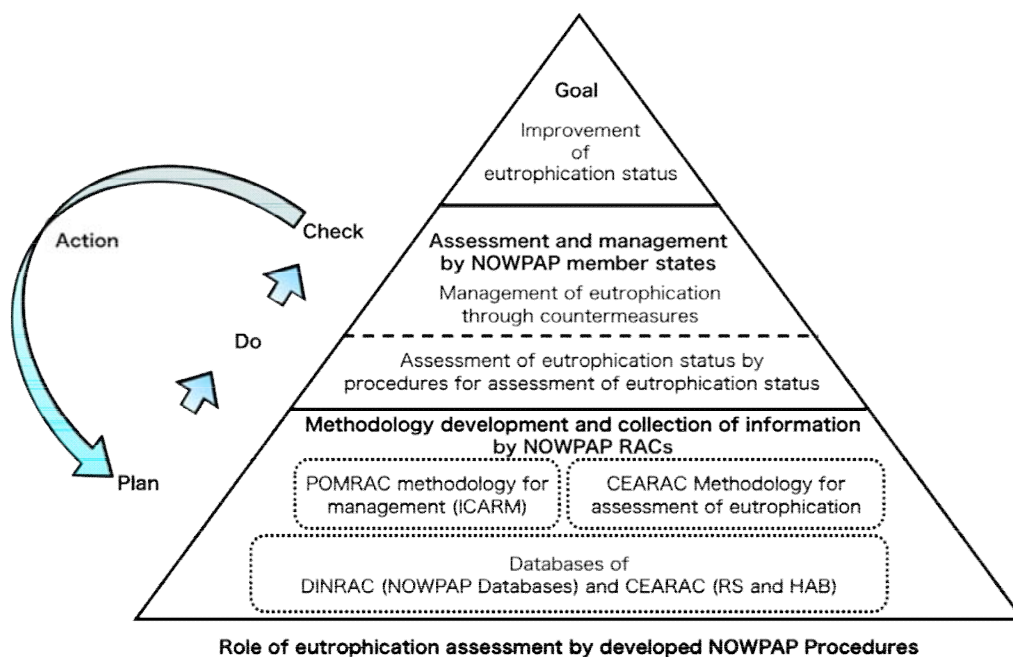


Figure 1 Concept of the Procedures.

RACs are regional activity centers of NOWPAP. CEARAC: Special Monitoring and Coastal Environment Assessment Regional Activity Centre, DINRAC: Data and Information Network Regional Activity Centre, POMRAC: Pollution Monitoring Regional Activity Centre.

1-3. Characteristics of the Procedures

- 1.4. The Procedures was developed based on the following principles:

- i) It should be adaptable to various environmental conditions in different types of areas in the NOWPAP region.
- ii) If applicable, new monitoring techniques such as remote sensing (e.g. physical and biological data) should be used in the assessment procedure.
- iii) Eutrophication status is assessed through a holistic approach by integrating the following eutrophication aspects: degree of nutrient enrichment, direct/indirect effects of nutrient enrichment and other possible effects of nutrient enrichment.

1-4. Overall structure

1.5. The assessment procedure is broadly separated into six parts, namely i) scope of assessment, ii) data processing, iii) setting of assessment criteria, iv) assessment process and results, v) review of results and vi) conclusion/recommendations. In the 'scope of assessment' part, assessment area and parameters are selected from predetermined lists and period of observations. In the 'data processing' part, raw data are processed into data sets for the assessment. In the 'setting of assessment criteria' part, assessment criteria are set. In the 'assessment process and results' part, eutrophication status of the assessment area is identified. In the 'review of results' part, the assessment results are reviewed and verified by traditional and new monitoring techniques, such as remote sensing from various satellites/sensors, as well as they are compared with the results of modeling. In the 'conclusion/recommendations' part, future measures and actions are suggested with estimates of costs and benefits and future issues are identified on the basis of the assessment results. Figure 2 shows the implementation flow of the Procedures.

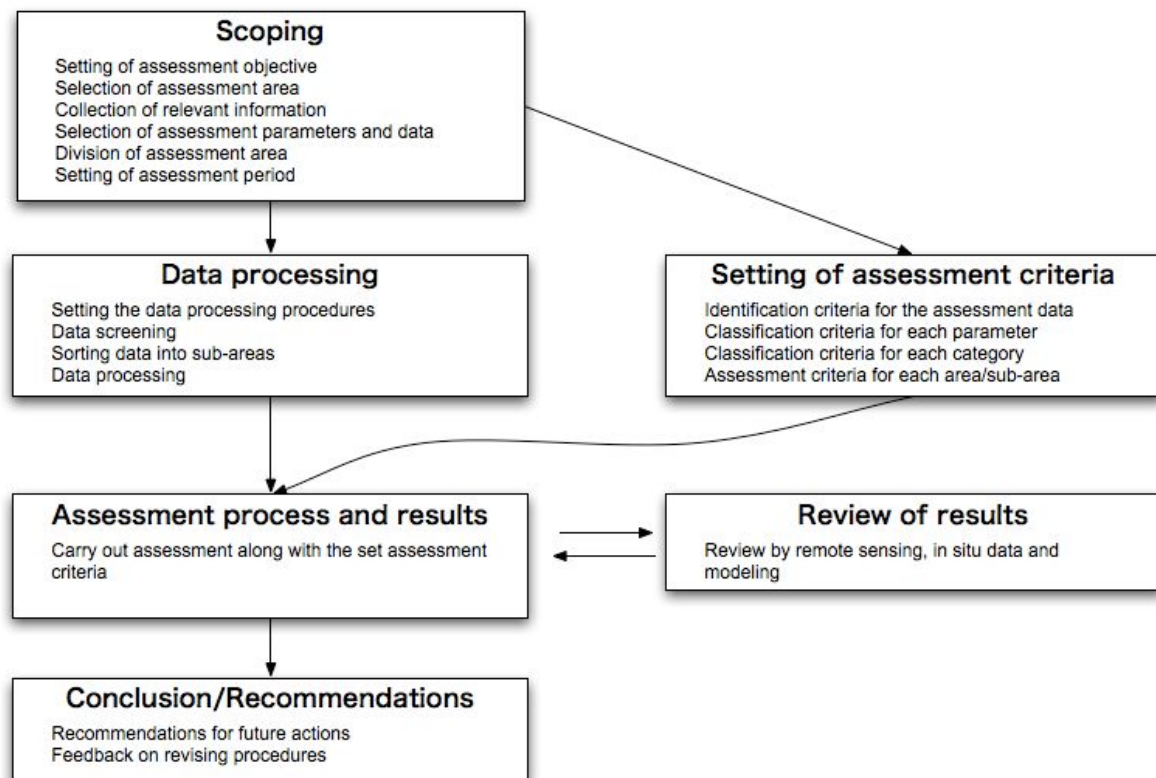


Figure 2 Basic flow of the Procedures.

2. Scope of assessment

2-1. Setting of assessment objective

2.1. State objectives of the assessment.

2.2. In order to facilitate the understanding of the assessment results, clarify the preconditions and limitations involved in the assessment.

2.3. State any scientific uncertainties that users of the assessment results should take note of, such as:

- i) The assessment results may not be applicable for use in environmental impact assessment.
- ii) The assessment results may become less reliable/valid when scientific data/information are updated.
- iii) The assessment results may have low degree of confidence due to insufficient data.

2-2. Selection of assessment area

2.4. Select an assessment area that can be considered as a single sea area (e.g. geographic unit).

2.5. An assessment area should be an area for which there are ongoing environmental monitoring and assessment programs and where eutrophication was earlier observed or amount of nutrients increases.

2-3. Collection of relevant information

2.6. Collect information on the assessment area that is necessary and relevant to eutrophication assessment such as: i) environmental monitoring/survey data* (e.g. water quality, nutrient load, red tide, marine flora/fauna, shellfish poisoning, ocean remote sensing); ii) pollutant sources (e.g. municipal, industrial, agricultural, marine aquaculture, atmospheric deposition); iii) supplementary information (e.g. oceanography, meteorology, catchment area population, wastewater management, fishery status, coastal recreation). The list of relevant information will be updated as further experiences are gained through the implementation of the Procedures.

*: Information on methodology (e.g. method of field measurement and chemical analysis) should also be collected to confirm data reliability.

2.7. Collect eutrophication related information/data from organizations such as:

- i) Organizations that monitor water quality for environmental conservation purposes
- ii) Organizations that observe ocean with satellite remote sensing
- iii) Organizations that monitor harmful algal blooms for protection of fishery resources
- iv) Organizations that monitor shellfish poisoning for food safety
- v) Organizations that have supporting environmental information (e.g. oceanographic (physical, biogeochemical etc.) data, meteorological data)

2.8. Organize the collected environmental monitoring/survey information into a tabular format. Table 1 is an example of a tabular format.

Table 1 An example of tabular format for organizing collected environmental monitoring/survey information.

Survey area	Governing organization	Survey title	Aim	Survey period	Main survey parameters	Survey frequency	No. of survey points

2.9. Select the most appropriate environmental monitoring/survey program for the assessment process in section 5.

2.10. The following environmental monitoring/survey programs should not be used for the assessment procedure:

- i) Monitoring/surveys conducted at very limited frequency
- ii) Programs that monitor/survey environmental parameters that are not directly related to eutrophication
- iii) Monitoring/surveys that are not conducted at regular locations and frequency
- iv) Monitoring/surveys that are not conducted for monitoring water quality and aquatic organisms
- v) Monitoring/surveys that employ uncommon analytical methods

2-4. Selection of assessment parameters and data

2-4-1. Categorization of monitored/surveyed parameters

2.11. From the selected environmental monitoring/survey programs, categorize all eutrophication related parameters that are monitored/surveyed within the assessment area into one of the following 4 assessment categories:

- i) Category I Parameters that indicate degree of nutrient enrichment
- ii) Category II Parameters that indicate direct effects of nutrient enrichment
- iii) Category III Parameters that indicate indirect effects of nutrient enrichment
- iv) Category IV Parameters that indicate other possible effects of nutrient enrichment

2-4-2. Selection of assessment parameters of each assessment category

2.12. After the categorization process, select the assessment parameters that are applicable for the assessment procedure on the basis of their data reliability and continuity (e.g. data collected at fixed locations and at regular frequencies). The selected assessment parameters should also have established assessment methods.

2.13. In principle, all surveyed/monitored parameters related to eutrophication should be selected for the assessment procedure. If certain parameters are to be excluded from the assessment procedures, the reasons must be stated.

2.14. The final selection of the assessment parameter is subject to the decision of each member state. Table 2 shows the assessment parameters that were used in the Toyama Bay case study. The appropriateness of the selected assessment parameters should be reevaluated as further experiences are gained through the implementation of the Procedures.

Table 2 Assessment parameters used in the Toyama Bay case study

Category		Assessment parameter
I	Degree of nutrient enrichment	Riverine input (T-N, T-P)
		Total nitrogen/Total phosphorus (T-N, T-P)
		Winter DIN/DIP concentration
		Winter N/P ratio (DIN/DIP)
II	Direct effects of nutrient enrichment	Chlorophyll-a concentration (field data)
		Chlorophyll-a concentration (remote sensing data)
		Ratio of area with high chlorophyll-a concentration (remote sensing data) to the total area
		Red-tide events (diatom species)
III	Indirect effects of nutrient enrichment	Dissolved oxygen (DO)
		Abnormal fish kill incidents
		Chemical oxygen demand (COD)
IV	Other possible effects of nutrient enrichment	Red-tide events (<i>Noctiluca</i> sp.)
		Shellfish poisoning incidents

2-4-3. Setting of assessment value

2.15. In order to understand the inter-annual trends of eutrophication, assessment should be basically conducted with annual data (e.g. annual mean, annual max., annual number of events). However, other time scales (e.g. seasonal mean, raw value) may be used if it is considered more appropriate. It is recommended to analyze raw data carefully first to make reasonable statistical analysis. Descriptions of changes of sampling and analytical methods, such as sampling number, sampling time and location, preservation, and measurement procedure, is necessary for reasonable interpretation of data.

2.16. Set the assessment values*.

*Assessment value: The type of data (e.g. annual mean, annual max., annual number of events, seasonal mean, seasonal max.) that will be used for the assessment

2-4-4. Selection of monitoring/survey data for the assessment

2.17. Select the monitoring/survey data to be applied for each assessment parameter.

2-5. Division of assessment area into sub-areas

2.18. If it is necessary to understand and assess the causes and direct/indirect effects of eutrophication at more localized scales, the assessment area may be divided into sub-areas.

2.19. When dividing the assessment area into sub-areas, factors such as location of riverine input, monitoring locations, fishery activities, underwater topography, salinity distribution, ocean currents and red-tide events should be considered.

2-6. Setting of assessment period

2.20. Set the assessment period in accordance with the assessment objectives and availability of reliable data.

3. Data processing

3-1. Data processing method

3.1. For each assessment parameter, determine a methodology to process monitoring/survey data into the selected assessment values (e.g. annual mean).

3-2. Data screening

3.2. Within the selected monitoring/survey data, exclude data that are not suitable for the assessment.

3.3. If certain monitoring/survey data are excluded in the above process, state the reasons for their exclusion. Possible reasons could be related to survey location, data reliability and so on.

3-3. Selection of monitoring/survey data for sub-area assessment

3.4. If the assessment area is divided into sub-areas, the data for the sub-area assessment should

be selected based on the location of the survey/monitoring sites.

3-4. Data processing

3.5. Process the selected monitoring/survey data into assessment values in accordance with the methods established in 3.1.

3.6. In principal, process monitoring/survey data of all survey/monitoring site.

3.7. Prior to data processing, it is preferable to arrange the monitoring/survey data into data sets (e.g. data sets for each assessment parameter and survey/monitoring site).

4. Setting of assessment criteria

4.1. Eutrophication status of an assessment area is assessed based on a set of assessment criteria. Detail explanations are provided in the ensuing sections.

4-1. Setting of criteria for selection of eutrophication identification tools

4.2. Eutrophication status based on each assessment parameter is assessed by identifying its current status and/or trend. The current status and trend of an assessment parameter are identified by using a combination of the following 3 identification tools. Selection of the identification tools should be based on set identification criteria*.

*Identification criteria: Criteria for selecting the identification tools for the assessment.

i) Identification by comparison (identifies current status): The eutrophication status is identified by comparing the obtained assessment value (e.g. annual mean value) with either environmental standards (standards may be set as absolute value or have a range of values such as for DO and chlorophyll-a) or background value (e.g. measurement values obtained at an area that has had negligible influence from anthropogenic activities). This identification tool is used for assessment parameters that can be expressed by concentration or ratio (e.g. N/P ratio).

ii) Identification by occurrence (identifies current status): Eutrophication status is identified by occurrence or non-occurrence of eutrophication-related events. This identification tool is used for assessment parameters that can be expressed by number or frequency of events (e.g. red tide).

iii) Identification by trend (identifies trend): Eutrophication status is identified by identifying the trend. This identification tool can be used for all assessment parameters with reasonably long time series.

4.3. The rationale behind the set identification criteria must be stated clearly and objectively.

4-2. Setting of criteria for classifying the eutrophication status of assessment parameter

4.4. After identifying the current status and/or trend with the eutrophication identification tool, the eutrophication status of the assessment parameter should be classified based on set

classification criteria*.

*Classification criteria: Criteria for classifying the eutrophication status of assessment parameters.

4.5. Table 3 shows the identification tools applied to each assessment parameter in the Toyama Bay case study.

Table 3 Identification tools applied to each assessment parameter in the Toyama Bay case study

Category	Assessment parameter	Assessment value	Identification tools ¹⁾			Remarks
			Comparison	Occurrence	Trend	
I	Riverine input (T-N, T-P)	Annual mean			✓	
	Total nitrogen/Total phosphorus (T-N, T-P)	Annual mean	✓		✓	
	Winter DIN/DIP concentration	Winter mean	✓		✓	
	Winter N/P ratio (DIN/DIP)	Winter mean	✓		✓	
II	Chlorophyll-a concentration (field data)	Annual max. Annual mean	✓		✓	
	Chlorophyll-a concentration (remote sensing data)	Annual max. Annual mean	✓		✓	
	Ratio of area with high chlorophyll-a concentration (remote sensing data) to the total area	Annual max. Annual mean			✓	
	Red-tide events (diatom species)	Annual occurrences		✓	✓	
III	Dissolved oxygen (DO)	Annual min.	✓		✓	
	Abnormal fish kill incidents	Annual occurrences		✓	✓	
	Chemical oxygen demand (COD)	Annual mean	✓		✓	
IV	Red-tide events (<i>Noctiluca</i> sp.)	Annual occurrences		✓	✓	
	Shellfish poisoning incidents	Annual occurrences		✓	✓	

- 1) Comparison: comparison with environmental standard or background value
Occurrence: occurrence or non-occurrence
Trend: degree of increase/decrease

4.6. Following is an example of classification criteria used to classify the eutrophication status of the assessment parameters. Current status is classified as either 'high status' or 'low status', and trend is classified as either 'decrease trend', 'no trend' or 'increase trend'. The classification results of the current status and trend are then combined together to produce 9 categories of eutrophication status (see Figure 3). If the assessment parameter is assessed only with the trend method, the assessment parameter will be classified as either 'decrease trend', 'no trend' or 'increase trend'.

4.7. Figure 3 shows an example of classification criteria set to classify the eutrophication status of assessment parameter.

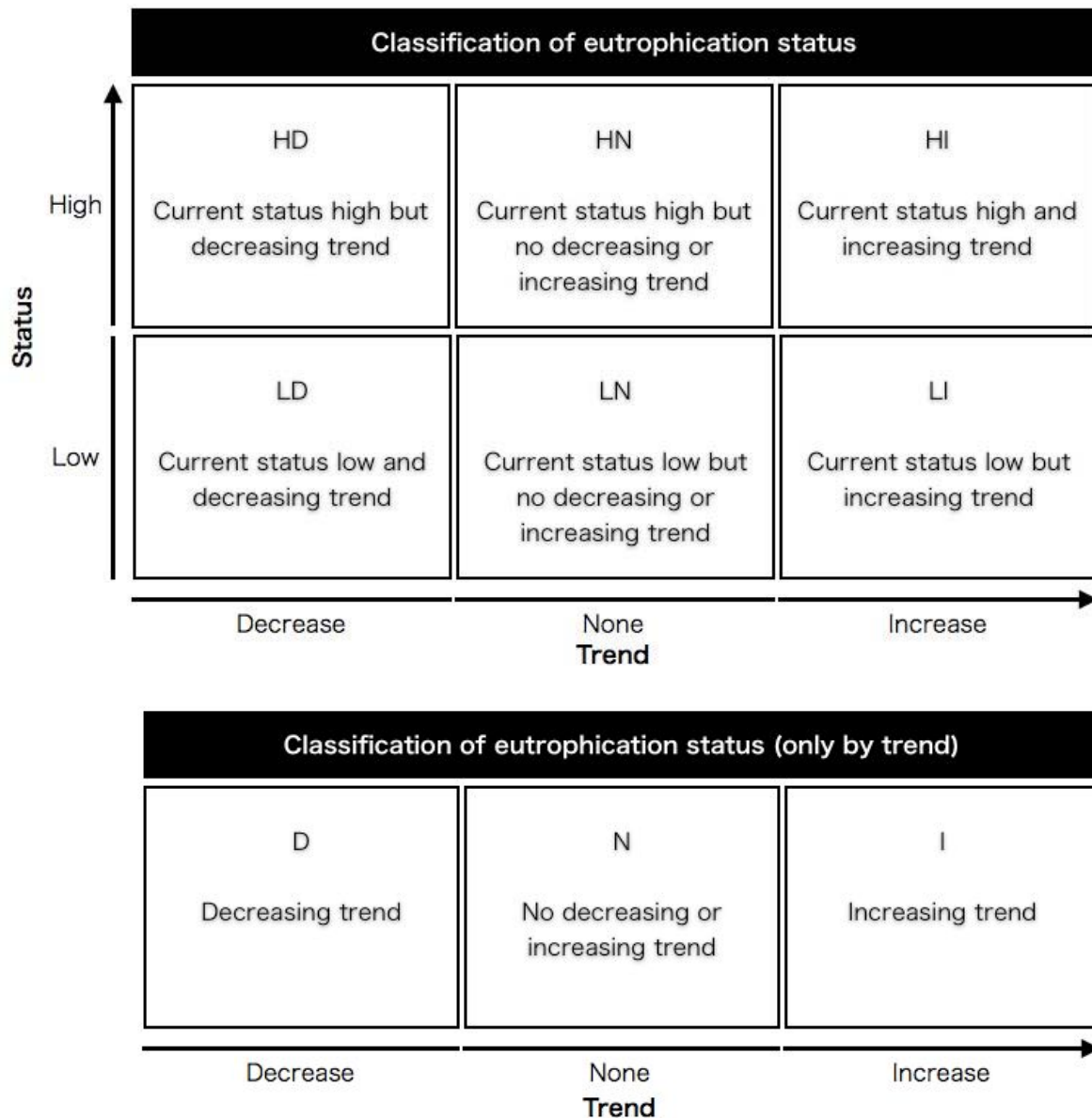


Figure 3 An example of classification criteria set to classify the eutrophication status of assessment parameter

4-3. Setting of criteria for classifying the assessment category

4.8. Determine the eutrophication status of the assessment category by setting assessment category classification criteria.

4.9. Classify eutrophication status of the assessment category by selecting one classification result of the assessment parameters within the assessment category that most appropriately represents the eutrophication status of the area. However, if the classification results are contradictory among the assessment parameters in the assessment category, and therefore if it is unreasonable to select a representative classification result, this assessment category can be excluded from the classification procedure with its reasons stated.

4-4. Setting of criteria for classifying the assessment area/sub-area

4.10. Set holistic assessment criteria for the assessment area/sub-area so as to diagnostically explain classification results of each assessment parameter and category.

5. Assessment process and results

5.1. The eutrophication status of the assessment area should be assessed on the basis of the identification results of the assessment data and classification results of each parameter and parameter's categories.

5.2. Identify the eutrophication status of the assessment data of each monitoring site based on the set identification criteria.

5.3. Classify each assessment parameter based on the identification results of the assessment data. If there are multiple monitoring sites in each sub-area, the identification results from all the monitoring sites should be taken into account.

5.4. Classify each assessment category based on the classification results of assessment parameters.

5.5. The eutrophication status of each area/sub-area should be assessed based on the classification results of each assessment parameter and category.

5.6. Explain diagnostically classification results of each assessment parameter and category.

6. Review of results

6.1. The assessment report should have all necessary information required for the objective review of the assessment results.

6.2. If applicable, new techniques such as remote sensing could also be used for reviewing of the assessment results.

6.3. It is recommended to have interpretation of the results; if there is eutrophicated/oligotrophic status and/or trend, the possible reasons, such as changes of nutrient loads caused by anthropogenic activities and/or climate change would be described.

7. Conclusion and recommendations

7.1. Based on the assessment results, provide recommendations for future actions.

7.2. The results of each classification process should be clearly presented, so that policy makers etc. can consider the most appropriate monitoring or countermeasures against eutrophication.

Copyright © NOWPAP CEARAC 2009

For bibliographical purpose, this document may be cited as:

NOWPAP CEARAC 2009: Procedures for assessment of eutrophication status including evaluation of land-based sources of nutrients for the NOWPAP region.

**富山湾海域モニタリング調査結果、NOWPAP ガイドラインの検証
及び NOWPAP 富栄養化状況評価手順書の検証（NPEC、名古屋大学）**

1 富山湾海域モニタリング調査結果

1 - 1 クロロフィル a 濃度、懸濁物質（SS）、有色溶存有機物（CDOM）及び透明度の季節変化

平成 16～21 年度におけるクロロフィル a 濃度の推移について、湾西部と湾東部にわけて図示した（図 1 - 1 - 1(A)(B)）。富山湾沿岸においては 6～8 月にクロロフィル a 濃度が高くなる傾向がある。本年度の湾東部では 7 月と 9 月にピークがみられ、7 月の地点 2 では $16 \mu\text{g/L}$ に達した。また、湾西部では 5 月と 7 月にピークがみられ、地点 6 の 5 月に最高値 $21 \mu\text{g/L}$ がみられた。

SS も、クロロフィル a 濃度と同様の傾向で推移し、6～7 月にピークがみられた（図 1 - 1 - 2(A)(B)）。

CDOM では湾東部においては 6 月に、湾西部においては 5 月にピークがみられた。河川水の影響が大きい地点 1、3、6 において比較的高かった。一方、9 月以降に CDOM は 0.2 m^{-1} 以下で推移した（図 1 - 1 - 3(A)(B)）。

透明度は、河川水の影響下にあると考えられる調査地点のみならず、比較的河川の影響を受けにく、やや沖合の定点（調査地点 5, 7, 8, 9）においても大きく変動した。概ね、クロロフィル a 濃度、SS 及び CDOM と逆の推移を示した。7、9 月における透明度の低下は、クロロフィル a 濃度と SS の上昇によると考えられる。一方、8 月には透明度が上昇した（図 1 - 1 - 4(A)(B)）。

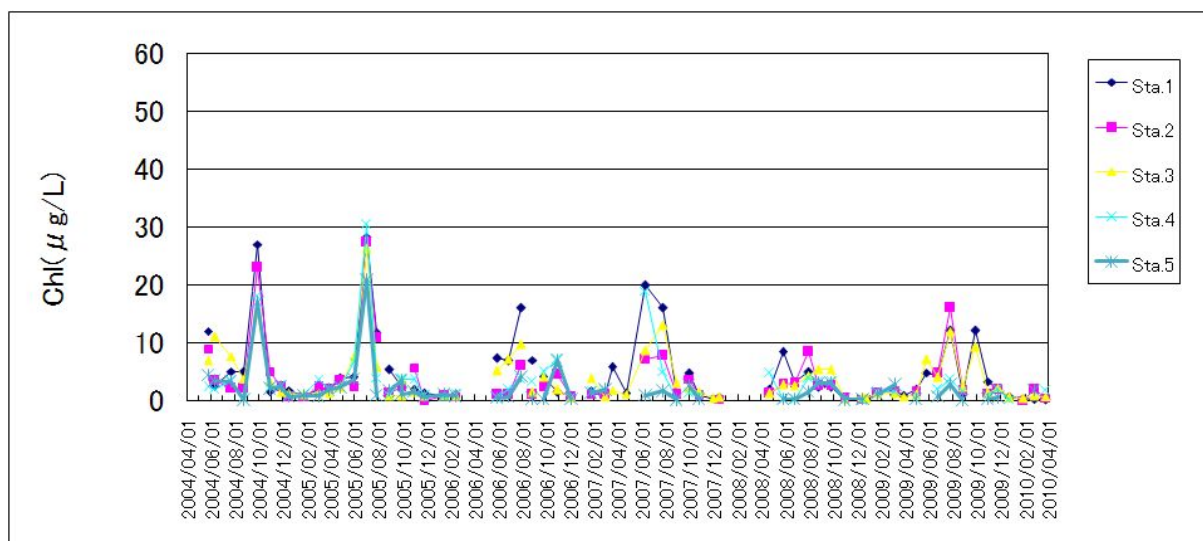


図 1-1-1(A) クロロフィル a 濃度の季節変化

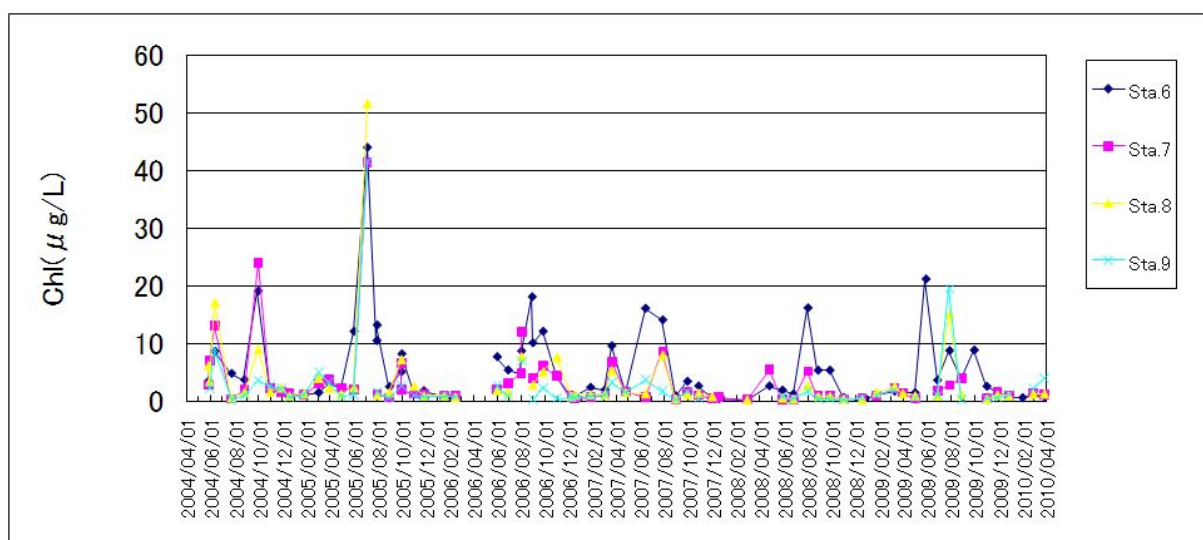


図 1-1-1(B) クロロフィル a 濃度の季節変化

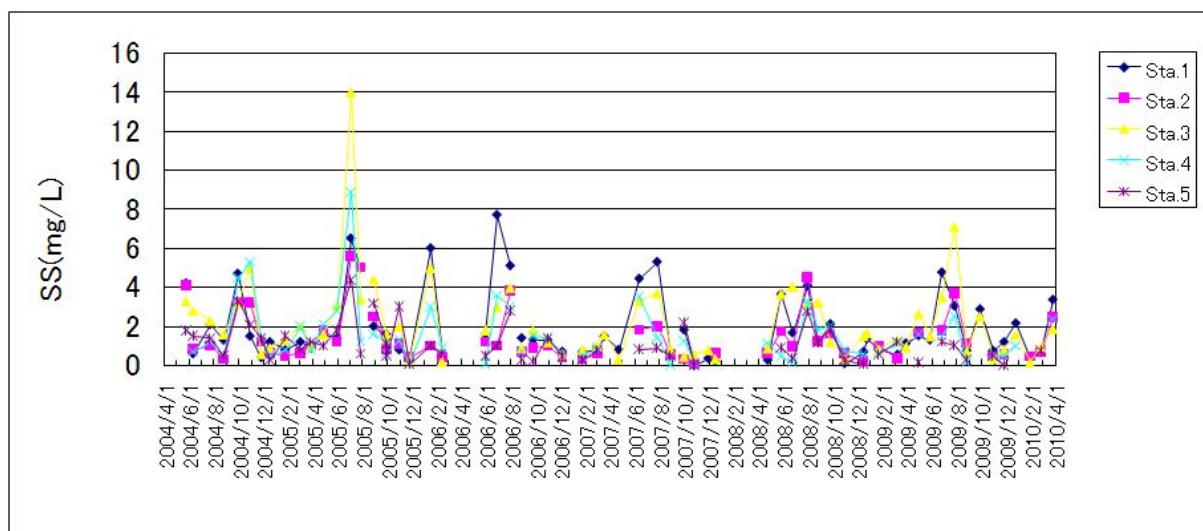


図 1-1-2(A) SS の季節変化

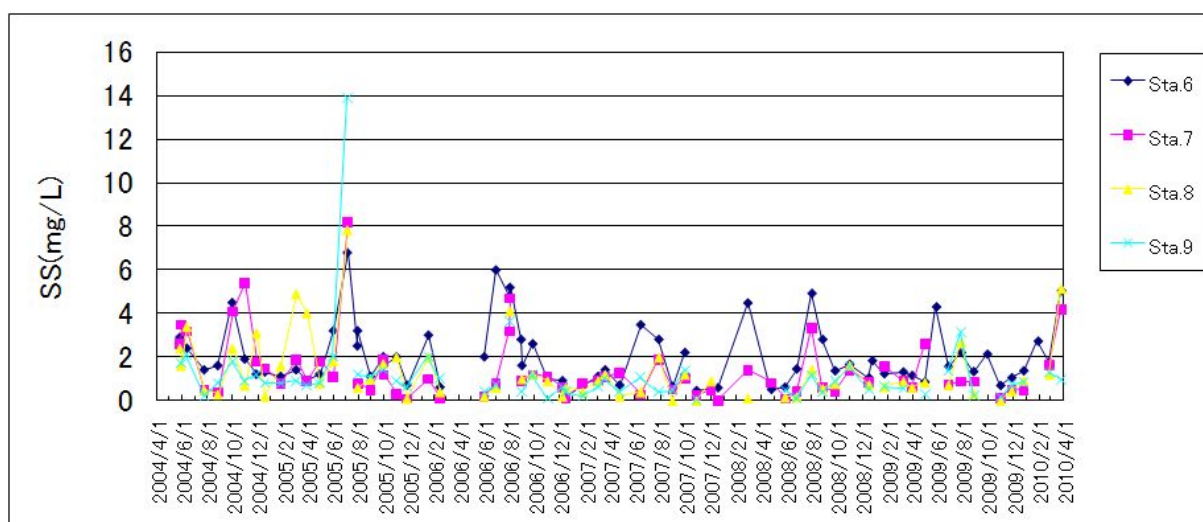


図 1-1-2(B) SS の季節変化

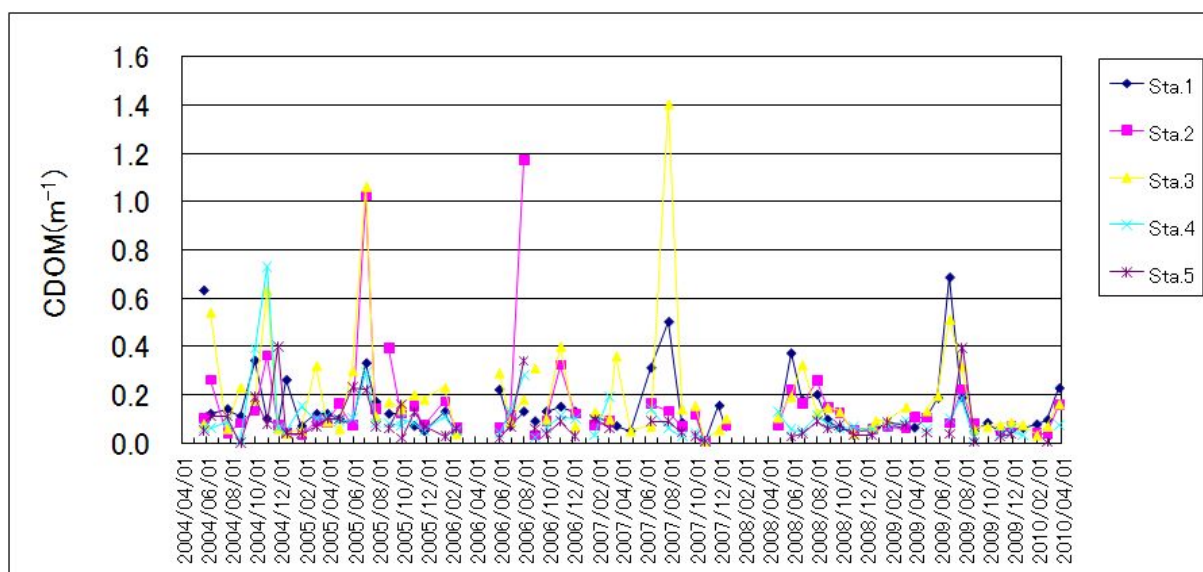


図 1-1-3(A) CDOM の季節変化

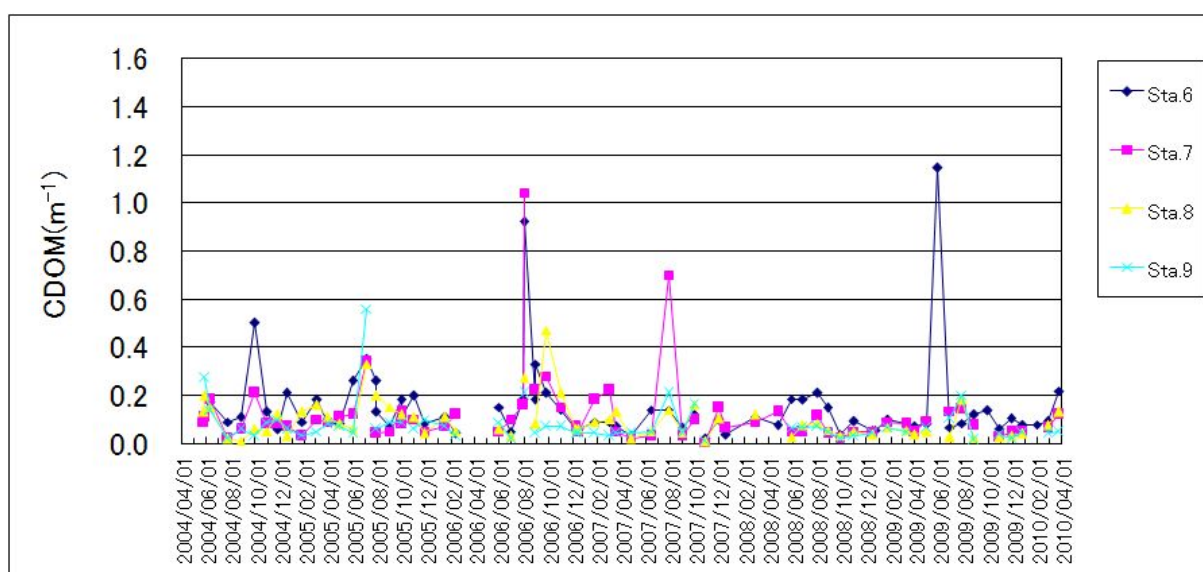


図 1-1-3(B) CDOM の季節変化

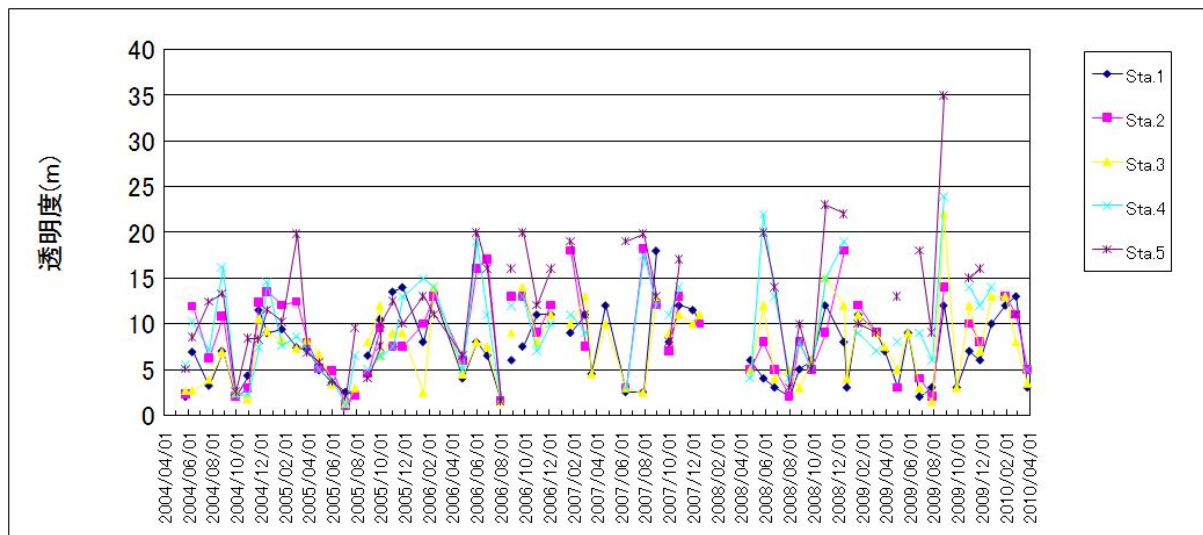


図 1-1-4(A) 透明度の季節変化

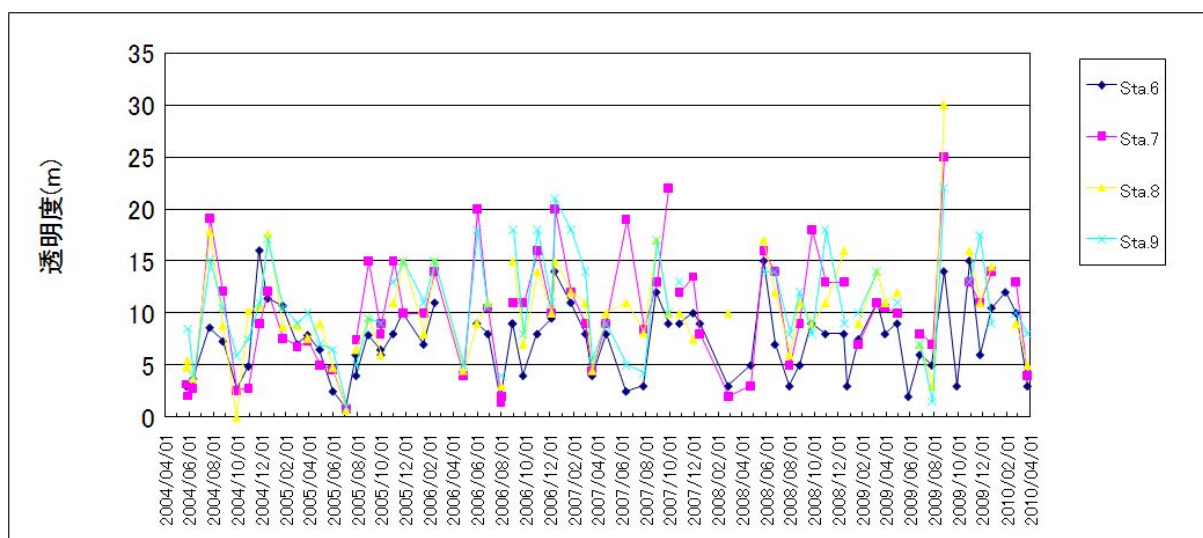


図 1-1-4(B) 透明度の季節変化

1 - 2 クロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互関係

人工衛星から海色を観測して植物プランクトンの指標であるクロロフィル a 濃度を推定する場合、河川水の流入などの影響を受ける沿岸海域では、SS や CDOM がクロロフィル a 濃度の推定に影響する。そこで、現場での採水試料のクロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互の関係を調べ、富山湾沿岸海域では、これらが相互にどのような関係にあるかを 2009 年度の観測データを用いて検討した。

透明度は、クロロフィル a 濃度、CDOM 及び SS と負相関を示した（図 1-2-1）。一方、クロロフィル a 濃度と SS、クロロフィル a 濃度と CDOM、SS と CDOM とは正の相関を示した（図 1-2-1）。クロロフィル a 濃度と SS はやや強い相関（ $r = 0.710$ ）があり、SS の主体が植物プランクトンであることが推察される。クロロフィル a 濃度と透明度の関係、SS と透明度の関係には、それぞれやや強い負の相関がみられた（それぞれ $r = 0.736$, 0.792 ）。その他の関係にはやや弱い相関がみられた（ $r = 0.566 \sim 0.600$ ）。

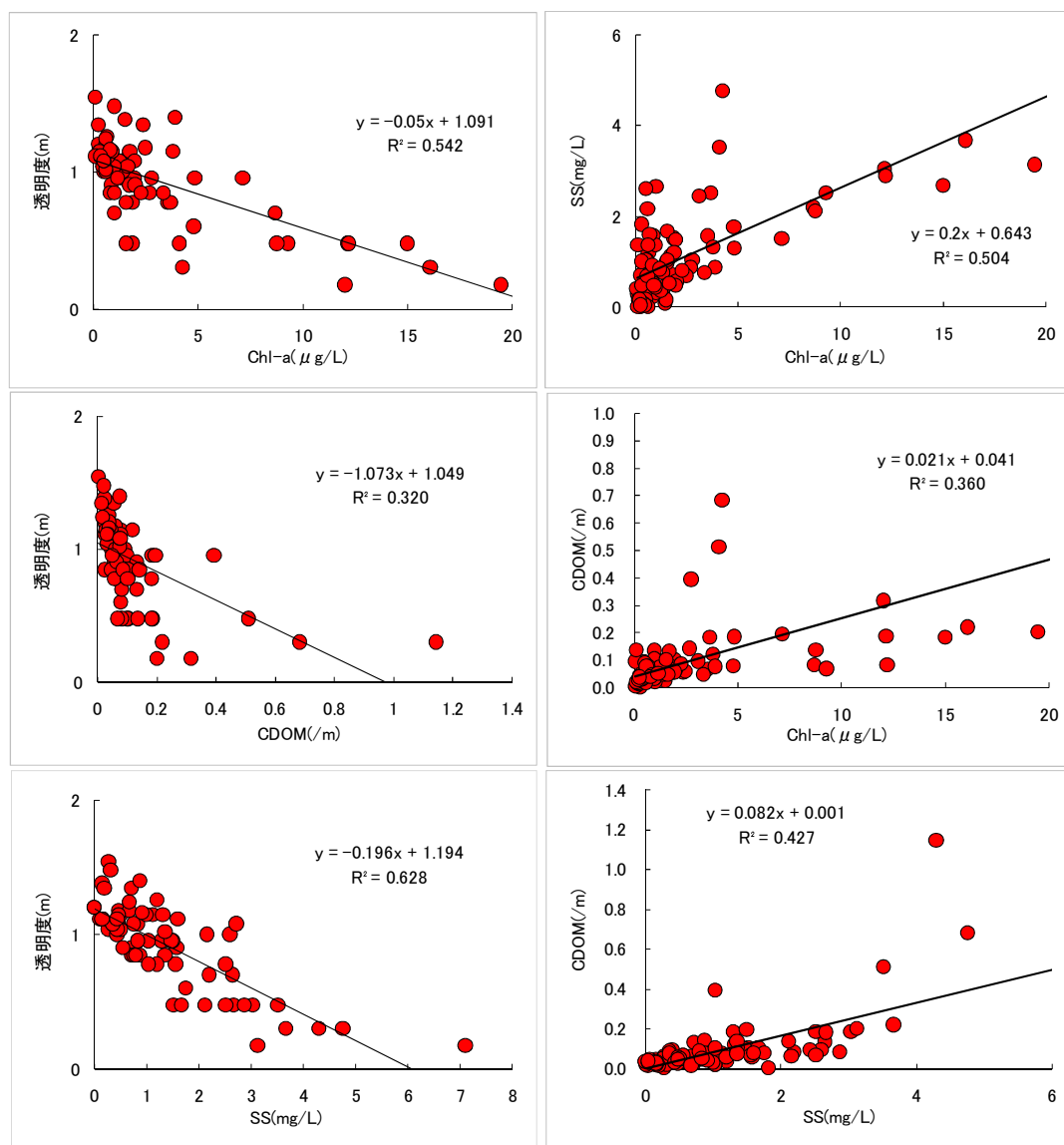


図 1-2-1 クロロフィル a 濃度、SS、CDOM 及び透明度の相互関係（2009 年 4 月～2010 年 1 月の観測値による。透明度は常用対数値で表示した。）

1 - 3 DINの時系列変化、DINとクロロフィル a 濃度の関係

平成 20～21 年度における DIN 濃度の推移について、湾西部と湾東部にわけて図示した(図 1-3-1(A)(B))。湾東部では、神通川の河口に近い地点 3 において DIN 濃度が高く、2009 年 5 月には 0.47 mg/L という値が検出された。季節による DIN 濃度の変動は明瞭ではなかった。湾西部は、湾東部と比較して濃度が低く、0.2 mg/L 以下であった。St.7 においては、DIN 濃度が冬季に高く、それ以外の季節では低いという季節変動がみられた。

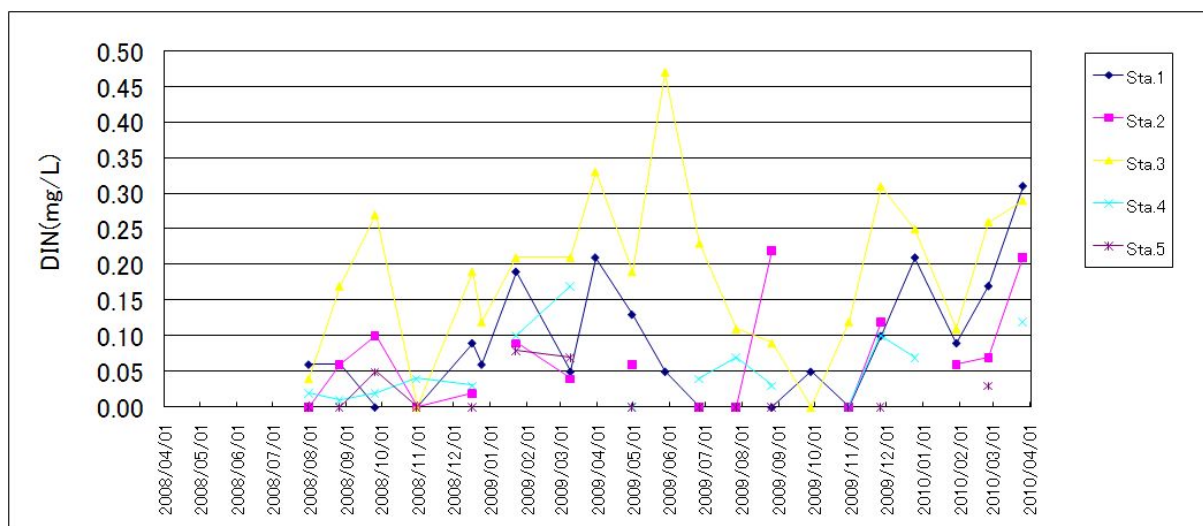


図 1-3-1(A) DIN 濃度の推移

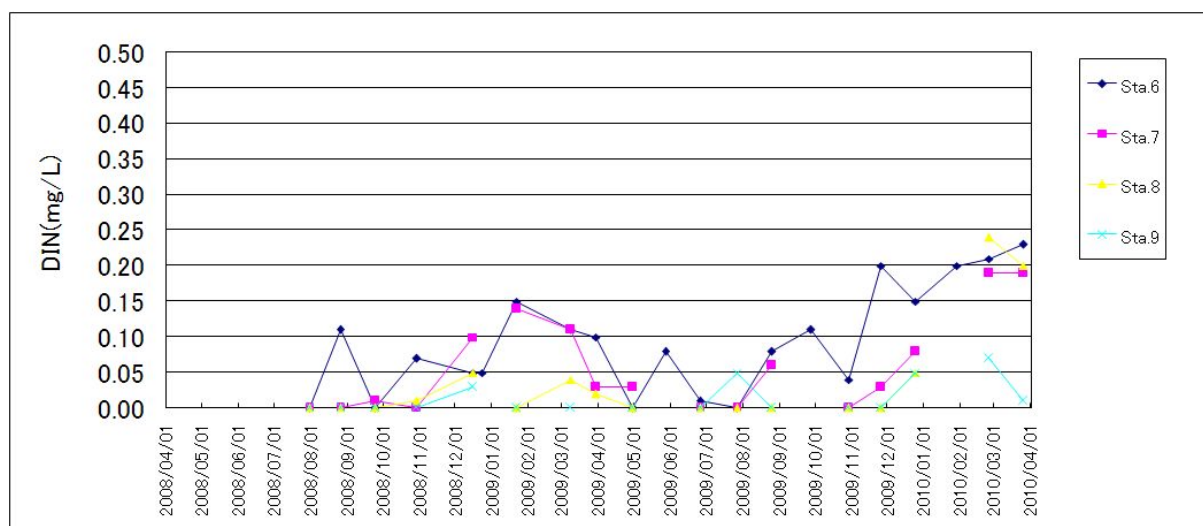


図 1-3-1(B) DIN 濃度の推移

我が国における TN 濃度には環境基準が定められているが、DIN の基準は定められていない。ここで OSPAR に準じて冬季における DIN の基準を定めるにあたり、富山湾における全窒素 (TN) と溶存態無機窒素 (DIN) の関係をみた (図 1-3-2)。TN と DIN の数値は、富山県が平成 12～18 年度に行った補完調査及び富山湾プロジェクトによる平成 20 年度の 1～3 月の数値を用いた。両者の濃度には、 $DIN=0.57 \times TN - 0.027$ ($r_s=0.746$, $p<0.001$) という関係がみられた。この式に環境基準類型 の TN 濃度 0.3 mg/L を代入したところ、DIN は 0.144 mg/L と算出された。富山湾において、環境基準類型 を満たすためには、DIN 濃度を 0.144 mg/L 以下にする必要があることが推察される。

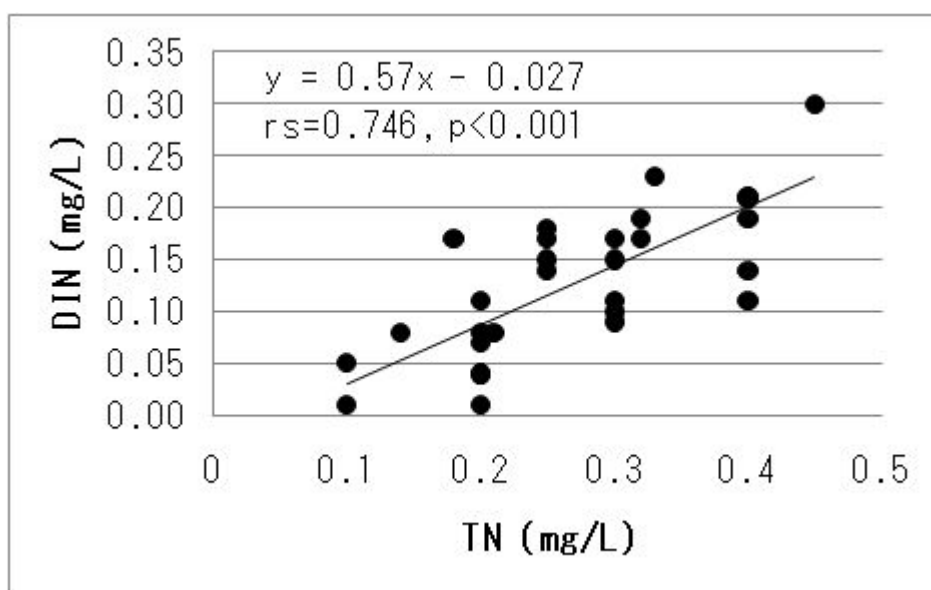


図 1-3-2 富山湾の冬季における全窒素 (TN) と溶存態無機窒素 (DIN) の関係

DIN 濃度と同様に、クロロフィル a 濃度についても環境基準が定められていない。クロロフィル a 濃度の基準を定めるにあたり、富山湾における COD とクロロフィル a 濃度の関係をみた（図 1-3-3）。COD とクロロフィル a 濃度は、富山湾水質保全研究会（2001）を参照した。両者の濃度には、 $COD=0.2178 \times Chl-a + 1.5612$ （ $r_s=0.585$, $p < 0.001$ ）という関係がみられた。この式に COD 3.0 mg/L（環境基準類型 B）を代入したところ、クロロフィル a は $6.6 \mu g/L$ と算出された。富山湾において、COD 環境基準類型 B を満たすためには、クロロフィル a 濃度を $6.6 \mu g/L$ $6 \mu g/L$ 以下にする必要があることが推察される。

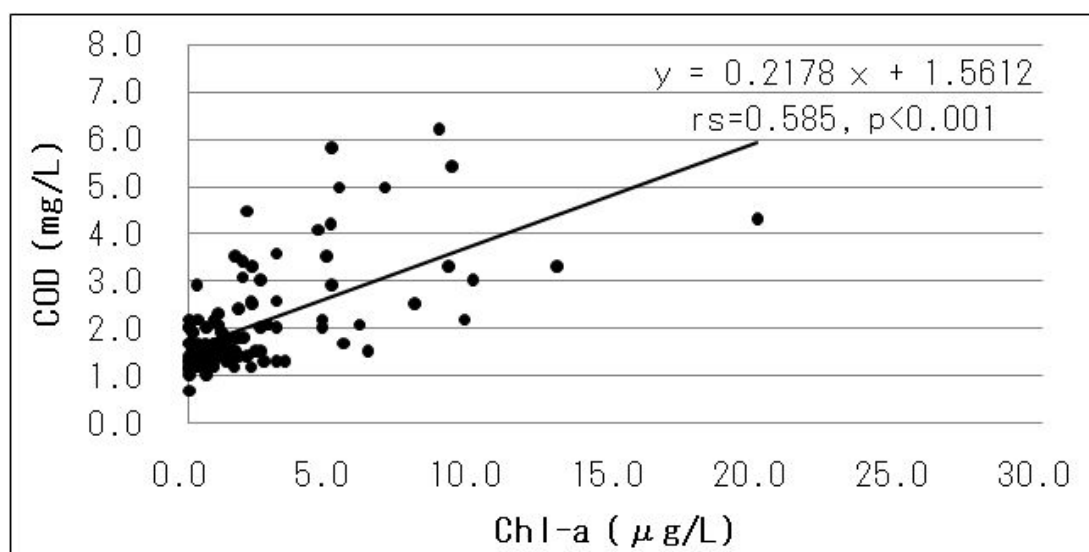


図 1-3-3 富山湾におけるクロロフィル a 濃度と COD の関係

2008～2009 年における DIN とクロロフィル a の関係を図 1-3-4 に示した。図中には冬季（12、1、2 月）を赤丸で、それ以外の季節を黒丸で示した。さらに、上述した冬季 DIN 濃度 0.144 mg/L とクロロフィル a 濃度 6 μ g/L を、それぞれ赤線と緑線で示した。富山湾においては、冬季に 0.144 mg/L を超えることが 4 回みられた。また、クロロフィル a 濃度は、6 μ g/L を冬季以外の季節に 11 回超えた。このことから、富山湾においては冬季 DIN が 0.144 mg/L を超えることがあり、富栄養化の兆候があることが示された。さらに、冬季 DIN が高いことから、周年にわたり DIN が海域に供給されていることが推察される。したがって、富山湾では、冬季以外の季節において DIN を栄養として植物プランクトンが増殖し、クロロフィル a 濃度が 6 μ g/L を超える環境にある。このことは、近年、富山湾の COD 環境基準達成率が低下していることを支持している。

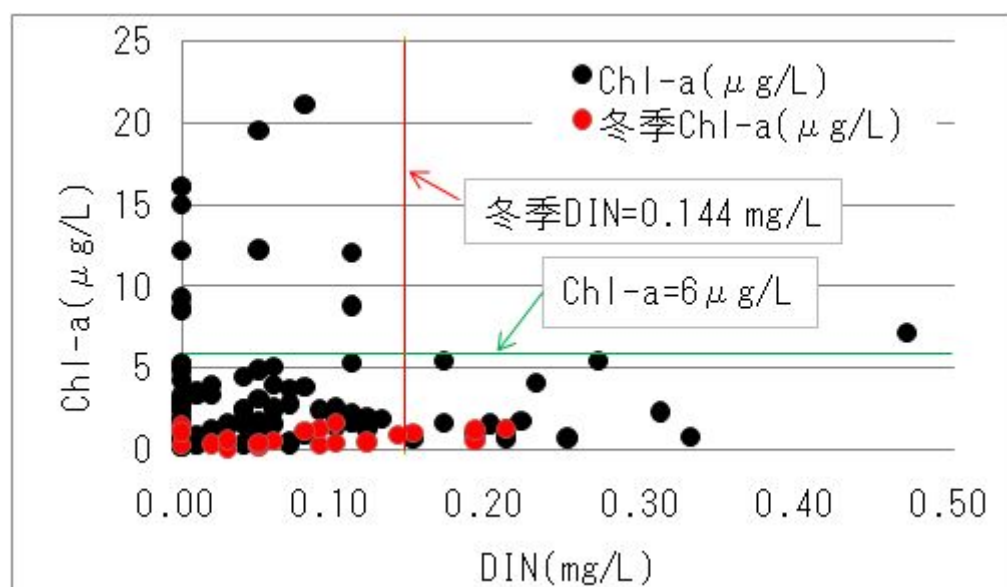


図 1-3-4 富山湾におけるクロロフィル a 濃度と COD の関係

1 - 4 富栄養化状況評価の採用地点の見直し

平成 20～21 年度における富山湾の富栄養化を評価するにあたって、クロロフィル a 濃度と DIN 濃度の数値をもとに採用地点の見直しを行った。富山湾モニタリングにおいては富山湾に 9 地点を配置している（図 1-1）。ごく沿岸に近い地点 1（滑川沿岸）と地点 9（氷見沿岸）を評価対象から外し、神通川河口沖合にある地点 3（神通川沿岸）と地点 5（神通川沖）を追加して評価結果の変化を検討した。

クロロフィル a 濃度及び DIN 濃度の平均値、標準偏差、最大値及び最小値について、それぞれ表 1-1-1 及び表 1-1-2 に示す。クロロフィル a 濃度においては、採用地点を変えても平均値±標準偏差、最大値及び最小値には大きな変化は認められなかった。一方、DIN 濃度については、地点 3 及び 5 を追加した平均及び最大値がその他を上回った。これは、神通川から負荷された栄養塩が植物プランクトンに吸収される前に検出された結果と考えられる。富栄養化評価を行うにあたっては、クロロフィル a 濃度のみではなく、富栄養化の兆候をとらえるために負荷源の近辺における地点の配置が必要であると考えられた。

表 1-1-1 クロロフィル a 濃度の採用地点による濃度変化

	平均	標準偏差	単位(μg/L)	
			最大	最小
Sts.1,2,4,6,7,8,9	2.52	3.69	21.1	0.06
Sts.1,9除外 (Sts.2,4,6,7,8)	2.49	3.59	21.1	0.06
Sts.3,5追加 (Sts.1,2,3,4,5,6,7,8,9)	2.46	3.47	21.1	0.06

表 1-1-2 DIN 濃度の採用地点による濃度変化

	平均	標準偏差	単位(mg/L)	
			最大	最小
Sts.1,2,4,6,7,8,9	0.05	0.06	0.24	0.00
Sts.1,9除外 (Sts.2,4,6,7,8)	0.05	0.06	0.24	0.00
Sts.3,5追加 (Sts.1,2,3,4,5,6,7,8,9)	0.07	0.08	0.47	0.00

2 NOWPAP ガイドラインの検証

2 - 1 衛星データの取得

環日本海海洋環境ウォッチシステムにおいて、富山湾の現場調査の実施日と同日に衛星データの取得されている場合、MODIS (AQUA) または MODIS (TERRA) の JAXA アルゴリズムによるクロロフィル a 濃度データを取得した。マッチアップに使用した衛星データは、現場調査地点に相当するメッシュ (1 km × 1 km) のクロロフィル a 濃度とし、現場で採水した検体分析によるクロロフィル a 濃度との相関関係の解析に供した。2009 年度の衛星データの時期、マッチアップ地点数及びセンサは以下のとおりであった。

2009 年 8 月 26 日、9 地点、AQUA

2009 年 12 月 25 日、7 地点、AQUA

2 - 2 衛星データ、過去のクロロフィル a でのマッチアップの検証

現在、衛星リモートセンシングによって観測された海色データからは、赤潮及び富栄養化などに関連する植物プランクトン現存量の指標とされるクロロフィル a 濃度の推定が、広範囲かつ定常的に可能である。しかし海色リモートセンシングは、外洋域ではその推定手法がほぼ確立されているが、沿岸域においては陸域起源と考えられる懸濁物質 (SS) や有色溶存有機物 (CDOM) の影響を受ける等の問題がある。そこで、このような技術的限界を考慮しながら、衛星リモートセンシングデータを利用して富栄養化をモニタリングすることの有効性と限界を明らかにするために、富山湾をモデル海域として、衛星のクロロフィル a 濃度と現場で測定されたクロロフィル a 濃度との関係や、両者の関係に及ぼす CDOM の影響について検討した。

(1) 衛星データの選別

クロロフィル a 濃度について、前年度に引き続き衛星値と現場値の関係 (マッチアップ) を検討した。2009 年 4 月から 2010 年 1 月までの間の富山湾奥海域における 10 航海のうち 2 航海の現場調査日と同日の衛星データについて合計 16 地点のマッチアップデータが取得できた。これらの衛星データを解析に供するため、衛星別に、位置ズレのデータの削除、パスの端に該当するデータの削除、雲際データの削除、広域での不自然な変化を示したデータの削除について検討したところ、2009 年度については除外するデータはなかった。

マッチアップ解析は、2004 年 5 月から 2010 年 1 月に取得した衛星データとともにに行った。2004 年 5 月から 2010 年 1 月までに観測された現場地点数 453 のうち衛星データ数とのマッチアップ数は MODIS (TERRA) で 108 地点、MODIS (AQUA) で 121 地点の合計 229 点であった。これらについてデータの選別を行ったところ、TERRA は 71 (66%)、AQUA は 85 (70%) のデータ数が得られた。

(2) 衛星データとモニタリング調査データの関係

選別前と選別後のデータについて衛星データとモニタリング調査データのことを

衛星別に図 2-2-1 及び図 2-2-2 に示した。右図には、マッチアップが取れた全データの相関を示した。左図には、雲際などのデータなど問題のある衛星データを除外した相関を示した。MODIS (TERRA) においては、本年度においてマッチアップが得られなかったため、昨年度からのデータの追加はなかった。一方、MODIS (AQUA) の場合は、16 点のマッチアップの追加ができた。MODIS (AQUA) のデータ選別前では、衛星クロロフィル a と現場クロロフィル a の間に有意な相関がみられたものの ($r = 0.431$ 、 $p < 0.001$)、傾きが 0.439 であった。選別後では両者の相関がさらに良くなり ($r = 0.504$ 、 $p < 0.001$)、傾きが 0.689 と 1 に近づいた。現時点では、衛星センサとして MODIS (AQUA) を用いる方が良いと判断される。

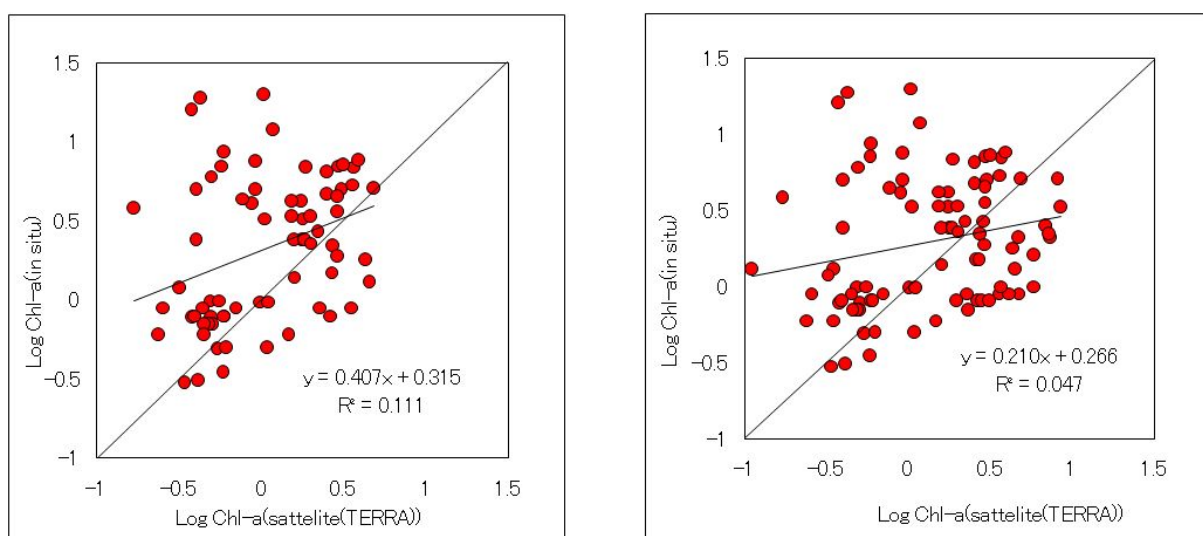


図 2-2-1 データ(TERRA)選別前(右)と選別後(左)の衛星クロロフィル a 濃度(X)と現場値(Y)との関係

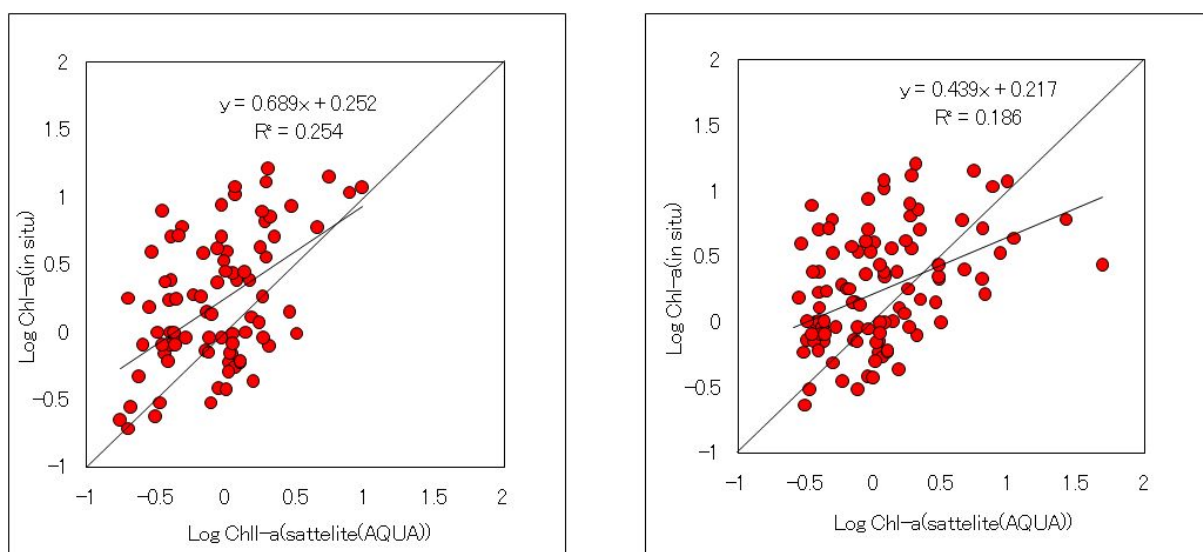


図 2-2-2 データ(AQUA)選別前(右)と選別後(左)のクロロフィル a 濃度(X)と現場値(Y)との関係

マッチアップデータについてクロロフィル a 濃度の推定誤差（現場クロロフィル a 濃度 - 衛星クロロフィル a 濃度）/ 現場クロロフィル a 濃度に対する SS 及び CDOM の関係を、それぞれセンサ別にみた。MODIS（TERRA）で得られた推定誤差と SS 及び CDOM との間には濃度比例的な相関関係は弱く（それぞれ $r = 0.114$ 及び $r = 0.164$ 、 $p > 0.1$ 及び $p > 0.1$ ）統計的に有意な関係はみられなかった（図 2-2-3）。一方、MODIS（AQUA）で得られた推定誤差と SS 及び CDOM との間においても濃度比例的な相関関係は、弱かった（それぞれ $r = 0.219$ 及び $r = 0.221$ 、 $p < 0.1$ 及び $p < 0.1$ ）。MODIS（AQUA）で得られる衛星クロロフィル a 濃度は、SS や CDOM 濃度が上昇するに従い、過小評価する傾向がみられた（図 2-2-4）。しかし、SS 及び CDOM について高濃度側のデータ数が少ないため、更なる検討が必要である。

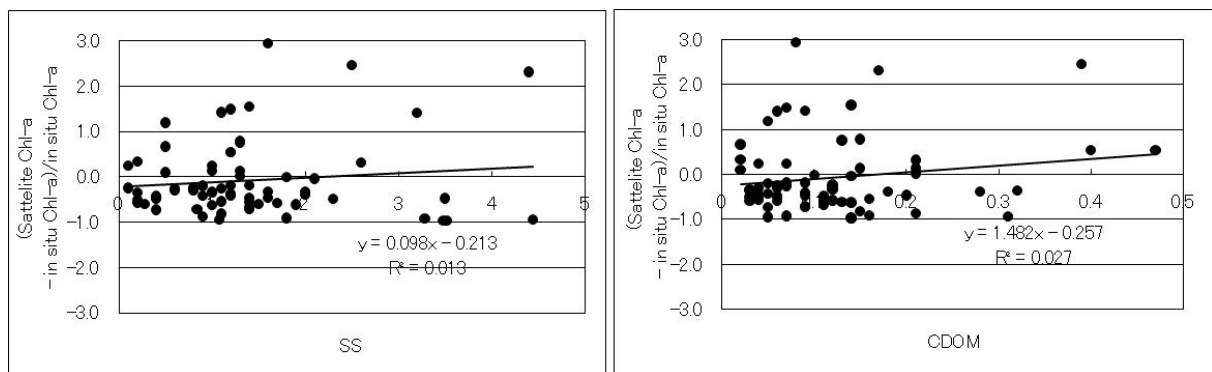


図 2-2-3 MODIS（TERRA）によって得られた衛星クロロフィルと現場クロロフィルと誤差と SS（左）及び CDOM（右）の関係

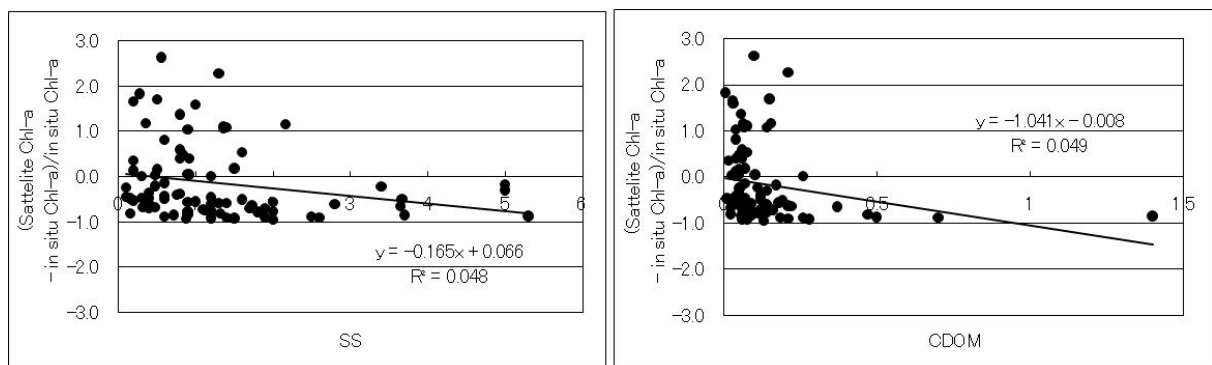


図 2-2-4 MODIS（AQUA）によって得られた衛星クロロフィルと現場クロロフィルと誤差と SS（左）及び CDOM（右）の関係

3 NOWPAP 富栄養化状況評価手順書を用いた富山湾ケーススタディの検証

3 - 1 基準値の見直し

NOWPAP 富栄養化状況評価手順書の作成に係る富山湾におけるケーススタディ報告書を平成 20 年度に作成した。このなかでは、富栄養化の判定基準として、外洋におけるバックグラウンド値の 1.5 倍の濃度を超えたときに富栄養化と判定した（表 3-1-1）。ところが、外洋の値を参照したため、富栄養化に関する指標濃度が低く、富栄養化が起きていない海域においても富栄養化と判定されてしまう可能性があった。また、環境省の定める環境基準と比較しても濃度の低い基準となっている。このことから、再度、基準値の見直しを行った。

表 3-1-1 富山湾ケーススタディで用いたバックグラウンド値

カテゴリ	評価項目	評価値	地点	属性	バックグラウンド値	バックグラウンド値×1.5
I	-1 全窒素(TN)	年間平均値	外洋	1999～2007年度	0.100 mg/L (7.5 μM)	0.150 mg/L (10.7 μM)
	-2 全リン(TP)	年間平均値	外洋	1998～2007年度	0.008 mg/L (0.26 μM)	0.012 mg/L (0.39 μM)
	-3 冬季DIN濃度	冬季平均値	外洋	2003～2007年度	0.075 mg/L (5.4 μM)	0.113 mg/L (8.1 μM)
	-4 冬季DIP濃度	冬季平均値	外洋	2003～2007年度	0.009 mg/L (0.29 μM)	0.014 mg/L (0.45 μM)
	-5 冬季DIN/DIP比	冬季平均値	外洋地点近隣の 気象庁観測地点	2005～2008年	16.7	25.1
II	-1 クロロフィルa濃度(現場)	年間最大値	外洋	1999～2007年度	1.65 μg/L	2.48 μg/L
	-2 クロロフィルa濃度(現場)	年間平均値	外洋	1999～2007年度	0.50 μg/L	0.75 μg/L
	-3 クロロフィルa濃度(衛星)	年間最大値	バックグラウンドエリア最大	1998～2005年度	1.20 μg/L	1.80 μg/L
	-4 クロロフィルa濃度(衛星)	年間平均値	バックグラウンドエリア平均	1998～2005年度	0.41 μg/L	0.62 μg/L
III	-1 溶存酸素量(DO)	年間最小値	—	2003～2007年度	7.8 mg/L	7.8 mg/L DOはそのまま
	-2 化学的酸素要求量(COD)	年間平均値	外洋	1998～2007年度	1.2 mg/L	1.8 mg/L

我が国における海水の富栄養化を評価する基準には、環境基準と水産用水基準がある。両基準を表 3-1-2 に示す。さらに、NOWPAP 海域における富栄養化を評価するにあたって、NOWPAP 加盟国である中国、韓国及びロシアの基準も参照する必要がある。中国及び韓国における海水の環境基準を表 3-1-3 及び 3-1-4 に示した。なお、ロシアの基準は調べることができなかった。

表 3-1-2 日本における環境基準と水産用水基準

カテゴリ	評価項目	環境基準		水産用水基準	
I	-1 全窒素(TN)	0.2 mg/L (14.3 μ M)	類型 I ²⁾		
		0.3 mg/L (21.4 μ M)	類型 II	0.3 mg/L (21.4 μ M)	水産1種 ⁴⁾
		0.6 mg/L (42.8 μ M)	類型 III	0.6 mg/L (42.8 μ M)	水産2種
		1.0 mg/L (71.4 μ M)	類型 IV	1.0 mg/L (71.4 μ M)	水産3種
	-2 全リン(TP)	0.02 mg/L (0.64 μ M)	類型 I		
		0.03 mg/L (0.97 μ M)	類型 II	0.03 mg/L (0.97 μ M)	水産1種
		0.05 mg/L (1.61 μ M)	類型 III	0.05 mg/L (1.61 μ M)	水産2種
		0.09 mg/L (2.91 μ M)	類型 IV	0.09 mg/L (2.91 μ M)	水産3種
	-3 冬季DIN濃度	なし		0.07~0.1 mg/L (5.0~7.1 μ M)	ノリ養殖に最低必要な濃度(冬季に限らない)
	-4 冬季DIP濃度	なし		0.007~0.014 mg/L (0.23~0.45 μ M)	ノリ養殖に最低必要な濃度(冬季に限らない)
	-5 冬季DIN/DIP比	なし		なし	
II	-1 クロロフィルa濃度(現場)	なし		なし	
	-2 クロロフィルa濃度(現場)	なし		なし	
	-3 クロロフィルa濃度(衛星)	なし		なし	
	-4 クロロフィルa濃度(衛星)	なし		なし	
III	-1 溶存酸素量(DO)	7.5 mg/L	類型A ³⁾		
		5 mg/L	類型B	6 mg/L	一般
		2 mg/L	類型C		
	-2 化学的酸素要求量(COD) ¹⁾	2 mg/L	類型A	1 mg/L	一般
		3 mg/L	類型B	2 mg/L	ノリ養殖場や閉鎖性内湾
		8 mg/L	類型C		

1)環境基準はCOD_{Mn}、水産用水基準はCOD_{OH}の値。(COD_{OH}≒0.6×COD_{Mn})

2)類型 I : 自然環境保全

類型 II : 水産1種、水浴

類型 III : 水産2種

類型 IV : 水産3種、工業用水、生物生息環境保全

3)類型 A : 水産1級(マダイ、ブリ、ワカメ等の水産生物用及び水産2級の水産生物用)、水浴、自然環境保全(自然探勝等の環境保全)

類型 B : 水産2級(ボラ、ノリ等の水産生物用)、工業用水

類型 C : 環境保全(国民の日常生活(沿岸の遊歩等を含む。))において不快感を生じない限度)

4)水産1種: 底生魚介類を含め多様な水産生物がバランス良く、かつ、安定して漁獲される

水産2種: 一部の底生魚介類を除き、魚類を中心とした水産生物が多獲される

水産3種: 汚濁に強い特定の水産生物が漁獲される

表 3-1-3 中国における水質基準(海水)

Grade	無機窒素	無機リン	COD	DO
1	0.2 mg/L	0.015 mg/L	2 mg/L	6 mg/L
2	0.3 mg/L	0.03 mg/L	3 mg/L	5 mg/L
3	0.4 mg/L	0.03 mg/L	4 mg/L	4 mg/L
4	0.5 mg/L	0.045 mg/L	5 mg/L	3 mg/L

表 3-1-4 韓国における水質基準(海水)

Grade	TN	TP	COD	DO
	≤ 0.3 mg/L	≤ 0.03 mg/L	≤ 1 mg/L	≥ 7.5 mg/L
	≤ 0.6 mg/L	≤ 0.05 mg/L	≤ 2 mg/L	≥ 5 mg/L
	≤ 1.0 mg/L	≤ 0.09 mg/L	≤ 4 mg/L	≥ 2 mg/L

上記の環境基準等を参考に、富栄養化の基準値を下記のとおり定めた。全窒素と全リンは環境基準類型Ⅱ、溶存酸素は水産用水基準、化学的酸素要求量は環境基準類型Bに準じた。冬季DINと冬季DIPには、環境基準が定められていないため、富山湾における冬季のDINとTN、DIPとTPの関係を求め、それぞれTN 0.3 mg/L および TP 0.03 mg/L を代入して算出した(図 1-3-2、図 3-1-1)。さらに、クロロフィル a 濃度にも環境基準が定められていないため、クロロフィル a 濃度と COD の関係を求め、COD 3.0 mg/L を代入して算出した(図 1-3-3)。年間最大値クロロフィル a 濃度は、Bricker *et al.* (2003) を参照し、20 µg/L を基準値とした(表 3-1-6)。

表 3-1-5 富山湾における富栄養化の評価基準値案

評価項目	参照濃度	備考
I ①全窒素河川流入負荷量	—	
②全リン河川流入負荷量	—	
③全窒素	0.3 mg/L (21.4 µM)	環境基準類型Ⅱ
④全リン	0.03 mg/L (0.94 µM)	環境基準類型Ⅱ
⑤冬季DIN濃度	0.144 mg/L (10.3 µM) 1)	
⑥冬季DIP濃度	0.017 mg/L (0.55 µM) 2)	
⑦冬季DIN/DIP比	16	レッドフィールド比
II ⑧年間最大値クロロフィルa濃度(現場)	20 µg/L	3)
⑨年間平均値クロロフィルa濃度(現場)	6 µg/L	4)
⑩年間最大値クロロフィルa濃度(衛星)	20 µg/L	3)
⑪年間平均値クロロフィルa濃度(衛星)	6 µg/L	4)
⑫年間最大高クロロフィルa海域面積割合	—	
⑬年間平均高クロロフィルa海域面積割合	—	
⑭赤潮発生回数(珧藻類)	—	
III ⑮溶存酸素量(DO)	6.0 mg/L	水産用水基準
⑯魚の異常死発生件数	—	
⑰化学的酸素要求量(COD)	3.0 mg/L	環境基準類型B
IV ⑱食中毒発生件数	—	
⑲赤潮発生回数(ヤコウチュウ)	—	

1)冬季におけるTNとDINの関係から求めた。

2)冬季におけるTPとDIPの関係から求めた。

3)Bricker *et al.* (2003)による中栄養状態の上限

4)環境基準類型BのCOD値を満たす条件を、クロロフィルa濃度とCODの関係から求めた。

表 3-1-6 クロロフィル a 濃度の年間最大値による富栄養化の分類

Hypereutrophic	> 60 µg/L
High	> 20, ≤ 60 µg/L
Medium	> 5, ≤ 20 µg/L
Low	> 0, ≤ 5 µg/L

Bricker, S. B., J. G. Ferreira and T. Simas (2003) An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling*, 169, 39-60.

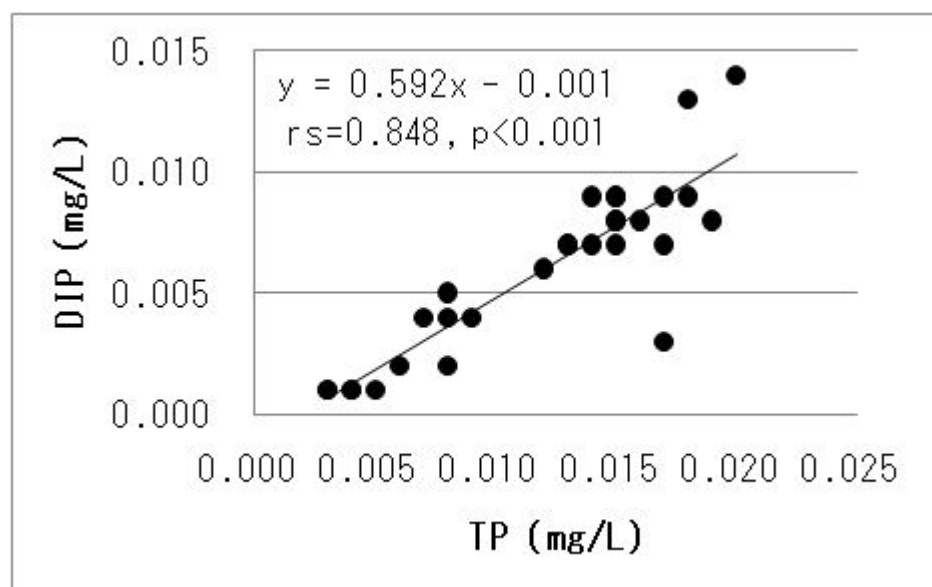
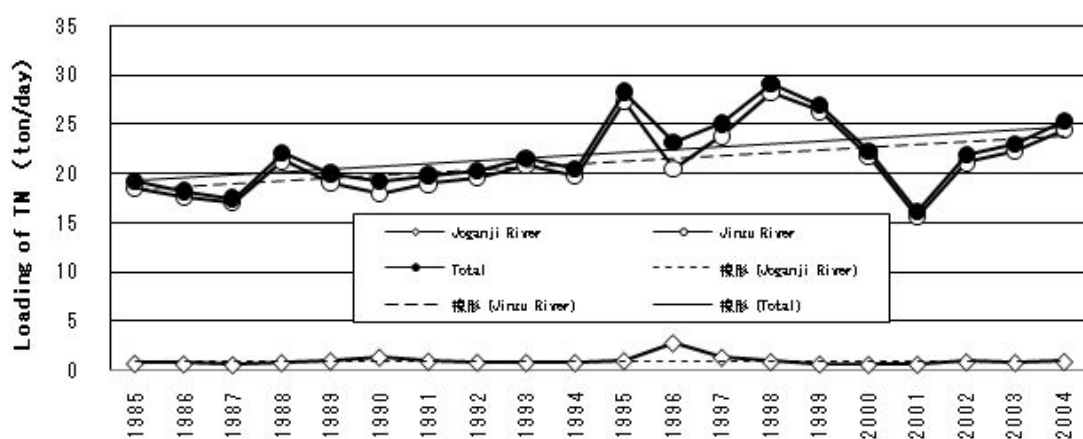


図 3-1-1 富山湾の冬季における全窒素 (TP) と
溶存態無機リン (DIP) の関係

3 - 2 トレンド検定

富栄養化を判定する手法として、NOWPAP 手順書では濃度との比較並びに濃度の経年的な増加・減少傾向によっても判定している。富山湾ケーススタディで行われたトレンド検定では、水質データが正規分布することを仮定し、パラメトリック法を用いていた。一般に、環境で取り扱うデータは正規分布を仮定することが困難な場合が多い。そのため、データの正規分布を仮定しなくてもよいノンパラメトリック法による検定を試みた。ここでは、ノンパラメトリック法である Mann-Kendall 法によるトレンドの有無と Sen's slope 法による傾きと切片について、富山湾のサブエリア B に負荷される全窒素と全リンの経年変化を例として検定を行った。



Mann-Kendall 法によるトレンド検定

	Z test	有意差
Joganji River	0.29	なし
Jinzu Rivr	2.76	p<0.01
Total	2.76	p<0.01

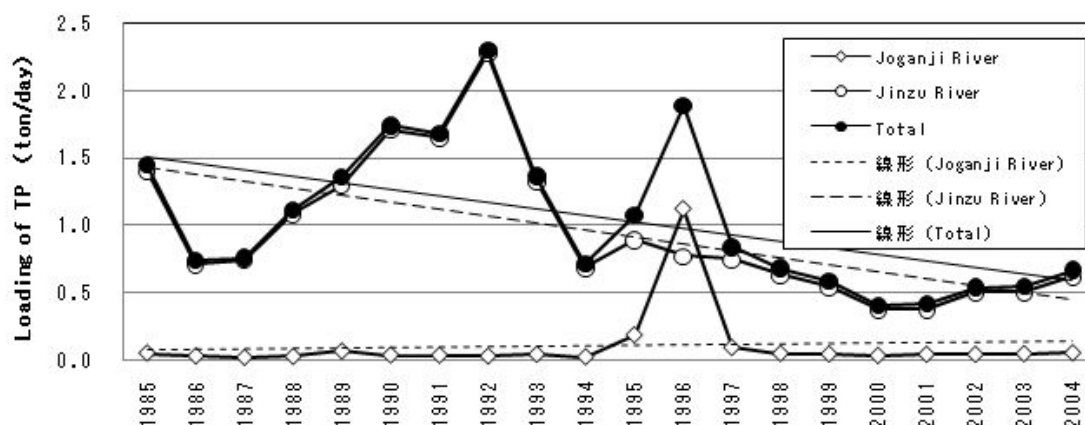
Sen's slope 法による傾きと切片及びそれらの 95%信頼区間の見積もり

	Q	Q _{min95}	Q _{max95}	B	B _{min95}	B _{max95}
Joganji River	0.002	-0.017	0.018	0.77	0.96	0.63
Jinzu Rivr	0.288	0.145	0.471	17.41	18.75	16.15
Total	0.295	0.146	0.563	18.54	19.75	16.71

回帰式 Loading of TN=Q × (Year-1985)+B

図 3-2-1 Mann-Kendall 法と Sen's slope 法を用いた富山湾サブエリア B における全窒素負荷量のトレンド検定結果

富山湾奥部に位置するサブエリア B における 1985～2004 年における全窒素負荷量を図 3-2-1 に示した。常願寺川からの全窒素負荷量には増減が認められなかった。一方、神通川並びに常願寺川と神通川の合計負荷量には有意な増加傾向が認められた。また、神通川の全窒素負荷量は、Loading of TN= $0.288 \times (\text{Year}-1985)+0.77$ の回帰式で示され、傾きと切片の 95%信頼区間は、それぞれ 0.145-0.471 及び 16.15-18.75 であった。



Mann-Kendall 法によるトレンド検定

	Z test	有意差
Joganji River	1.33	なし
Jinzu Rivr	-3.08	p<0.01
Total	-2.63	p<0.01

Sen's slope 法による傾きと切片及びそれらの 95%信頼区間の見積もり

	Q	Q _{min95}	Q _{max95}	B	B _{min95}	B _{max95}
Joganji River	0.001	-0.001	0.002	0.03	0.05	0.02
Jinzu Rivr	-0.050	-0.080	-0.016	1.34	1.67	0.94
Total	-0.048	-0.088	-0.009	1.41	1.86	0.90

回帰式 Loading of TP= $Q \times (\text{Year}-1985)+B$

図 3-2-2 Mann-Kendall 法と Sen's slope 法を用いた富山湾サブエリア B における全リン負荷量のトレンド検定結果

富山湾奥部に位置するサブエリア B における 1985～2004 年における全リン負荷量を図 3-2-2 に示した。常願寺川からの全窒素負荷量には増減が認められなかった。一方、神通川並びに常願寺川と神通川の合計負荷量には有意な減少傾向が認められた。また、神通川的全リン負荷量は、Loading of TP= $-0.050 \times (\text{Year}-1985)+1.34$ の回帰式で示され、傾きと切片の 95%信頼区間は、それぞれ -0.08--0.016 及び 0.94-1.67 であった。

3 - 3 再評価結果

基準値の見直しとトレンド検定法を変更し、富山湾のサブエリア B において富栄養化状況の再評価を行った。変更前の評価結果を表 3-3-1 に示す。基準値の見直しとトレンド検定法を変更した後の評価結果を表 3-3-2 に示す。最終的なカテゴリ判定では、以前の評価が (HI) (HD) (LI) (LN) であり、変更後が (HI) (HN) (LI) (LN) となった。サブエリア B においては、カテゴリ において HD から HN に変更したのみであった。しかし、カテゴリ の比較とトレンドに大きな相違が生じた。また、カテゴリ の比較においても相違が認められた。

表 3-3-1 富山湾サブエリア B における評価結果 (新)

カテゴリ	評価項目	比較	有無	トレンド	項目判定	カテゴリ判定
I	①全窒素河川流入負荷量	×	×	減	D	HI
	②全リン河川流入負荷量	×	×	減	D	
	③全窒素	高	×	増	HI	
	④全リン	高	×	増	HI	
	⑤冬季DIN濃度	高	×	増	HI	
	⑥冬季DIP濃度	低	×	増	LI	
	⑦冬季DIN/DIP比	高	×	減	HD	
II	⑧年間最大値クロロフィルa濃度(現場)	高	×	無	HD	HD
	⑨年間平均値クロロフィルa濃度(現場)	高	×	無	HN	
	⑩年間最大値クロロフィルa濃度(衛星)	高	×	無	HI	
	⑪年間平均値クロロフィルa濃度(衛星)	高	×	無	HI	
	⑫年間最大高クロロフィルa海域面積割合	×	×	減	D	
	⑬年間平均高クロロフィルa海域面積割合	×	×	減	D	
	⑭赤潮発生回数(珧藻類)	低	×	減	LD	
III	⑮溶存酸素量(DO)	低	×	増	LI	LI
	⑯魚の異常死発生件数	低	×	無	LN	
	⑰化学的酸素要求量(COD)	低	×	増	LI	
IV	⑱食中毒発生件数	×	無	無	LN	LN
	⑲赤潮発生回数(ヤコウチュウ)	×	無	減	LN	

表 3-3-2 富山湾サブエリア B における評価結果 (新)

カテゴリ	評価項目	比較	有無	トレンド	項目判定	カテゴリ判定
I	①全窒素河川流入負荷量	×	×	増	I	HI
	②全リン河川流入負荷量	×	×	減	D	
	③全窒素	低	×	無	LN	
	④全リン	低	×	無	LN	
	⑤冬季DIN濃度	高	×	無	HN	
	⑥冬季DIP濃度	低	×	無	LN	
	⑦冬季DIN/DIP比	×	×	無	N	
II	⑧年間最大値クロロフィルa濃度(現場)	低	×	無	LN	HN
	⑨年間平均値クロロフィルa濃度(現場)	低	×	無	LN	
	⑩年間最大値クロロフィルa濃度(衛星)	高	×	無	HN	
	⑪年間平均値クロロフィルa濃度(衛星)	低	×	無	LN	
	⑫年間最大高クロロフィルa海域面積割合	×	×	無	N	
	⑬年間平均高クロロフィルa海域面積割合	×	×	無	N	
	⑭赤潮発生回数(珧藻類)	×	無	減	LD	
III	⑮溶存酸素量(DO)	高	×	増	LI	LI
	⑯魚の異常死発生件数	×	無	無	LN	
	⑰化学的酸素要求量(COD)	低	×	増	LI	
IV	⑱食中毒発生件数	×	無	無	LN	LN
	⑲赤潮発生回数(ヤコウチュウ)	×	無	無	LN	

以上の評価結果より、富山湾のサブエリア B における富栄養化は表 3-3-1 のとおり評価することができる。

表 3-3-1 富山湾のサブエリア B における富栄養化評価結果

カテゴリー	評 価
栄養塩の増加の程度	河川からの全窒素の負荷量が増加傾向にあり、冬季 DIN 濃度も高かった。窒素が多いといえる。
栄養塩の増加の直接的影響	現場観測によるクロロフィル a 濃度では、参照濃度を超えることはなかったが、衛星クロロフィル a 濃度では $20 \mu\text{g/L}$ を超えることがあった。クロロフィル a 濃度の上昇は、内部生産の増加による COD の増加を導く可能性がある。
栄養塩の増加の間接的影響	溶存酸素量の減少傾向と COD の増加傾向が認められた。
その他の可能性のある影響	特になし。

3 - 4 衛星データによる富栄養化海域の初期評価

現在の NOWPAP 富栄養化状況評価手順書に基づいた富山湾ケーススタディでは、衛星リモートセンシングにより取得されるクロロフィル a 濃度(衛星クロロフィル a 濃度)を現場採水により取得されたクロロフィル a 濃度(現場クロロフィル a 濃度)と同じカテゴリ に属する評価項目として取り扱っている。これは、衛星クロロフィル a 濃度により、現場採水地点がない場所のクロロフィル a 濃度情報を取得し、海洋環境が短時間でダイナミックに変化する沿岸域においては月に一回程度の現場観測では限界があり、その時間的な制約を理論上は毎日の観測が可能な衛星リモートセンシングで補完することが目的である。しかし、現在の方法ではあらかじめ設定されたサブエリア単位で衛星クロロフィル a 濃度の情報を平均しているため、1x1 km の解像度によるクロロフィル a 濃度の空間的な分布情報を同時に失うという側面がある。また、現場クロロフィル a 濃度と衛星クロロフィル a 濃度の時空間的な差により、両者のデータ間において異なった傾向が見られることも確認されている。一方、衛星リモートセンシングによるクロロフィル a 濃度の観測では、10 数年分のデータが蓄積されるようになり、長期的な変化を捉えることが可能になっている。

そこで、上述のような衛星クロロフィル a 濃度の利点を踏まえ、衛星データのみで一次的に海域の富栄養化状況の評価するための手法開発を目的とし、その有効性を検証した。これは、平成 19 年度に実施した NOWPAP 富栄養化状況評価作成に係る富山湾におけるケーススタディでも課題のひとつとしてあげている。

(1) データ及び方法

富栄養化の評価に衛星クロロフィル a 濃度を用いるにあたっては、長期的で且つ精度の高いデータ不可欠である。衛星リモートセンシングによるクロロフィル a 濃度の定常的な観測は、1996 年に NASDA(現 JAXA)が打ち上げた ADEOS 衛星により搭載された海色センサ(OCTS)以降可能となっている。ADEOS 衛星の寿命は 10 ヶ月に満たなかったが、高い観測頻度及び解像度(1x1 km)による、高品質の海洋観測データを記録した。その後、NASA の海色センサとして、SeaWiFS が 1997 年に、MODIS が 1999 年と 2002 年に打ち上げられ、現在では約 13 年分の海色データが蓄積されている。この内、1999 年に打ち上げられた TERRA 衛星に搭載された MODIS センサには精度に問題があるとされている。そのためこの度の手法開発では、上述の TERRA 衛星に搭載された MODIS データを除く以下の表 3-4-1 示す海色センサを用いることとした。なお、クロロフィル a 濃度の推定アルゴリズムは NASA により開発され、世界的にも標準的なアルゴリズムとして採用されている Ocean Color 4 アルゴリズムを採用することとした。また衛星クロロフィル a 濃度は、数日間スケールで大きく変動することが知られているため、数日スケールのノイズを除去するため月平均データを作成し経年的な変化について考察することで、富栄養化の状況評価を行うこととした。センサが重複する期間について、各センサのデータを平均し合成した。

表 3-4-1 本手法開発に用いた衛星リモートセンシングセンサ

センサ及び衛星	OCTS on ADEOS SeaWiFS on Orbview2 MODIS on Aqua
処理アルゴリズム	NASA OC4 スタンダードアルゴリズム
期間	1997 年 1 月～2009 年 12 月
データ単位	月平均データ

富栄養化状況の評価を行うにあたっては、NOWPAP 富栄養化状況評価手順書に示す方法に従い、クロロフィル a 濃度のレベルとそのトレンドの組み合わせによる 6 つの類型を用いることとした(図 3-4-1)。クロロフィル a 濃度のレベルを決定する際には 1998 年から 2009 年の 13 年分の平均濃度を求め、Bricker *et al.* (2003)によるクロロフィル a 濃度のレベルで富栄養化の状況を定義した、Middle(5～20 $\mu\text{g/L}$)の 5 $\mu\text{g/L}$ 参照濃度として用い、クロロフィル a 濃度が高い海域(High status)と低い海域(Low Status)に分類することとした。一方、トレンドは、各ピクセルにおける月平均値の中の各年における最大値を求め、その経年的なトレンドを Sen's Slope テストにより求め、有意な増加傾向(Increase)、有意な減少傾向(Decrease)、トレンドなし(None Trend)に分類することとした。

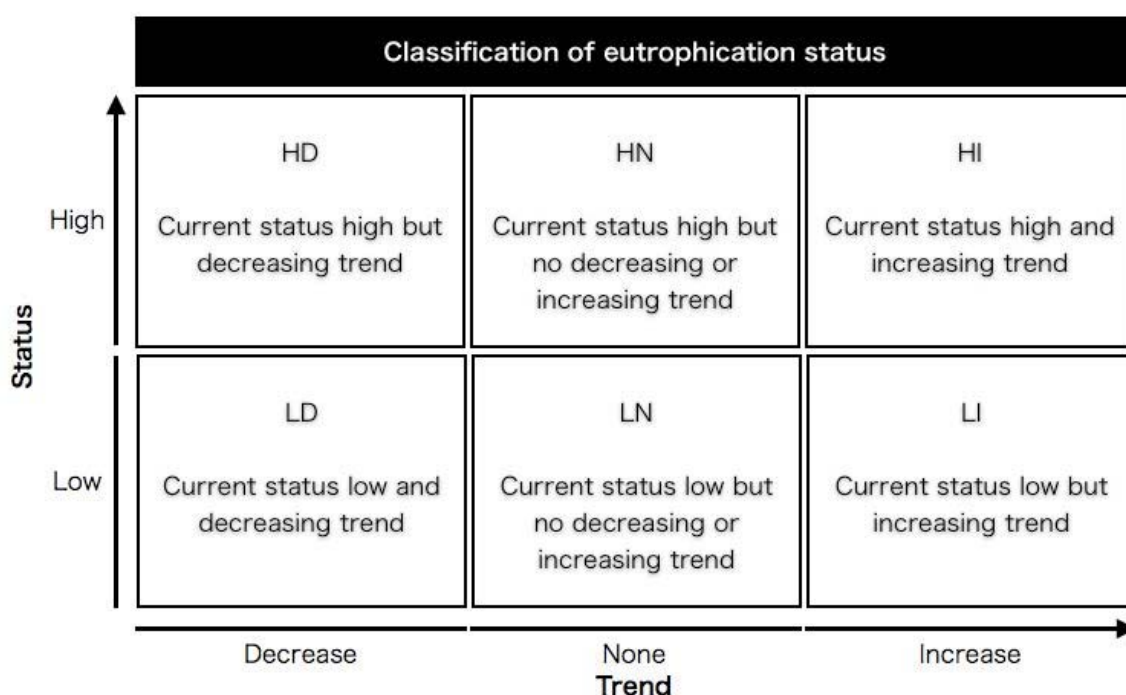


図 3-4-1 NOWPAP 富栄養化状況評価手順書に基づく 6 つの類型

(2) 結果

図 3-4-2(a)に、1998 年から 2009 年の 13 年分の平均衛星クロロフィル a 濃度を示す。このデータからクロロフィル a 濃度が $5 \mu\text{g/L}$ より高いエリアとそれ以下のエリアに 2 分した。この結果、クロロフィル a 濃度が $5 \mu\text{g/L}$ より高い海域は、湾奥部に東岸部にかけて分布することが明らかとなった(3-4-2(b))。

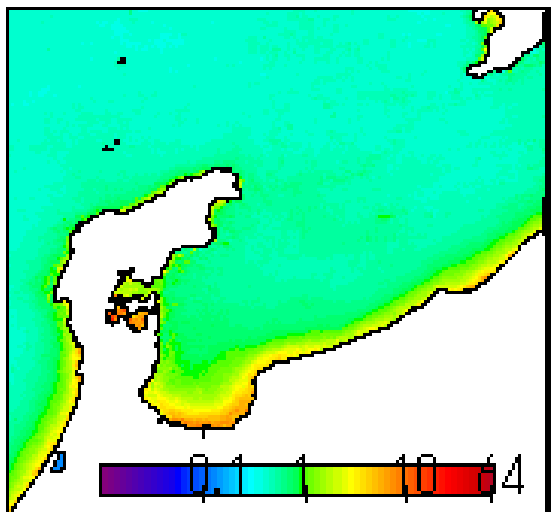


図 3-4-2(a) 衛星クロロフィル a 濃度の 13 年平均画像

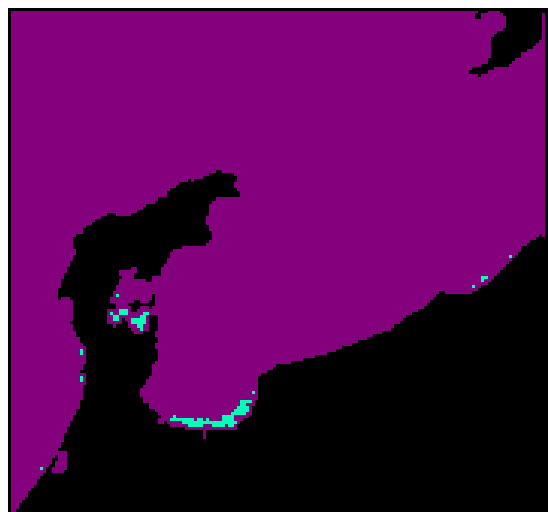


図 3-4-2(b) 図 3-4-2(a)を基に 2 分したクロロフィル a 濃度が高い海域(黄緑)と低い海域(紫)

次に、図 3-4-3(a)に、1998 年から 2009 年の月平均衛星クロロフィル a 濃度の年間最大値のトレンドを示す（青が有意な減少傾向、赤色が有意な増加傾向、白がトレンドなし）。この画像を基に、富山湾を Increase、Decrease、None Trend にエリアに 3 分類した(図 3-4-3(b))。

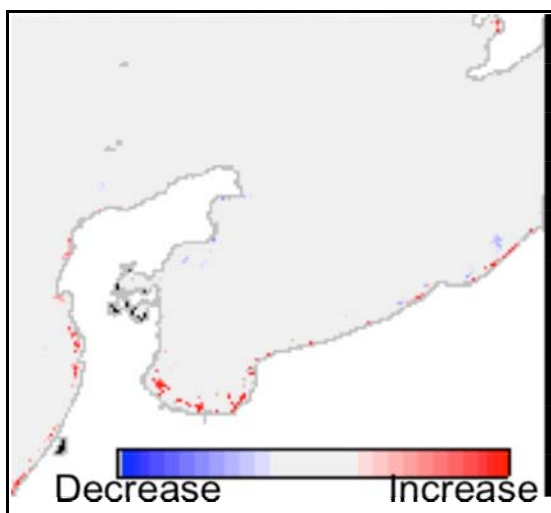


図 3-4-3(a) 各ピクセルにおけるクロロフィル a 濃度のトレンド。青が減少傾向、グレーがトレンド無し、赤が増加傾向を示す。

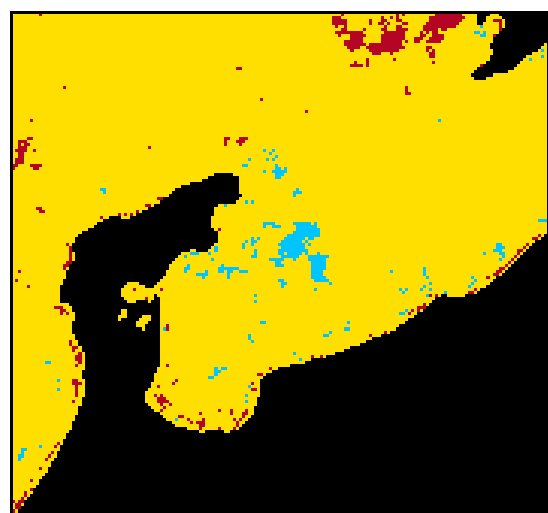


図 3-4-3(b) 図 3-4-3(a)を基に 3 分したクロロフィル a 濃度が増加している海域(赤茶色)、トレンドが無い海域(黄色)、減少している海域(水色)

以上の結果を基に、富山湾を NOWPAP 富栄養化状況評価に基づく 6 つの類型に分類し色分けした(図 3-4-4)。この結果、富山湾の湾奥部ではクロロフィル a 濃度が高く、神通川河口左岸部と東岸部エリアではクロロフィル a 濃度に増加傾向がみられた。一方で、氷見から小矢部川の河口にかけた沿岸部では、衛星クロロフィル a 濃度が低いものの、増加傾向にあることが確認された。

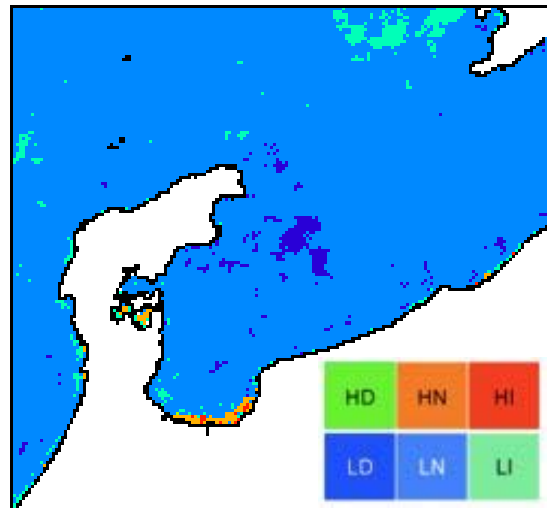


図 3-4-4 衛星クロロフィル a 濃度により特定した富山湾の富栄養化状況

(3) 考察

衛星クロロフィル a 濃度から求められた 6 類型のうち、High-Increase(HI)、High None Trend(HN)、High-Decrease(HD)、Low-Increase(LI)の 4 つの類型までは、潜在的に富栄養化が進行中あるいは将来的に進行する可能性がある海域(潜在的富栄養海域)であると考えられる。そのため、これらの潜在的富栄養海域では、現場観測データを用い NOWPAP 評価手順書に基づいた総合的な富栄養化状況の評価を実施し、その原因調査を行う必要がある。

そこで、この度の衛星データのみを用いた第一次評価において、クロロフィル a 濃度が高く且つ増加傾向がみられた湾奥部から東湾部が位置するサブエリア B において、今年度見直しを行った基準値を反映し実施した富栄養化状況評価の結果との比較検討を行った。前項の 3- 3 の再評価結果で述べたとおり、サブエリア B では河川からの全窒素の負荷量が増加傾向にあり、冬季 DIN 濃度が高いことが指摘されている。また、衛星クロロフィル a 濃度の年間最大値が基準値の $20 \mu\text{g/L}$ を超えることが観測されている。衛星データのみで実施した富栄養化海域の初期評価による結果が、NOWPAP 富栄養化状況評価手順書に基づく総合的な評価結果と一致し、その原因がサブエリア B における沿岸域の窒素負荷量の増加による可能性が示唆された。以上のことから、衛星データのみで実施した富栄養化海域の初期評価手法の有用性がサブエリア B において確認された。

既存の NOWPAP 富栄養化状況評価手順書では、既存の海洋環境モニタリング調査等で取得されている現場観測データを収集・整理し、河口の位置、モニタリング地点、漁業活動、海底地形、塩分勾配、海洋/潮流、赤潮発生状況などを考慮しながら、海域評価のための

サブエリアを設定することとしている。しかしながら、現実には現場観測データの収集・整理には、膨大な時間と労力を伴う。そこで、衛星データを初期評価に用いることで潜在的な問題海域をあらかじめ特定し、それらの海域においてのみ原因調査のため現場観測データを用い NOWPAP 富栄養化状況評価手順書に基づいた総合的な調査を行うことにより、より効率的な海域評価が可能となる。

(4) NOWPAP エリアへの展開と課題

NOWPAP 地域において同様の評価手法の適用の可能性を検討するために、同じセンサと用い、同期間のデータセットを入手し解析を行った。NOWPAP 地域における衛星データによる富栄養化状況初期評価の結果を図 3-4-5 に示す。本結果は、CEARAC の 2010-2011 年の活動である NOWPAP 富栄養化状況評価手順書を用いた海域評価の結果と照会し、その有用性について検証し、更なる改良が加えられる予定である。

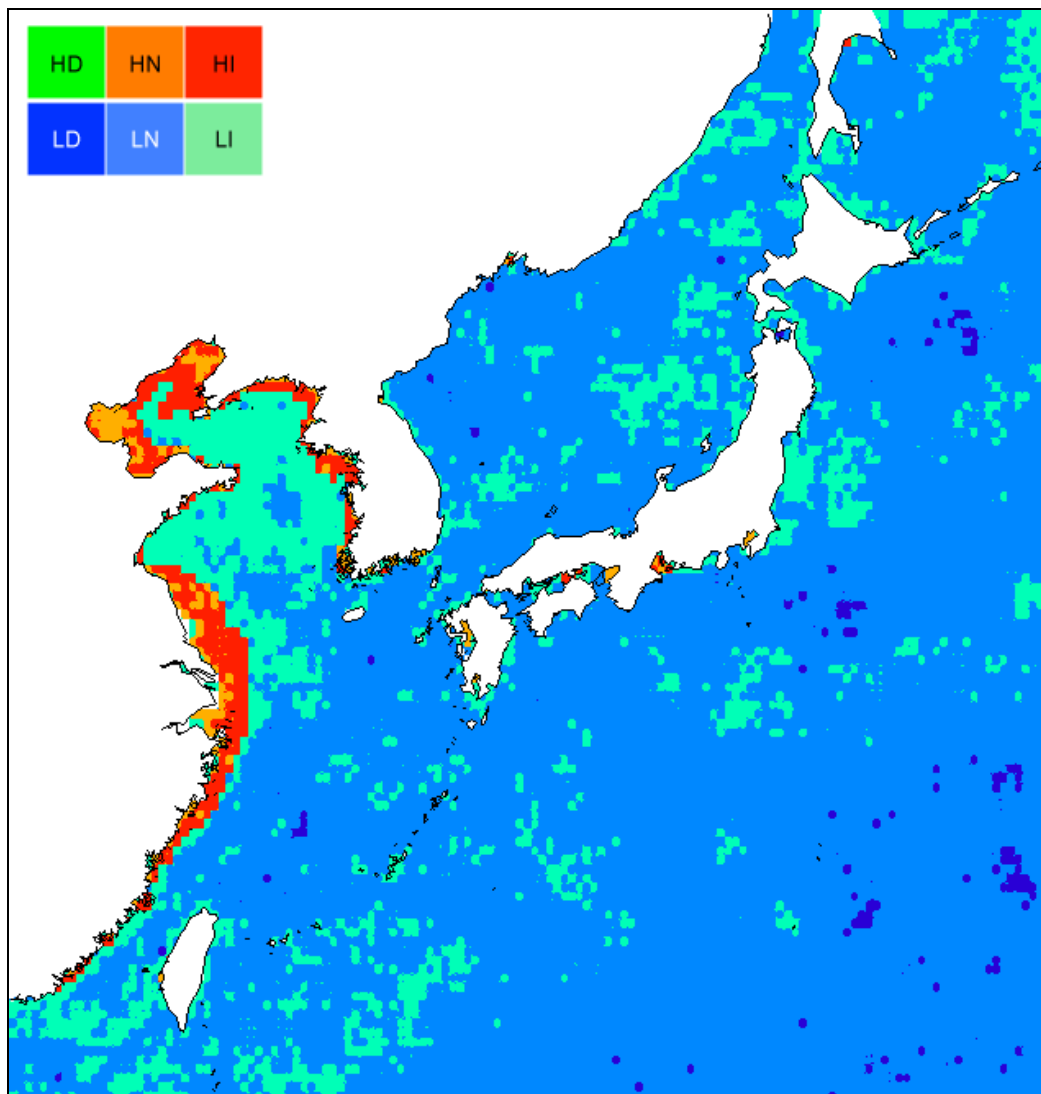


図 3-4-5 衛星クロロフィル a 濃度により特定した NOWPAP 海域の富栄養化状況

この度の解析では、簡易的に入手可能であった解像度 25 x 25 km データを用いたため、細かなスケールでの解析は行えなかった。そのため、今後富山湾と同様の 1x1 km 高解像度データを用いて、より詳細なスケールで解析を行う必要がある。また、衛星クロロフィル a 濃度が高いか低いかを定める基準値として Bricker *et al.* (2003) の 5 µg/L を用いているが、NOWPAP 地域に適用する際には各国のコンセンサスが必要であり、NOWPAP の活動の枠組みにおいて今後議論していく必要がある。その他の課題として、衛星リモートセンシングにより海色から推定するクロロフィル a 濃度アルゴリズムの問題がある。一般に、長江河口域等の濁水海域では、既存のクロロフィル a 濃度推定アルゴリズムの精度に問題があるとされている。この問題に解決に向けて、国連開発計画(UNDP)が黄海において推進する黄海大規模生態系評価プロジェクトでは、日本、中国、韓国の研究者の協力の下、海洋観測データを共有し、濁水においても高い精度でクロロフィル a 濃度の推定を可能とする衛星アルゴリズムの開発を進めている。今後このアルゴリズムが開発されれば、NOWPAP 地域の沿岸域においても、より高い精度で衛星データによる富栄養化状況の初期評価を実施することが可能となる。

観測結果表

採水年月日	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30	2009/4/30					
採水地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
緯度(N)	36° 47.620'	36° 49.906'	36° 47.585'	36° 49.975'	36° 52.266'	36° 47.559'	36° 48.896'	36° 49.967'	36° 51.967'					
経度(E)	137° 19. 800'	137° 19. 940'	137° 15.171'	137° 15.134'	137° 15.379'	137° 09.281'	137° 09.416'	137° 05.393'	137° 02.869'					
採水時間	9:47	10:01	9:25	10:42	10:23	9:00	11:04	11:45	11:28					
天候	前日	快晴												
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	bc	bc
風向風速	NE1	NNE2	NE1				E2	N1			calm	NE3	NE5	N3
波・うねり	0.3	0.5	0.3				0.3	0.5			0.2	0.5	0.5	0.3
雲 量	2	2	2				3	2			2	3	3	3
気温(℃)(富山大)	13.8	14.2	13.1				14.7	14.6			15.8	14.8	13.8	13.9
透明度(m)	3.0	3.0	5.0				8.0	13.0			9.0	10.0	12.0	11.0
水温(℃)	14.5	14.3	13.5	13.7	13.7		14.3	14.7	14.0	13.8	14.1	15.5	14.5	13.9
[塩分]電気導電率(S/m) (富山大)	23.36	26.78	22.32				31.81	32.7			30.94	28.2	32.17	32.64
水温(℃)(富山大)	14.5	15.1	14.9				14.6	14.7			14.6	15.3	14.3	14.3
pH	(富山大)	8.21	8.15	7.99	NES測定 8.14		8.21	8.16	NES測定 8.14		8.04	8.16	8.05	8.13
水色	(富山大)	5	6	6			6	4			5	6	4	4
SS	1.52	1.67	2.65				1.58	0.16			0.84	2.6	0.84	0.28
クロロフィルa	1.863	1.554	0.992	0.5m+2m混合 0.74			0.847	0.293	0.5m+2m混合 0.457		1.355	0.493	0.83	0.457
DO	9.75	9.77	9.55	9.56	9.54		9.43	9.01	9.22	9.41	9.42	9.24	9.27	9.52
				0.5m+2m混合計算値 9.55					0.5m+2m混合計算値 9.31					
アンモニア態窒素(mg/L)	0.04	0.03	0.11				ND	ND			ND	ND	ND	ND
亜硝酸態窒素(mg/L)	0.03	ND	ND				ND	ND			ND	ND	ND	ND
硝酸態窒素(mg/L)	0.06	0.03	0.08				ND	ND			ND	0.03	ND	ND
CDOM	0.10557	0.10189	0.13409				0.05819	0.04393			0.07958	0.09407	0.04692	0.06325
備 考 (ファイル番号, その他特記事項)	PRR	P090430C	P090430D	P090430B			P090430F	P090430E			P090430A	P090430G	P090430I	P090431H
	CTD	090430_st01	090430_st02	090430_st03			090430_st04	090430_st05			090430_st06	090430_st07	090430_st08	090431_st09
その他特記事項		表層ににごりが一面にあり	表層ににごりあり	表層ににごりあり							表層ににごりの塊有	表層ににごりの塊有		

採水年月日	2009/5/28		2009/5/28	2009/5/28		2009/5/28			
採水地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
緯度(N)	36° 47.642'		36° 47.614'			36° 47.482'			
経度(E)	137° 19.814'		137° 15.128'			137° 09.276'			
採水時間	9:54		9:32			9:10			
天候	前日	C							
	当日	O	O	水深0.5m	水深2m	水深0.5m	水深2m	O	
風向風速	NE3		NE2					N2	
波・うねり	1.5		1.5					1.5	
雲 量	10		10					10	
気温(℃)(富山大)	17.0		16.5					17.1	
透明度(m)	9.0		9.0					2.0	
水温(℃)	18.0		17.8	17.8	18.0			19.0	
[塩分]電気導電率(S/m)(富山大)	25.68		15.24					21.57	
水温(℃)(富山大)	18.2		18.0					19.0	
pH	(富山大)	7.80	7.82	NES測定 8.24		NES測定		8.67	
水色	(富山大)	4	5					6	
SS	1.3		1.5					4.3	
クロロフィルa	4.832		7.13	0.5m+2m混合 4.841		0.5m+2m混合		21.085	
DO	8.915		9.68	9.22	10.015	0.5m+2m混合計算値		10.725	
				0.5m+2m混合計算値 9.6175		0.5m+2m混合計算値			
アンモニア態窒素(mg/L)	ND		0.24					0.02	
亜硝酸態窒素(mg/L)	ND		0.02					ND	
硝酸態窒素(mg/L)	0.05		0.21					0.06	
CDOM	0.1849		0.1957					1.1447	
備考 (ファイル番号, その他特記事項)	PRR	P090528C	P090528B					P090528A	
	CTD	090528_st01	090528_st03					090528_st06	
その他特記事項		欠測				欠測	欠測	欠測	欠測

採水年月日		2009/6/26	2009/6/26	2009/6/26		2009/6/26		2009/6/26		2009/6/26	2009/6/26	2009/6/26	2009/6/26	
採水地点		1	2	3		4		5		6	7	8	9	
緯度(N)		36° 47. 623'	36° 49. 873'	36° 47. 614'		36° 49. 956'		36° 52. 259'		36° 47. 509'	36° 49. 990'	36° 49. 890'	36° 51. 913'	
経度(E)		137° 19. 645'	137° 20. 000'	137° 15. 167'		137° 15. 213'		137° 15. 339'		137° 09. 290'	137° 09. 329'	137° 06. 292'	137° 02. 678'	
採水時間		9:26	9:40	9:08		10:16		10:02		8:46	10:40	11:20	11:05	
天候	前日	bc												
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	bc	bc
風向風速		W6	W4	W2			SWG	W2			NW1	W3	SW6	W8
波・うねり		0.5	0.5	0.3			0.3	0.5			0.2	0.2	0.5	0.5
雲 量		2	2	2			2	2			2	2	2	2
気温(℃)(富山大)		23.4	23.9	23.5			25.5	23.8			24.2	26.5	28.1	26.8
透明度(m)		2	4	3			9	18			6	8	7	7
水温(℃)		24.6	22.3	21.7	21.9	21.8	22.7	21.8			22.6	23.2	22.0	22.0
(塩分)電気導電率(S/m) (富山大)		2416	3036	2539			3007	33.01			31.61	31.57	32.71	32.64
水温(℃) (富山大)		25.3	23.0	22.4			22.7	22.6			23.4	23.7	22.5	23.2
pH (富山大)		8.53	8.28	8.25	NES測定 8.18		8.21	8.12	NES測定 8.10		8.22	8.18	8.24	8.24
水色 (富山大)		12	6	9			3.5	2			4	4	4.5	3.5
SS		4.76	1.76	3.52			1.48	1.20			1.56	0.72	0.72	1.36
クロロフィルa		4243	4.795	4.086	0.5m+2m混合 3.849		1.968	0.628	0.5m+2m混合 0.538		3.534	1.709	0.797	0.988
DO		11.85	8.77	8.63	8.73	8.95	8.28	7.42	7.53	7.83	8.66	7.81	8.07	8.24
					0.5m+2m混合計算値 8.835				0.5m+2m混合計算値 7.678					
アンモニア態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.12			0.01	N.D.			0.01	N.D.	N.D.	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.			N.D.	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.11			0.03	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
CDOM		0.6833	0.0793	0.5110			0.1014	0.0381			0.0667	0.1334	0.0255	0.1039
備 考 (ファイル番号、その他特記事項)	FRR	P090626C	P090626D	P090626B			P090626F	P090626E			P090626A	P090626G	P090626I	P090626H
	CTD	090626_st01	090626_st02	090626_st03			090626_st04	090626_st05			090626_st06	090626_st07	090626_st08	090626_st09
その他特記事項														

採水年月日		2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27	2009/7/27
採水地点		1	2	3			4	5			6	7	8	9
緯度(N)		36° 47.586'	36° 48.905'	36° 47.604'			36° 48.909'	36° 52.184'			36° 47.550'	36° 48.874'	36° 49.880'	36° 51.778'
経度(E)		137° 19.916'	137° 19.880'	137° 15.152'			137° 15.311'	137° 15.371'			137° 08.293'	137° 08.410'	137° 06.388'	137° 02.923'
採水時間		9:30	9:45	9:11			10:15	10:01			8:47	10:41	11:25	11:07
天候	前日	O and r												
	当日	R	R	O	水深0.5m	水深2m	R	R	水深0.5m	水深2m	O	R	R	R
風向風速		NW4	NW3	N4			NNW5	NNW5			N3	N6	N6	N6
波・うねり		0.5	0.5	0.5			1.0	1.0			0.5	1.0	1.0	1.0
雲 量		10	10	10			10	10			10	10	10	10
気温(℃)(富山大)		23.9	22.7	22.8			22.2	22.6			22.5	22.0	22.0	21.8
透明度(m)		3	2	1.5			6	9			5	7	3	1.5
水温(℃)		24.3	24.4	23.0	23.3	24.0	23.0	24.0	24.0	24.3	24.3	24.3	24.0	24.0
【塩分】電気導電率(S/m)(富山大)		3.92	3.37	2.55			4.15	4.43			4.00	4.51	3.72	3.23
水温(℃)	(富山大)	24.7	24.2	22.4			23.7	23.7			24.7	24.1	24.4	23.6
pH	(富山大)	8.36	8.63	8.04	NES測定 8.29		8.03	8.06	NES測定 8.24		8.35	8.23	8.47	8.39
水色	(富山大)	7	8	13			6	4			5	6	17	8
SS		3.04	3.67	7.10			2.52	1.04			2.20	0.88	2.67	3.13
クロロフィルa		12.151	16.082	12.012	0.5m+2m混合 5.737		3.665	2.762	0.5m+2m混合 2.195		8.666	2.692	14.994	19.463
DO		9.59	10.11	8.85	8.43	7.80	7.90	7.62	7.72	7.11	8.17	7.74	8.49	8.65
					0.5m+2m混合計算値 8.12				0.5m+2m混合計算値 7.41					
アンモニア態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.01			0.02	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.			N.D.	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.1			0.05	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	0.05
CDOM		0.1868	0.2194	0.3165			0.1835	0.3935			0.0828	0.1421	0.1833	0.2017
備 考 (ファイル番号、その他特記事項)	PRR	P090727C	P090727D	P090727B			P090727F	P090727E			P090727A	P090727G	P090727I	P090727H
	CTD	090727_st01	090727_st02	090727_st03			090727_st04	090727_st05			090727_st06	090727_st07	090727_st08	090727_st09
その他特記事項														

採水年月日		2009/8/26	2009/8/26	2009/8/26		2009/8/26		2009/8/26		2009/8/26	2009/8/26	2009/8/26	2009/8/26	
採水地点		1	2	3		4		5 小型船舶航行のため採水く近傍を変更		6	7	8	9	
緯度(N)		36° 47.606'	36° 49.860'	36° 47.683'		36° 49.991'		36° 52.010'		36° 47.514'	36° 49.895'	36° 49.964'	36° 51.987'	
経度(E)		137° 19.840'	137° 19.918'	137° 15.187'		137° 15.278'		137° 15.328'		137° 08.299'	137° 08.428'	137° 06.321'	137° 02.888'	
採水時間		9:32	9:47	9:12		10:25		10:07		8:48	10:45	11:25	11:10	
天候	前日	bc												
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	bc	bc
風向風速		N1	N1	N1			N1	Calm			N1	N2	NE3	N2
波・うねり		0.3	0.5	0.3			0.3	0.3			0.3	0.3	0.3	0.2
雲 量		4	3	6			5	6			6	3	5	5
気温(℃)(富山大)		21.9	22.5	22.8			23.1	24.6			23.0	23.9	23.8	24.5
透明度(m)		12	14	22.0			24	35			14	25	30	22.0
水温(℃)		24.7	24.2	23.6	24.3	24.8	25.2	25.1	25.5	25.2	24.0	25.5	25.6	26.0
【塩分】電気導電率(S/m)(富山大)		4.69	4.22	4.77			4.87	4.99			4.60	4.80	4.94	5.01
水温(℃)(富山大)		25.6	24.6	25.2			25.5	25.7			25.4	26.0	26.6	26.2
pH(富山大)		8.11	8.17	8.20	NES測定 8.31		8.21	8.13	NES測定 8.30		8.00	8.18	8.20	8.24
水色(富山大)		5	5~6	5			3	2			4	2	2	2~3
SS		0.76	1.12	0.72			0.16	0.28			1.32	0.88	0.32	0.20
クロロフィルa		1.331	1.728	2.376	0.5m+2m混合 0.959		1.503	0.091	0.5m+2m混合 0.067		3.792	3.896	1.003	0.234
DO		7.18	7.55	7.42	7.48	7.02	7.18	6.69	6.82	6.81	7.96	7.55	7.17	6.84
					0.5m+2m混合計算値 7.245				0.5m+2m混合計算値 6.8125					
アンモニア態窒素(mg/L)		N.D.	0.1	0.04			0.01	N.D.			0.01	0.02	N.D.	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	0.02	N.D.			N.D.	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	0.1	0.05			0.02	N.D.			0.07	0.04	N.D.	N.D.
CDOM		0.0501	0.0794	0.0561			0.0232	0.0046			0.1201	0.0768	0.0221	0.0147
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	FRR	P090826C	P090826D	P090826E			P090826F	P090826E			P090826A	P090826G	P090826I	P090826H
	CTD	090826_st01	090826_st02	090826_st03			090826_st04	090826_st05			090826_st06	090826_st07	090826_st08	090826_st09
その他特記事項														

採水年月日		2009/9/28		2009/9/28				2009/9/28		2009/9/28		2009/9/28		2009/9/28	
採水地点		1	2	3		4	5		6	7	8	9			
緯度(N)		36° 47.655'		36° 47.582'					36° 47.546'						
経度(E)		137° 19.826'		137° 15.139'					137° 08.313'						
採水時間		9:35		9:20					8:45						
天候	前日	c													
	当日	o		o	水深0.5m	水深2m		水深0.5m	水深2m	o					
風向風速		S1		S9						W2					
波・うねり		1		1						1.5					
雲 量		10		10						10					
気温(℃)(富山大)		22.3		24.0						23.6					
透明度(m)		3		3.0						3					
水温(℃)		22.5		21.8	22.0	22.5				22.5					
(塩分)電気導電率(S/m) (富山大)		4.27		4.48						3.74					
水温(℃) (富山大)		23.0		23.2						23.2					
pH (富山大)		8.80		8.36	NES測定 8.26					8.30					
水色 (富山大)		13		8						13					
SS		2.88		2.52						2.12					
クロロフィルa		12.202		9.275	0.5m+2m混合 10.618					8.756					
DO		8.48		8.08	8.41	8.31				8.08					
					0.5m+2m混合計算値 8.358										
アンモニア態窒素(mg/L)		0.01		N.D.						0.04					
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.		N.D.						N.D.					
硝酸態窒素(mg/L)		0.04		N.D.						0.07					
CDOM		0.0833		0.0685						0.1369					
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	FRR	P880101C		P880101B						P880101A					
	CTD	090928_st01		090928_st03						090928_st06					
その他特記事項			欠測				欠測		欠測		欠測	欠測	欠測		

採水年月日		2009/10/30	2009/10/30	2009/10/30		2009/10/30	2009/10/30		2009/10/30	2009/10/30	2009/10/30	2009/10/30	2009/10/30	
採水地点		1	2	3		4	5		6	7	8	9		
緯度(N)		36° 47. 657'	36° 49. 85746'	36° 47. 631'		36° 49. 978'	36° 52.236'		36° 47. 6'	36° 49.906'	36° 49.932'	36° 51.990'		
経度(E)		137° 19. 637'	137° 19. 854'	137° 15. 419'		137° 15. 332'	137° 15. 283'		137° 09. 3'	137° 09. 350'	137° 05.384'	137° 02.916'		
採水時間		9:59	10:15	9:40		10:54	10:38		9:15	11:18	12:00	11:44		
天候	前日	bc												
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	水深0.5m	水深2m	bc	bc	bc	bc
風向風速		S2	S1	SSE3			SW2	SW2			S4	SSW1	calm	W6
波・うねり		0.3	0.3	0.3			0.3	0.5			0.5	0.2	0.1	0.3
雲 量		4	4	4			4	6			4	4	6	5
気温(℃)(富山大)		19.0	20.5	19.4			19.7	19.1			18.5	20.0	21.2	21.8
透明度(m)		7	10	12.0			14	15			15	13	16	13.0
水温(℃)		19.5	20.0	19.3	19.5	20.1	19.8	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.8	20.8
(塩分)電気導電率(S/m) (富山大)		483	484	440			498	498			489	499	498	5.03
水温(℃)(富山大)		19.8	20.0	19.6			20.0	20.0			20.2	20.0	20.9	20.5
pH (富山大)		8.26	8.07	8.20	NES測定 8.20		8.21	8.27	NES測定 8.23		8.15	8.25	8.24	8.23
水色 (富山大)		4	4	4			3	3			5	3	3	3
SS		0.76	0.44	0.36			0.52	0.48			0.68	0.12	0.00	0.16
クロロフィルa		3.352	1.382	1.232	0.5m+2m混合 0.671		0.883	0.309	0.5m+2m混合 0.309		2.467	0.446	0.259	0.484
DO		8.87	7.86	7.90	7.78	7.65	7.72	7.73	7.86	7.72	7.54	7.81	7.89	7.44
					0.5m+2m混合計算値 7.71				0.5m+2m混合計算値 7.79					
アンモニア態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.06			N.D.	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.			N.D.	N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	0.06			N.D.	N.D.			0.04	N.D.	N.D.	N.D.
CDOM		0.0488	0.0469	0.0752			0.0375	0.0281			0.0593	0.0248	0.0248	0.0375
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	PRR	P091030B	P091030C	P091030A			P091030E	P091030D			P880101A	P091030F	P091030H	P091030G
	CTD	091030st1	091030st2	091030st3			091030st4	091030st5			091030st6	091030st7	091030st8	091030st9
その他特記事項														

採水年月日		2009/11/26	2009/11/26	2009/11/26		2009/11/26	2009/11/26		2009/11/26	2009/11/26	2009/11/26	2009/11/26	2009/11/26	
採水地点		1	2	3		4	5		6	7	8	9		
緯度(N)		36° 47. 657'	36° 49. 857'	36° 47. 631'		36° 49. 978'	36° 52.236'		36° 47. 6'	36° 49.906'	36° 49.932'	36° 51.990'		
経度(E)		137° 19. 837'	137° 19. 854'	137° 15. 419'		137° 15. 332'	137° 15. 283'		137° 09. 3'	137° 09. 350'	137° 05.384'	137° 02.916'		
採水時間		9:59	10:15	9:40		10:54	10:38		9:15	11:18	12:00	11:44		
天候	前日	b												
	当日	b	b	b	水深0.5m	水深2m	b	b	水深0.5m	水深2m	b	b	b	b
風向風速		SE1	SW1	SW2			S1	SW2			SW2	W0	Calm	calm
波・うねり		1.0	1.0	0.5			0.5	1.0			0.5	0.5	0.2	0.2
雲 量		2	2	1			2	2			1	2	2	2
気温(℃)(富山大)		15.1	13.0	12.0			13.0	12.9			13.5	14.0	14.8	15.2
透明度(m)		6	8	7			12	16			6	11	11	17.5
水温(℃)		14.8	15.7	16.5		16.5	16.0	17.7	17.7	17.7	16.5	17.5	17.8	18.0
(塩分)電気導電率(S/m) (富山大)		421	466	453			474	5.04			440	491	5.03	5.05
水温(℃) (富山大)		14.9	16.2	13.6			16.9	17.5			15.5	17.2	17.7	17.7
pH (富山大)		8.15	8.12	8.03	NES測定 8.18		8.01	8.03	NES測定 8.16		7.99	8.07	8.12	8.16
水色 (富山大)		5	5	6			5	3			5	5	5	2
SS		1.20	0.56	0.80			0.48	0.00			1.04	0.52	0.44	0.68
クロロフィルa		1.875	1.983	2.271	0.5m+2m混合 3.39		1.959	0.600	0.5m+2m混合 0.576		1.550	1.634	0.973	0.576
DO		8.82	8.87	9.13	9.01 8.83		8.74	8.08	7.67 7.83		8.47	8.12	8.20	7.77
					0.5m+2m混合計算値 8.915				0.5m+2m混合計算値 7.75					
アンモニア態窒素(mg/L)		0.02	0.04	0.11			0.03	ND.			0.04	0.01	ND.	ND.
亜硝酸態窒素(mg/L)		ND.	ND.	ND.			ND.	ND.			ND.	ND.	ND.	ND.
硝酸態窒素(mg/L)		0.08	0.08	0.2			0.07	ND.			0.16	0.02	ND.	ND.
CDOM		0.0575	0.0646	0.0869			0.0588	0.0375			0.1028	0.0488	0.0320	0.0179
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	FRR	P091126C	P091126D	P091126B			P091126F	P091126E			P091126A	P091126G	P091126I	P091126H
	CTD	091126_st01	091126_st02	091126_st03			091126_st04	091126_st05			091126_st06	091126_st07	091126_st08	091126_st09
その他特記事項														

採水年月日	2009/12/25		2009/12/25	2009/12/25	2009/12/25	2009/12/25	2009/12/25	2009/12/25	2009/12/25
採水地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
緯度(N)	36° 47.646'		36° 47.665'	36° 49.935'	36° 52.1'	36° 47.666'	36° 49.893'	36° 49.956'	36° 51.896'
経度(E)	137° 19.818'		137° 15.245'	137° 15.269'	137° 15.1'	137° 08.229'	137° 09.381'	137° 05.344'	137° 02.654'
採水時間	1000		9:40	1020	-	9:15	10:45	11:30	11:10
天候	前日				b				
	当日	b	b	水深0.5m 水深2m	b	水深0.5m 水深2m	bc	b	bc
風向風速	SE2		SE2		S2		S3	SW1	calm
波・うねり	1.5		1.5		1.0		1.0	1.0	0.5
雲量	2		2		2		3	2	3
気温(°C)(富山大)	7.8		6.8		7.8		6.5	10.8	8.3
透明度(m)	10		13		14		10.5	14	14.5
水温(°C)	11.5		12.5	12.5 13.0	13.0		13.0	12.6	14.0
[塩分]電気導電率(S/m) (富山大)	400		412		475		388	455	499
水温(°C)	(富山大)	11.1	11.1		11.4		11.1	13.8	13.8
pH	(富山大)	7.89	7.69	NES測定 8.18	8.19	NES測定 -	6.60	8.11	8.15
水色	(富山大)	4	3		1		5	1	2
SS	2.16		1.60		1.00		1.36	0.48	0.92
クロロフィルa	0.585		0.692	0.5m+2m混合 0.620	0.301	0.5m+2m混合 -	0.597	0.893	0.810
DO	9.36		9.06	8.49 8.74 0.5m+2m混合計算値 8.615	8.57	- - 0.5m+2m混合計算値 -	8.81	8.45	8.32
アンモニア態窒素(mg/L)	0.07		0.09		0.01		0.03	0.01	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)	0.14		0.16		0.06		0.12	0.07	0.05
CDOM	0.0621		0.0773		0.0306		0.0761	0.0478	0.0403
備考 (ファイル番号, その他特記事項)	PRR P091225C CTD 091225_st01		P091225B 091225_st03		P091225D 091225_st04		P091225A 091225_st06	P091225E 091225_st07	P091225G 091225_st08
その他特記事項		欠測				欠測			

採水年月日	2010/1/29	2010/1/29	2010/1/29			2010/1/29			
採水地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
緯度(N)	36° 47.625'	36° 49.906'	36° 47.671'			36° 47.620'			
経度(E)	137° 19.929'	137° 19.983'	137° 15.199'			137° 08.306'			
採水時間	9:30	9:45	9:10						
天候	前日				f				
	当日	r	o	o	水深0.5m 水深2m	水深0.5m 水深2m	bc		
風向風速	S 8	S 10	S 7				SW 2		
波・うねり	1.5	1.5	1.5				1.0		
雲量	10	10	10				6		
気温(°C)(富山大)	5.2	4.8	5.5				5.4		
透明度(m)	12	13	13				12.0		
水温(°C)	9.5	11.5	11.5	11.5 12.0			11.2		
[塩分]電気導電率(S/m) (富山大)	499	5.11	4.71				407		
水温(°C)	(富山大)	10.8	10.5	10.8			10.4		
pH	(富山大)	8.51	8.32	8.98	NES測定 8.11	NES測定 -	7.66		
水色	(富山大)	4	4	3			5		
SS	0.36	0.44	0.16				2.72		
クロロフィルa	0.478	0.106	0.351	0.5m+2m混合 0.463		0.5m+2m混合 -	0.500		
DO	8.82	8.89	9.01	8.65 8.84 0.5m+2m混合計算値 8.745		- - 0.5m+2m混合計算値 -	9.36		
アンモニア態窒素(mg/L)	0.02	0.01	0.03				0.06		
亜硝酸態窒素(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.				N.D.		
硝酸態窒素(mg/L)	0.07	0.05	0.08				0.14		
CDOM	0.0768	0.0368	0.0334				0.0773		
備考 (ファイル番号, その他特記事項)	PRR P100129CC CTD 100129_st01	P100129D 100129_st02	P100129B 100129_st03				P100129A 100129_st06		
その他特記事項				欠測	欠測		欠測	欠測	欠測

採水年月日		2010/2/25		2010/2/25			2010/2/25			2010/2/25	2010/2/25	2010/2/25	2010/2/25	
採水地点		1	2	3		4	5		6	7	8	9		
緯度(N)		36° 47. 62'	36° 49. 91'	36° 47. 57'			36° 52.45'		36° 47. 61'	36° 50.06'	36° 49.95'	36° 51.96'		
経度(E)		137° 19. 96'	137° 19. 94'	137° 15. 17'			137° 15. 37'		137° 09. 33'	137° 09. 44'	137° 05.39'	137° 02.80'		
採水時間		9:35	9:50	9:15			10:10		8:50	10:40	11:25	11:10		
天候	前日													
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m	水深2m		bc	水深0.5m	水深2m	O	bc	bc	bc
風向風速		SW0	W0	S10				SW12			W0	S7	SE5	SE1
波・うねり		1.0	1.5	1				2.0			0.5	1.5	1.0	0.3
雲 量		6	6	6				5			10	6	6	6
気温(℃)(富山大)		12.7	13.2	12.4				12.4			10.8	13.4	14.5	13.2
透明度(m)		13	11	8				11			10.0	13	9.0	10.0
水温(℃)		8.5	10.5	10.0				11.0			10.0	11.0	11.5	11.5
{塩分}電気導電率(S/m) (富山大)		3.94	4.81	4.09				5.07			3.18	4.27	3.96	4.88
水温(℃) (富山大)		10.2	10.7	10.2				11.2			9.8	11.3	11.4	11.6
pH (富山大)		8.19	8.39	8.10	NES測定 8.08			8.38			8.01	8.17	8.41	8.41
水色 (富山大)		6	7	7				6			5	6	6	5
SS		0.76	0.64	0.96				0.76			1.76	1.64	1.20	1.28
クロロフィルa		0.288	1.944	0.815	0.5m+2m混合 0.734			1.842			1.079	1.324	1.120	2.158
DO		10.11	9.90	9.65	9.57	9.34		9.79	-	-	10.04	9.66	9.97	9.73
					0.5m+2m混合計算値 9.45									
アンモニア態窒素(mg/L)		0.02	0.01	0.08				N.D.			0.04	0.05	0.07	N.D.
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.				N.D.			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		0.15	0.06	0.18				0.03			0.17	0.14	0.17	0.07
CDOM		0.0955	0.0345	0.0699				0.0041			0.0934	0.0642	0.0734	0.0407
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	PRR	P100225C	P100225D	P100225E				P100225E			P100225A	P100225F	P100225H	P100225G
	CTD	100225_st01	100225_st02	100225_st03				測定なし			100225_st06	100225_st07	100225_st08	100225_st09
その他特記事項				CTD 30mまで流れが速いため		欠測								

採水年月日		2010/3/26	2010/3/26	2010/3/26		2010/3/26		2010/3/26		2010/3/26	2010/3/26	2010/3/26	2010/3/26		
採水地点		1	2	3		4		5		6	7	8	9		
緯度(N)		36° 47. 60'	36° 49. 85'	36° 47. 61'		36° 49. '				36° 47. 61'	36° 49.96'	36° 50. 00'	36° 51. 98'		
経度(E)		137° 19. 67'	137° 19. 92'	137° 15. 25'		137° 15. '				137° 09. 34'	137° 09. 32'	137° 05.51'	137° 02. 98'		
採水時間		10:00	10:15	9:40		10:35				9:15	11:00	11:45	11:25		
天候	前日														
	当日	O	O	O	水深0.5m	水深2m	r	r		水深0.5m	水深2m	O	O	r	r
風向風速		calm	calm	calm			W1					E3	N1	E3	N2
波・うねり		1.2	1.5	1.5			1.2					1.5	1.5	1.5	1.5
雲 量		10	10	10			10					10	10	10	10
気温(℃)(富山大)		4.5	4.0	4.0			3.3					3.0	5.0	2.4	4.0
透明度(m)		3	5	4			5					3	4	5	8.0
水温(℃)		7.8	6.7	7.5	7.5	8.0	7.5					6.7	7.0	8.0	8.7
{塩分}電気導電率(S/m) (富山大)		2.93	2.58	2.67			2.42					2.32	2.36	4.21	5.04
水温(℃) (富山大)		7.8	6.9	5.5			7.7					6.5	7.2	8.4	9.0
pH (富山大)		8.60	8.42	8.30	NES測定 8.21		8.18					7.65	8.20	8.40	8.25
水色 (富山大)		5	6	5			4					5	5	5	6
SS		3.36	2.44	1.88			2.36					5.04	4.20	5.12	0.96
クロロフィルa		0.247	0.519	0.700	0.5m+2m混合 1.566		1.748					0.569	1.133	1.173	3.914
DO		11.25	10.78	11.10	11.14 10.43 0.5m+2m混合計算値 10.79		10.54					10.92	10.54	10.56	10.18
アンモニア態窒素(mg/L)		0.1	0.07	0.08			0.05					0.05	0.08	0.1	0.01
亜硝酸態窒素(mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.			N.D.					N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
硝酸態窒素(mg/L)		0.21	0.14	0.21			0.07					0.18	0.11	0.1	N.D.
CDOM		0.2261	0.1543	0.1617			0.0720					0.2183	0.1189	0.1327	0.0455
備 考 (ファイル番 号、その他特 記事項)	PRR	P100326C	P100326D	P100326E			P00326E					P100326A	P100326F	P100326H	P100326G
	CTD	100326_st01	100326_st02	100326_st03			100326_st04					100326_st06	100326_st07	100326_st08	100326_st09
その他特記事項								欠測							

調 査 名	富山湾プロジェクト							
回数	1		2		3		4	
採水年月日	H21.4.3		H21.5.1		H21.6.4		H21.7.2	
採水地点	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋
塩分	32.33	32.49	32.54	32.92	32.47	32.79	32.51	32.9
SS	0.34	0.22	0.26	0.07	1.82	0.7	0.98	1.04
クロロフィルa	1.313	0.829	0.457	1.455	0.296	0.228	1.518	0.549
CDOM	0.04393	0.0322	0.04876	0.04393	0.00253	0.03059	0.04669	0.01932
回数	5		6		7		8	
採水年月日	H21.8.4		H21.9.4		H21.9.30		H21.11.6	
採水地点	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋
塩分	25.46	32.07	30.53	30.87	36.48	36.64	32.01	32.21
SS	2.44	1.04	0.4	1.36	0.36	0.16	0.04	0
クロロフィルa	3.086	0.504	0.053	0.113	0.507	0.165	0.209	0.122
CDOM	0.09545	0.02208	0.09545	0.13547	0.08924	0.01886	0.01587	0.0207
回数	9		10		11		12	
採水年月日	H21.12.2		H22.1.9		H22.2.3		H22.3.26	
採水地点	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋	湾中央	外洋
塩分	31.99	32.40	31.96	32.00	31.60	-	30.99	32.11
SS	0.08	0.04	0.16	0.04	0.08	荒天の為採水できず	0.32	0.56
クロロフィルa	0.408	0.432	0.206	0.253	0.2654	-	3.002	1.344
CDOM	0.03197	0.03335	0.02737	0.03795	0.01587	-	0.03473	0.0322

植物プランクトンの増殖要因及びCODと 内部生産の関係の検討（富山大学）

緒言

富山湾沿岸海域において、1994年から、水質汚濁の指標であるCOD_{Mn}（化学的酸素要求量）の値が環境省の指定する海域A類型の2 mg/Lを越え、水質の悪化が問題となっている（文献1）。2000年からCOD_{Mn}の値は改善してきているが、現在もなお、海域A類型の2 mg/Lをしばしば超過している（本調査結果参照）。もし、COD_{Mn}値の増加の原因が、海底堆積物からの影響であれば、鉛直混合期である冬季にCOD値が高くなるはずであるが、逆に低くなっている（文献2）。また、1993～1999年度の富山県公共用水域水質測定結果におけるDO飽和度とCOD値に対する考察から、一次汚濁CODに加え、内部生産CODの影響が多くなっていることが示唆されている（文献1）。そこで、COD_{Mn}値の上昇は、内部生産（海域内部で生産される有機物で、大半がプランクトンなどの微生物そのものと言われている）に起因すると考え、植物プランクトンの増殖要因（リン、窒素、ケイ素）とCODの関係について検討した。

植物プランクトンの増殖には多くの元素が必要とされるが、海洋においてリンや窒素はケイ素とともに不足しがちである。富山湾に関しては、富山県環境科学センターが富山湾の海水を用いて行った栄養塩類の添加によるAGP試験において、無機態の窒素・リン単独添加の実験結果から、リンが制限因子となる可能性を示唆している（文献1）。

また、植物プランクトンの増殖と化学成分濃度との関係を明らかにしておくことは、海域の汚濁機構を解明する際の重要な情報を提供すると考えられる。

そこで、

- (1) リンが植物プランクトンの増殖の制限因子になる可能性が高いことから、リンに着目し、形態別（溶存態オルトリン酸、懸濁態オルトリン酸、溶存態有機リン、懸濁態リン）にリンの分析を行い、その海域や季節による挙動、クロロフィルa濃度やCODとの関係を検討した。
- (2) 形態別のCOD（（全）COD、懸濁態COD、溶存態COD）とクロロフィルaの関係について検討し、CODに対する内部生産寄与率を計算し評価した。
- (3) 衛星データとの対応を検討するため、離散データの補間を行い、クロロフィルaのコンター図を作成し、比較した。
- (4) 有機汚濁等の実態を把握するために、COD、クロロフィルa、溶存態オルトリン酸について離散データの補間を行い、コンター図を作成し、季節変化を比較した。

採水地点及び測定項目

a 採水地点

富山湾沿岸海域 5 地点と沖合 4 地点でそれぞれ採水を行った。採水地点の名称は、「1 . 滑川沿岸」、「2 . 滑川沖」、「3 . 神通川沿岸」、「4 . 神通川沖」、「5 . 神通川沖」、「6 . 新湊沿岸」、「7 . 新湊沖」、「8 . 小矢部川沿岸」、「9 . 氷見沿岸」である。氷見沿岸と滑川沿岸は 1999 年 4 月から混合水 (0.5 m + 2 m) について調査を行っている。「庄川河口」などでも調査を行った。

b 採水と試料の処理

表層水を試料とした。これらの試料は採水後、クーラーボックスに入れて研究室に持ち帰って測定した。なお、試料水は、富山高等専門学校実習艇「さざなみ」にて採取した。

2009 年 4 月～2010 年 3 月まで毎月採水することができた。2009 年 5 月 (St. 2, 4, 5, 7, 8, 9 欠測)、9 月 (St. 2, 4, 5, 7, 8, 9 欠測)、12 月 (St. 2, 5 欠測)、2010 年 1 月 (St. 4, 5, 7, 8, 9 欠測)、2 月 (St. 4 欠測) は悪天候などのため、一部採取できない地点があった。

c 測定項目

現場で気温、水温、pH、水色を測定した。研究室において、形態別リン (全リン、懸濁態リン、懸濁態オルトリン酸、溶存態有機リン、溶存態オルトリン酸)、形態別 COD_{Mn} (溶存態 COD : $D-COD$ 、懸濁態 COD : $P-COD$)、溶存態ケイ酸、クロロフィル a、全窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、塩化物イオンを測定した。

d 分析方法

分析方法は次の通りである。

・形態別リンの分別定量：試料水を、ろ過の有無、ペルオキソ二硫酸カリウムによる酸化分解 (JIS) の有無により、4 種類に分け (図 4 (3) 1) それぞれの試料水を、当研究室で開発したモリブデンプール / 膜捕集濃縮法に基づき、2-メトキシエタノールに溶解し 10 倍濃縮した後、吸光度を測定した。

以下の計算に従い、形態別にリンの濃度を求めた。

溶存態オルトリン酸

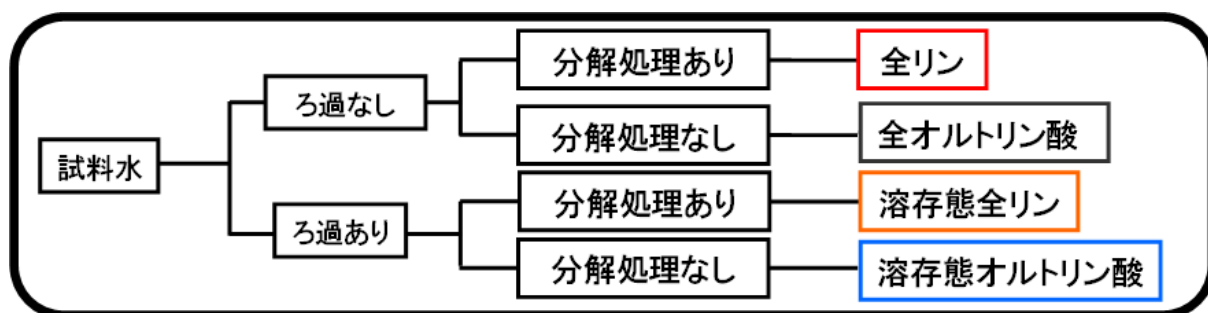
溶存態有機リン = 溶存態全リン - 溶存態オルトリン酸

懸濁態オルトリン酸 = 溶存態 + 懸濁態オルトリン酸 - 溶存態オルトリン酸

懸濁態リン

= 全リン - (溶存態オルトリン酸 + 溶存態有機リン + 懸濁態オルトリン酸)

全リン



ろ過：0.45 μm のセルロース混合エステル製メンブランフィルターを用いて行った
 分解処理：ペルオキシ二硫酸カリウムを加えてオートクレーブ120℃、30分で加熱分解を行った

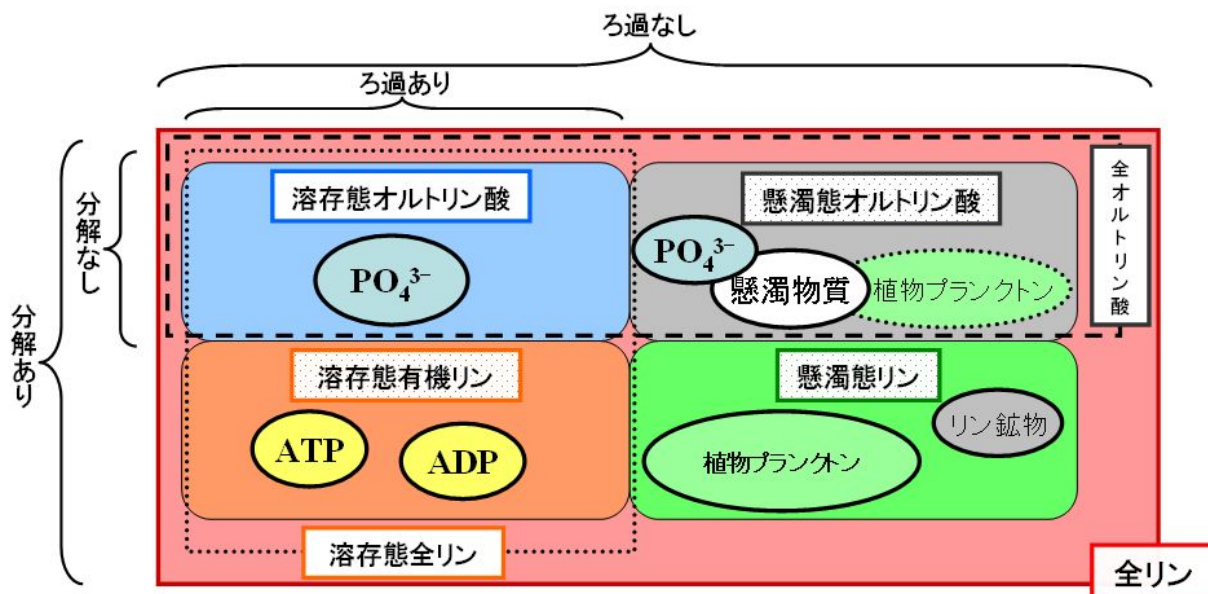


図4(3)1 形態別リンの分別法

・形態別CODの測定： 試料水をろ過の有無により分け、100 における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量（COD_{Mn}）を測定した。

懸濁態COD(P-COD) = COD(ろ過なし) - 溶存態COD(D-COD)(ろ過あり)

・ケイ酸の定量： ケイ酸は、工業試験法に基づき、モリブデン青法を用い、810 nm における吸光度を測定した。

・クロロフィルaの測定： 2009年3月～2010年3月はアセトン抽出による吸光光度法(「水の分析」、「上水試験方法」参照)により測定した。

・硝酸態窒素・亜硝酸態窒素の定量： 硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、臭化物イオンの定量は松永らの報告(文献5)に基づき、陰イオン交換クロマトグラフ - UV検出法により同

時に測定した。亜硝酸態窒素はいずれの地点においても検出限界(0.1 µg/L)以下であった。

- ・ 全窒素の定量： 工業試験法（文献6）に基づき、ペルオキシ二硫酸カリウム酸化分解処理により硝酸に変え、硝酸イオンとして測定した。

e 内部生産COD

今回測定を行った結果から、植物プランクトンの内部生産によるCODを算出し、内部生産CODの寄与率を算出した。今回、内部生産CODをろ過法によって算出した。

ろ過法

内部生産CODはCODとろ液のCODとの差とする方法

$$\text{内部生産寄与率(\%)} = \frac{\text{P-COD}}{\text{COD}} \times 100$$

f 水色

新しく購入した水色計と、特に Forel 水色計の色調にずれが見られたことから、新しいものと比較して補正した。

結 果

a 植物プランクトンと形態別リンの関係

2009 年 3 月から 2010 年 3 月までのクロロフィル a（植物プランクトンの目安）と全リンの関係を図 4（3）2、懸濁態リンとの関係を図 4（3）3、溶存態オルトリン酸との関係を図 4（3）4 に示す。春季から秋季においてクロロフィル a が増加すると、懸濁態リンが増加する傾向が見られた。春季から秋季において、植物プランクトンがリンを取り込み、増殖し、植物プランクトンに取り込まれた状態の懸濁態リンが増加したためと考えられる。

クロロフィル a と全リンとの間には相関が見られた（ $R^2 = 0.76$ (夏季のみ)）。

クロロフィル a と懸濁態リンとの間には相関が見られた（ $R^2 = 0.79$ (夏季のみ)）。

溶存態オルトリン酸が検出されるのは、クロロフィル a がほとんど検出されないときである。

図 4（3）5 に、氷見沿岸、滑川沿岸における形態別リンの年間変化を示す。概して、氷見沿岸よりも滑川沿岸のほうがリン濃度は高かった。

氷見沿岸、滑川沿岸の両方の地点において、冬季において溶存態オルトリン酸が出てくる。植物プランクトンの増殖が盛んな春季から秋季にかけて、溶存態オルトリン酸は植物プランクトンに取り込まれ、懸濁態リン（植物プランクトンそのもの、その死がいや分解途中のもの）や、溶存態有機リン（植物プランクトンによって合成された ATP や ADP

など)に変化する。冬季には、溶存態オルトリン酸は植物プランクトンに消費されず残ると考えられる。

また、溶存態オルトリン酸は春季から秋季において減少し、秋季から冬季において濃度が増加する季節変化が見られた。また、この年間変化は、1999年から毎年、再現性よく生じている。

懸濁態リンの割合の季節変化を図4(3)6に示す。夏季に懸濁態リンの割合が高いことがわかる。

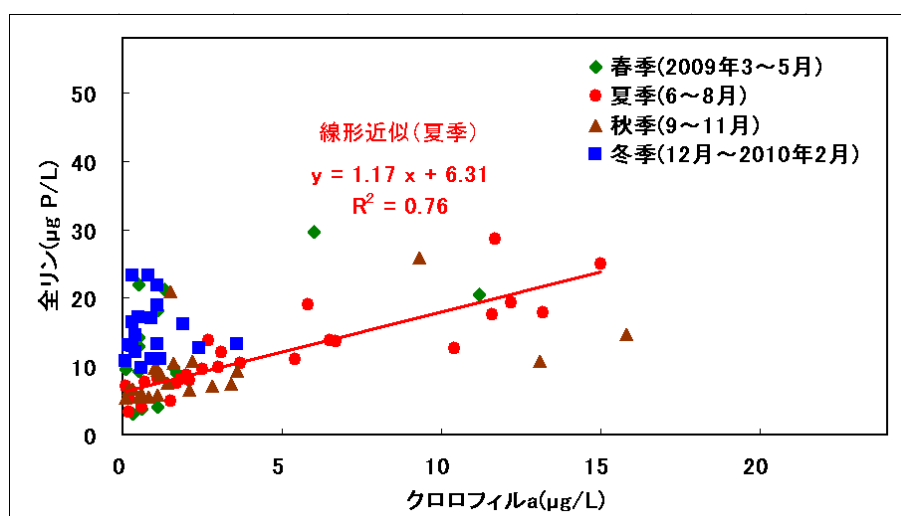


図4(3) 2 クロロフィルaと全リンの関係
(線形近似は夏季のデータのみ使用)

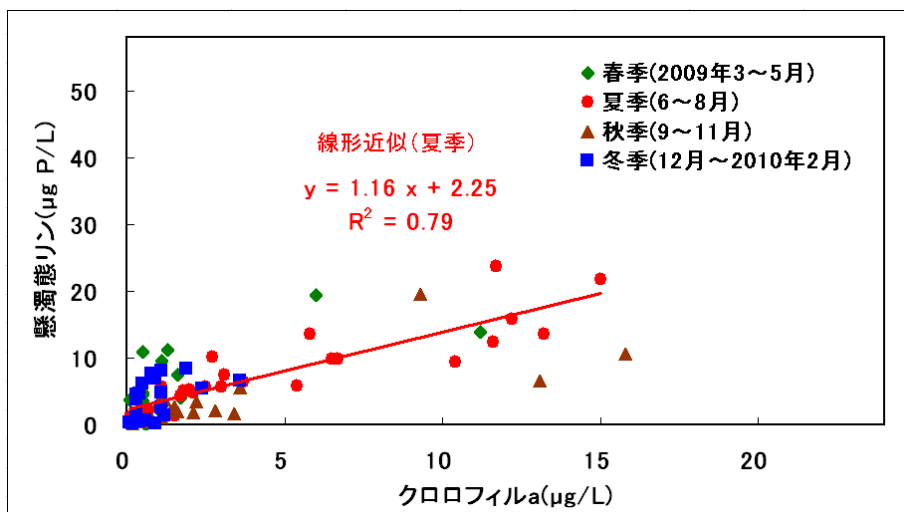


図4(3)3 クロロフィルaと懸濁態リンの関係
 (線形近似は夏季のデータのみ使用)

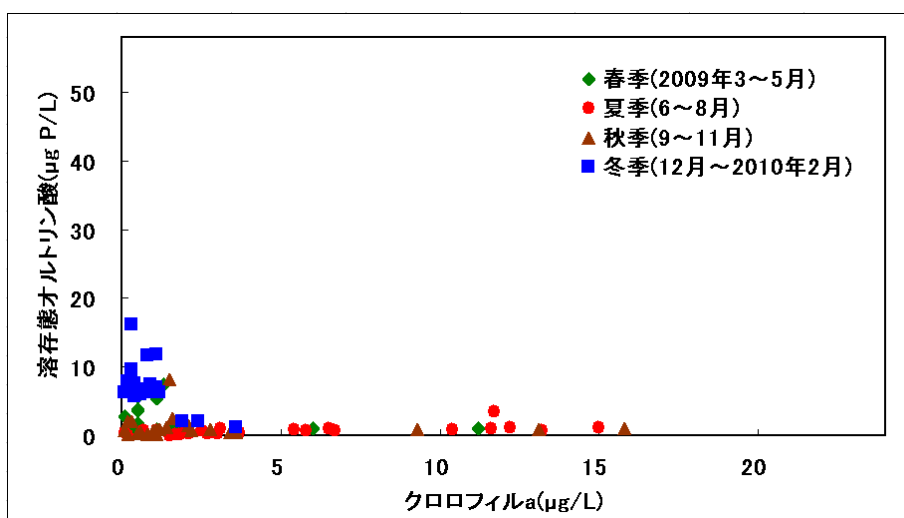


図4(3)4 クロロフィルaと溶存態オルトリン酸の関係

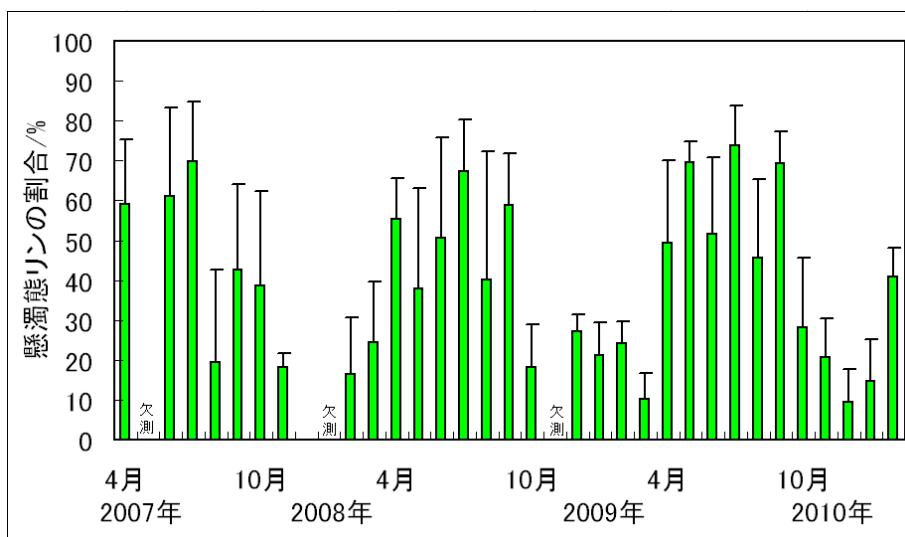


図 4 (3) 6 懸濁態リンの割合の季節変化

b 植物プランクトン（クロロフィルa）とCODの関係

図4(3)7に形態別COD（懸濁態COD(P-COD)、溶存態COD(D-COD)）の経年変化を示す。夏季に2 mg/Lを超えることが多く、その超過分の大部分は懸濁態のCODであることが分かる。2009年5月と2009年9月は波が高く沿岸3地点(St.1, St.3, St.6)しか採水できなかったため、高い値になっていると考えられる。

2009年3月から2010年2月までのクロロフィルaとCOD、P-COD、D-CODの関係を図4(3)8に示す。クロロフィルaとCODとの関係には、秋季に良好な相関($R^2 = 0.80$ (秋季))が、夏季に相関($R^2 = 0.52$ (夏季))が見られた。

クロロフィルaとD-CODの関係にはやや相関が見られたが、クロロフィルaとP-CODの関係には相関が見られなかった。

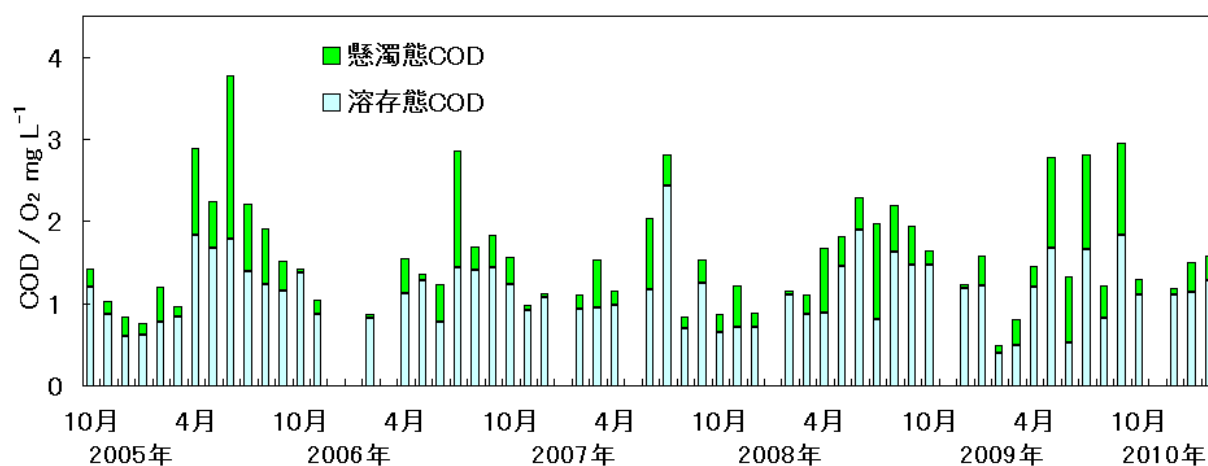


図4(3)7 形態別COD(P-COD、D-COD)の経年変化

2005年12月、2006年1月、3月、2007年5月、2008年1月、2008年11月、2009年11月は欠測。

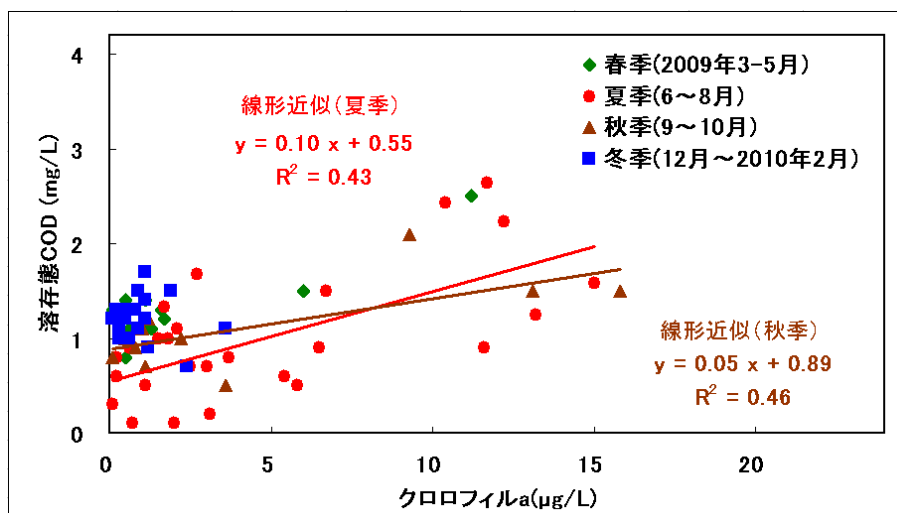
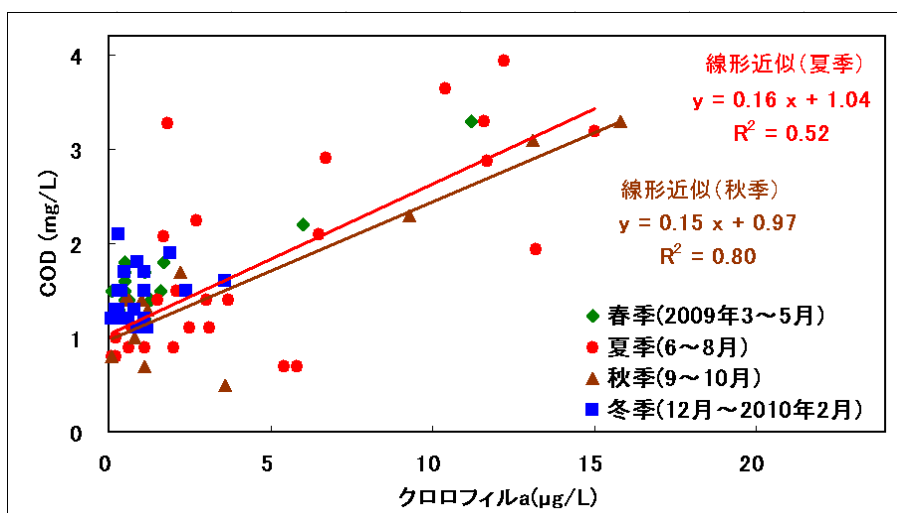
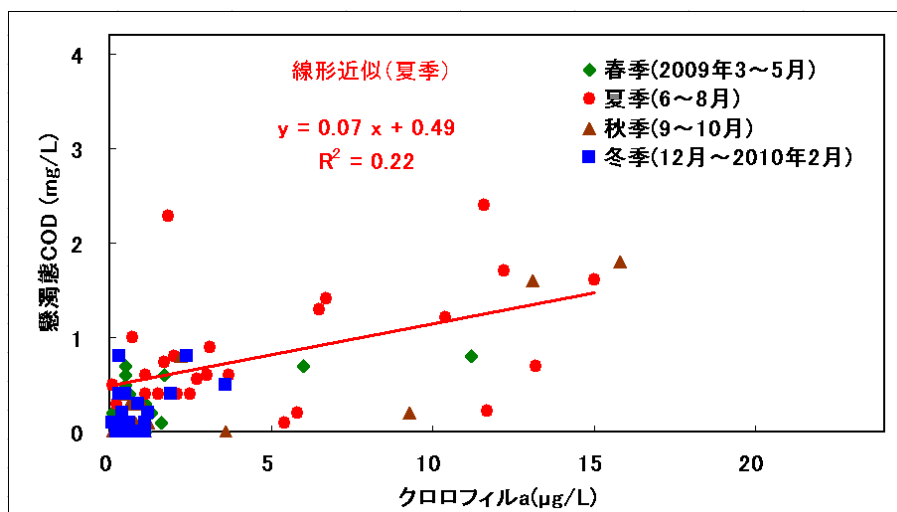


図4(3)8 クロロフィルaとCOD、P-COD、D-CODの関係

c 内部生産C O Dの寄与率

2004年10月～2010年2月における各月ごとの内部生産C O Dの寄与率を図4(3)9に示す。夏季において内部生産C O Dの寄与率が大きくなった。2005年4月～8月、2006年7月以外は、 $P-COD < 0.5$ であることから、データの信頼性は低い。クロロフィルaの濃度が夏季において高くなったことから、内部生産C O Dの寄与率も夏季において高くなったと考えられる。

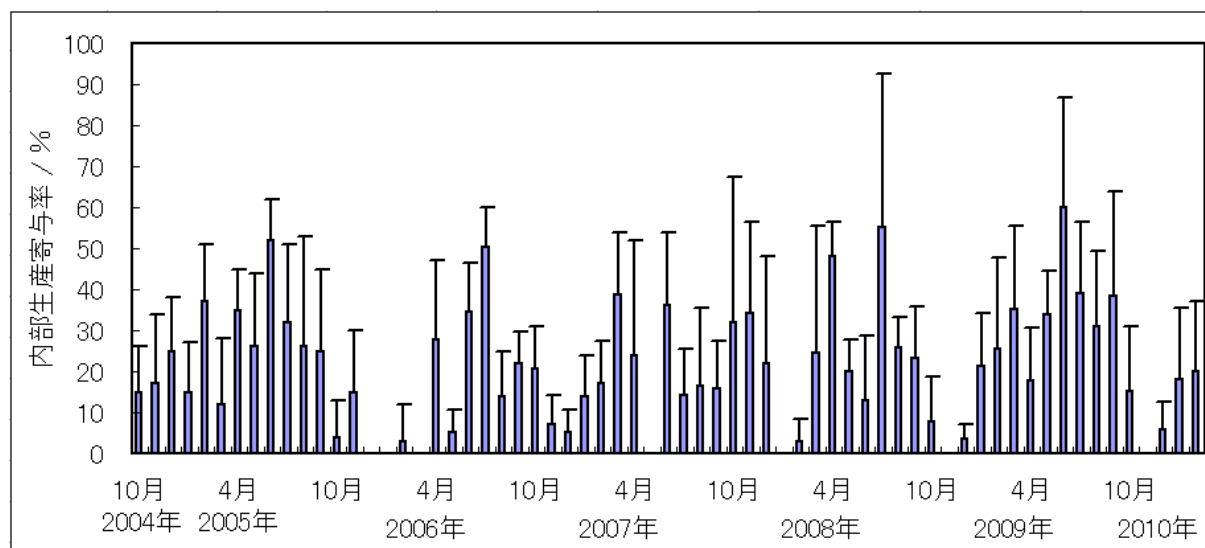


図4(3)9 2004年10月～2010年2月における内部生産C O Dの寄与率(%)

誤差棒は標準偏差で、正方向のみ示す。2005年12月、2006年1月、3月、2007年5月、2008年1月、2008年11月、2009年11月は欠測。2006年8月1日は2006年7月31日と共に7月分として、2006年12月6日は11月分として、2007年3月2日は2月分、2007年10月1日を9月28日と合わせて9月分として扱った。

d．クロロフィル a 濃度と衛星クロロフィル a 濃度との比較

衛星データと比較するため、離散データをバイリニア補間計算により補間し、コンター図（ソフトウェア「Gsharp」、日本電子計算株式会社）を作成し、クロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像（NPFC ホームページ、http://www.npec.or.jp/8_watch/wc-tp.html、海のカレンダー）と比較した。衛星画像と一両日中に得られた実測データから作成したコンター図を比較した。なお、採水地点（滑川沿岸、滑川沖、神通川沿岸、神通川沖 1、神通川沖 2、新湊沿岸、新湊沖、小矢部川沿岸、氷見沿岸の 9 地点、小矢部川河口 3 地点）をコンター図上に○で示した。また、コンター図の凡例の色調は衛星画像に合わせた。なお、採水地点が少なくコンター図の描けない月は比較していない。衛星画像名の末尾が数字のものは JAXA、A は NASA の AQUA、T は NASA の TERRA である。

2009 年 4 月 29 日、5 月 1 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像（JAXA）と 2009 年 4 月 30 日のクロロフィル a 濃度（実測）のコンター図は、いずれも湾中央部（北）にクロロフィル a 濃度（海色）の低いところが見られる。（図 4（3）1 0）

2009 年 6 月 25 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像と 2009 年 6 月 26 日のクロロフィル a 濃度（実測）のコンター図は、いずれも湾中央部が低く、湾南東部にクロロフィル a 濃度（海色）の濃いところが見られる。（図 4（3）1 1）

2009 年 10 月 29 日と 10 月 31 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像と 2009 年 10 月 30 日のクロロフィル a 濃度（実測）のコンター図は、いずれも湾北西部にクロロフィル a 濃度（海色）の低いところが見られる。（図 4（3）1 2）

2009 年 12 月 25 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像と同日のクロロフィル a 濃度（実測）のコンター図は、色調がほぼ一致している。（実測データが少ない。）（図 4（3）1 3）

2010 年 2 月 24 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像（MCHLA-T_201002240158）は、2010 年 2 月 25 日のクロロフィル a 濃度（実測）と概ね一致している。（図 4（3）1 4）

2009 年 8 月 26 日のクロロフィル a 濃度（海色）の衛星画像と同日のクロロフィル a 濃度（実測）は、湾沿岸部はクロロフィル a 濃度（海色）がやや高く、沖の濃度は低いという点では一致するものの、色調（濃度）がかなり違っており、衛星画像のクロロフィル a 濃度がかなり低い結果となっている（図 4（3）1 5）。これは、対馬暖流が富山湾に入り込み、透明度が高かったせいではないかと考える。湾 9 地点の透明度は、2009 年 4 月 30 日が 3～13 m、6 月 26 日が 2～18 m、8 月 26 日が 12～35 m、10 月 30 日が 7～16 m、12 月 25 日が 9～14.5 m、2010 年 2 月 25 日が 8～13 m と 8 月が群を抜いて透明度が高い。黄海など濁度の高い所では衛星データが高めになるといわれている。今回逆に非常に濁度が低く透明度の高い場合、実測に比べ、衛星データが過小になっているのではないかと考えられる。

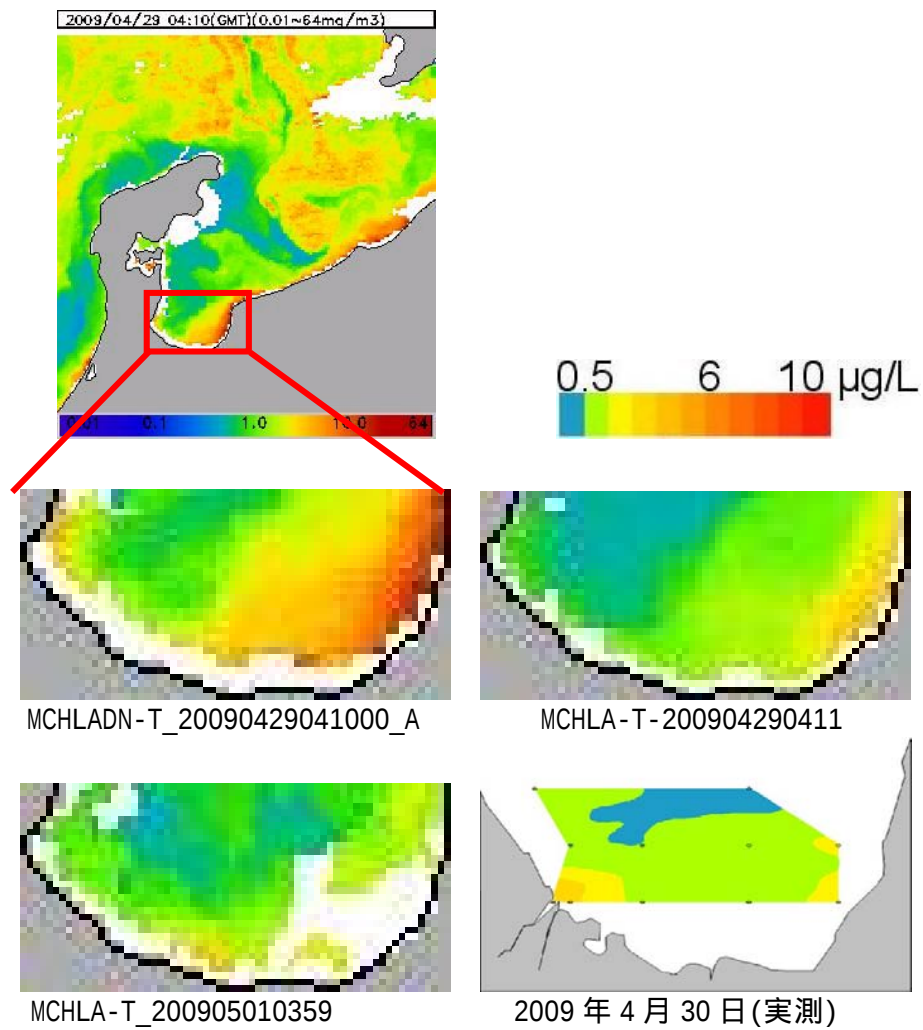


図 4 (3) 1 0 2009 年 4 月 29 日と 2009 年 5 月 1 日のクロロフィル a 濃度(海色)の衛星画像 (左、右中) と 2009 年 4 月 30 日のクロロフィル a 濃度(実測)のコンター図 (右下)

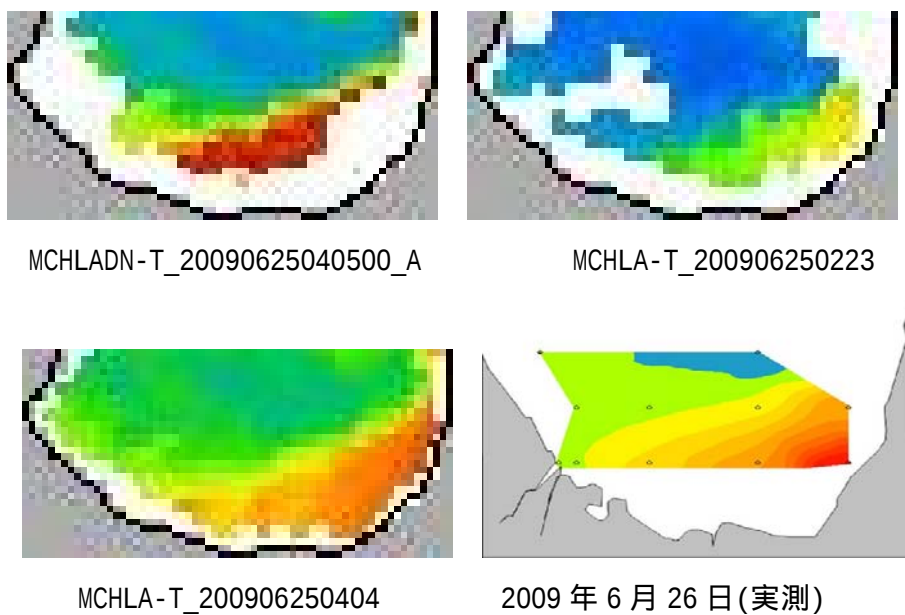


図4(3)1 1 2009年6月25日のクロロフィルa濃度(海色)の衛星画像(上、左下)と2009年6月26日のクロロフィルa濃度(実測)のコンター図(右下)

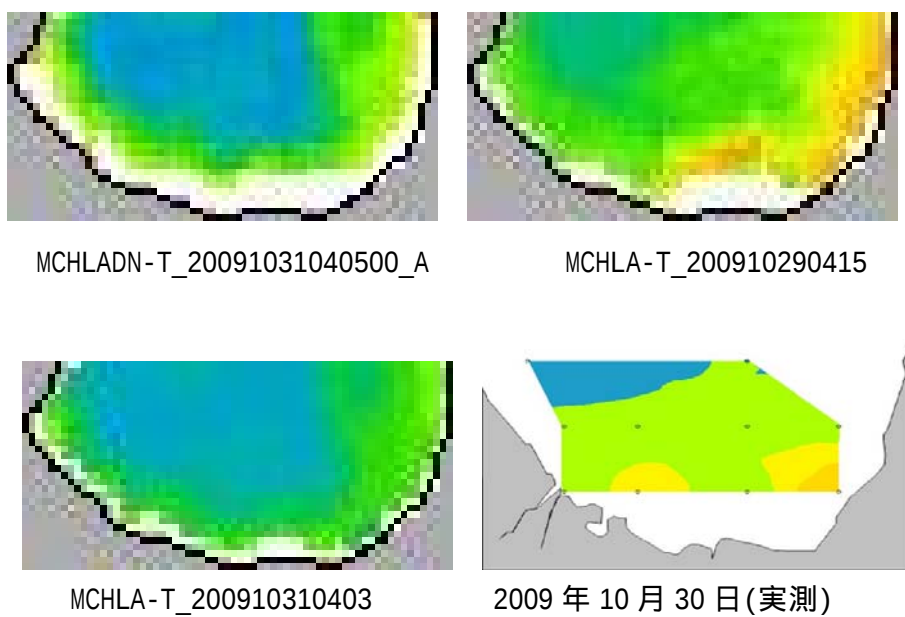


図4(3)1 2 クロロフィルa濃度(海色)の衛星画像、2009年10月29日、2009年10月31日(上、左下)と2009年10月30日のクロロフィルa濃度(実測)のコンター図(右下)

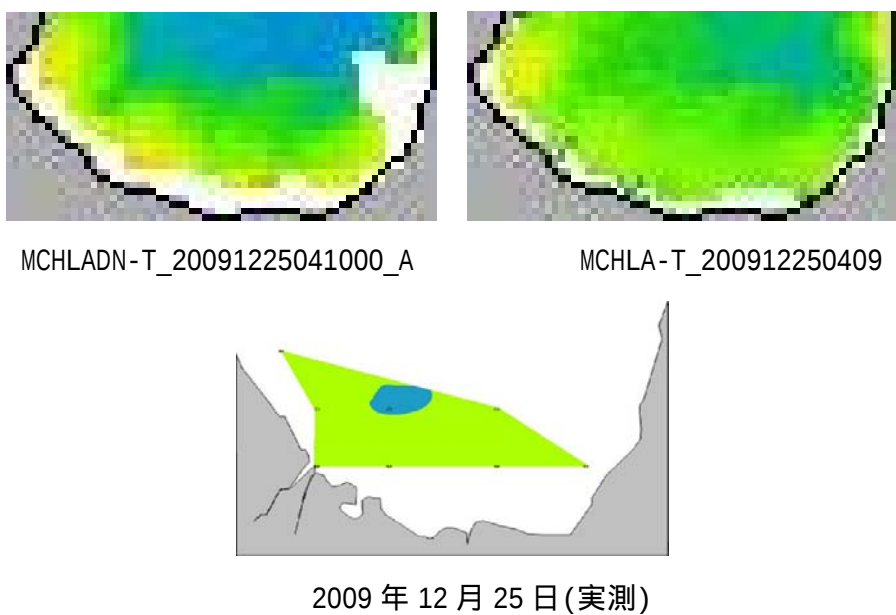


図 4 (3) 1 3 2009 年 12 月 25 日のクロロフィル a 濃度(海色)の衛星画像(上)と同日
(2009 年 12 月 25 日)のクロロフィル a 濃度(実測)のコンター図(下)

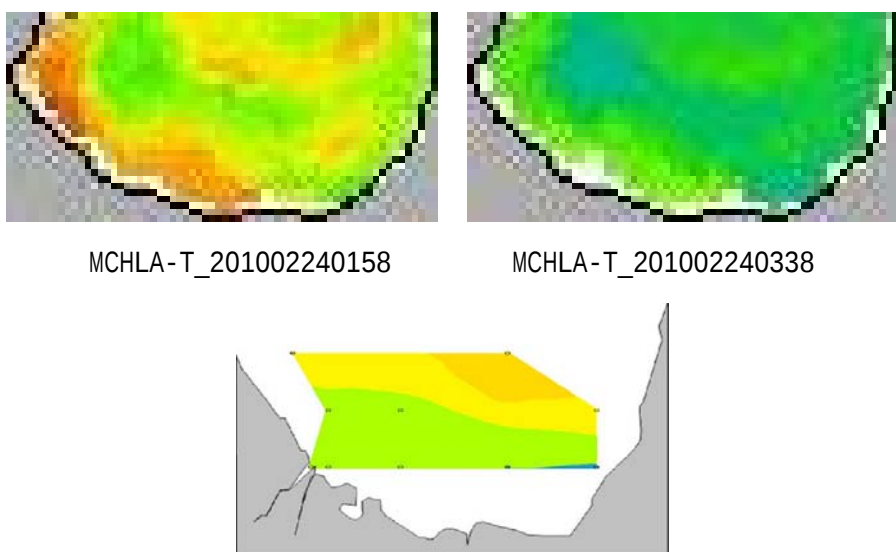


図 4 (3) 1 4 2010 年 2 月 24 日のクロロフィル a 濃度(海色)の衛星画像(上)と翌日
(2010 年 2 月 25 日)のクロロフィル a 濃度(実測)のコンター図(下)

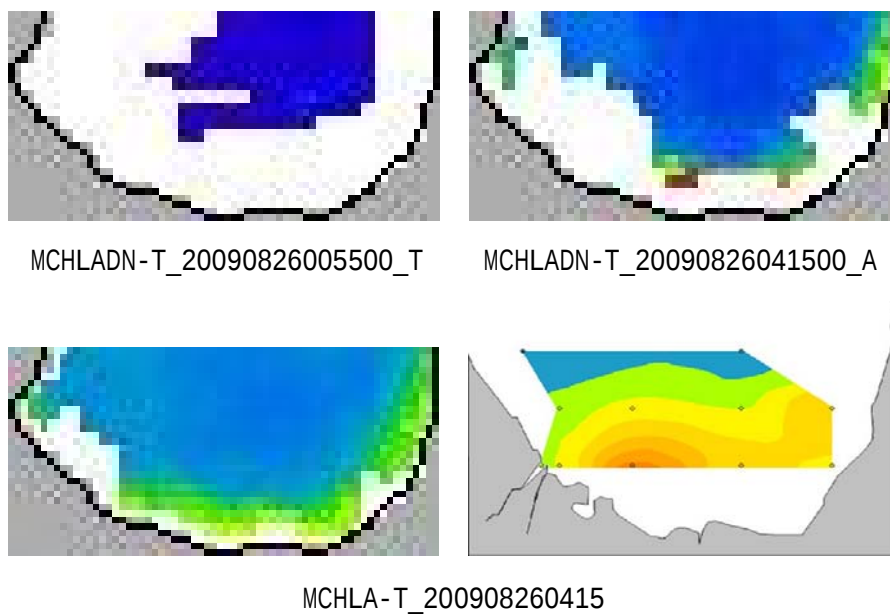


図 4 (3) 1 5 2009 年 8 月 26 日のクロロフィル a 濃度(海色)の衛星画像(上、左下)と同日 (2009 年 8 月 26 日) のクロロフィル a 濃度(実測)のコンター図 (右下)

e . C O D、クロロフィル a、溶存態オ尔特リン酸の季節变化

有機汚濁等の実態を把握するために、C O D、クロロフィル a、溶存態オ尔特リン酸の離散データをバイリニア補間計算により補間し、各月ごとにコンター図（ソフトウェア「Gsharp」、日本電子計算株式会社）を作成し、季節变化を比較した。（図 4（3）1 6、図 4（3）1 7、図 4（3）1 8）

夏季には、沿岸部に、C O D 値、クロロフィル a 値の高いところが見られ、冬季には、沿岸部に溶存態オ尔特リン酸濃度の高いところが見られた。

このことから、沿岸部から、溶存態オ尔特リン酸の供給があり、これを栄養塩として植物プランクトンが増殖し、内部生産により C O D 値が増加したと考えられる。

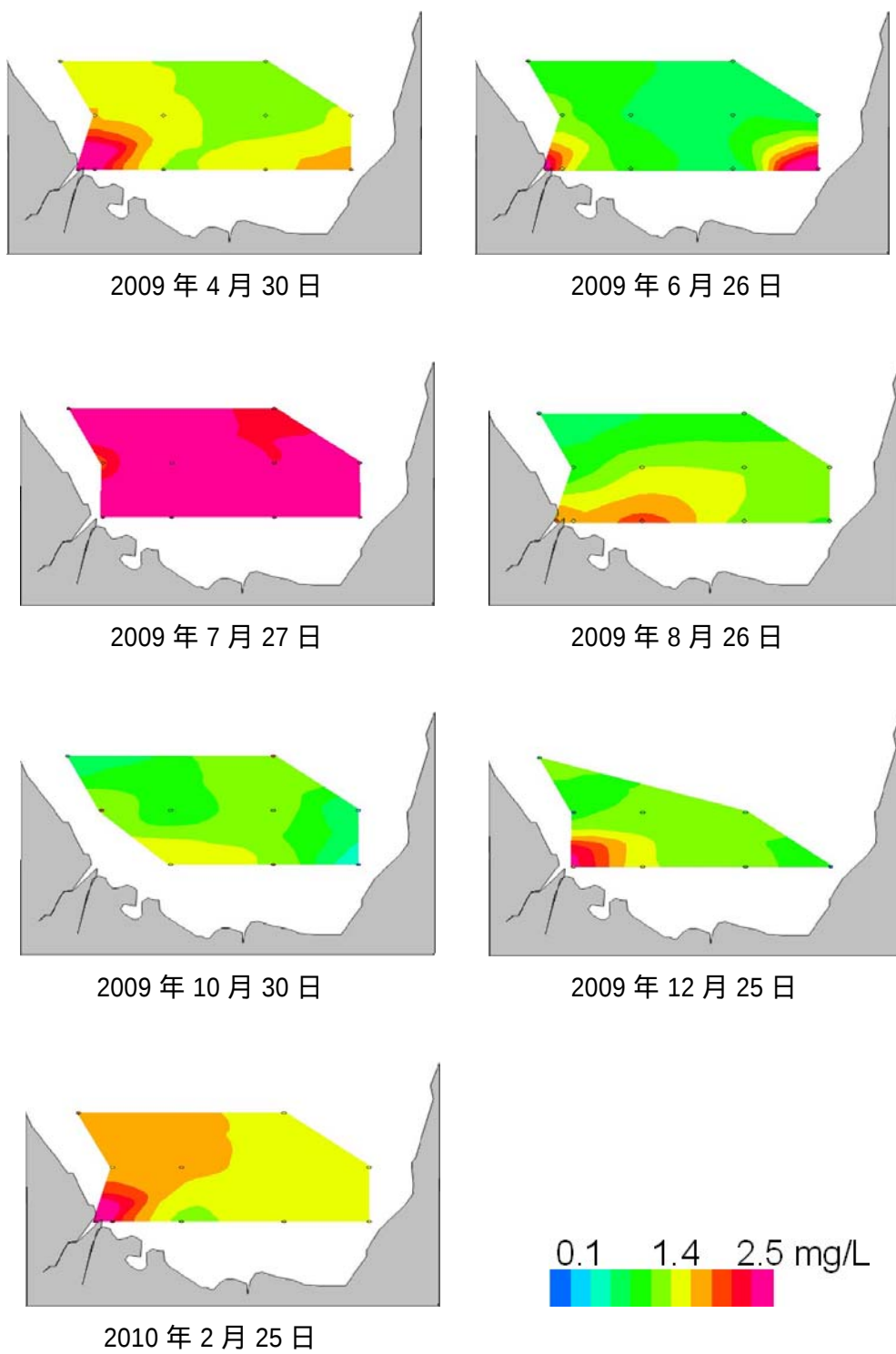


図 4 (3) 1 6 C O D のコンター図(2009 年 4 月 ~ 2010 年 2 月) (データ補間)

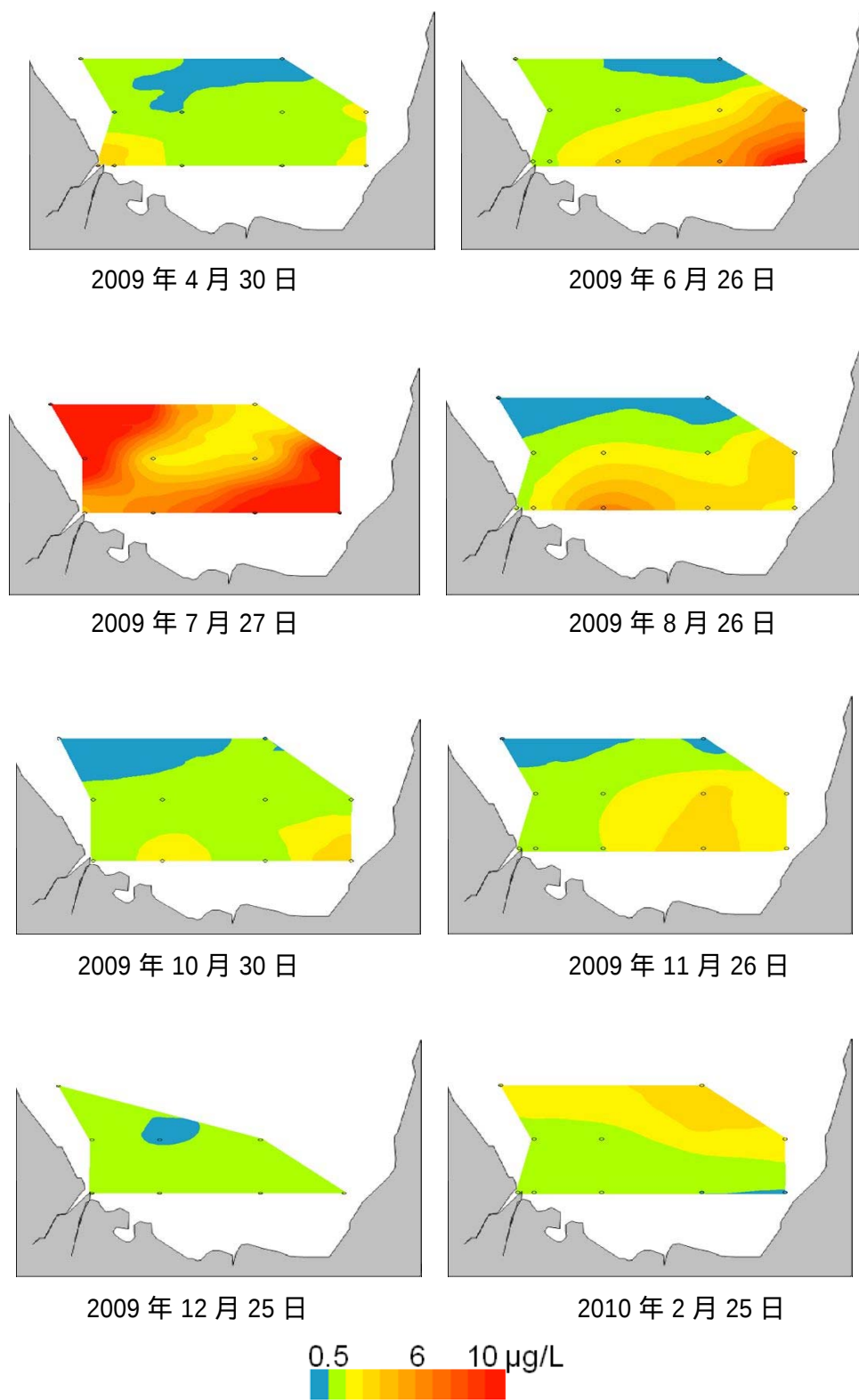


図 4 (3) 1 7 クロロフィル a のコンター図(2009 年 4 月 ~ 2010 年 2 月)(データ補間)

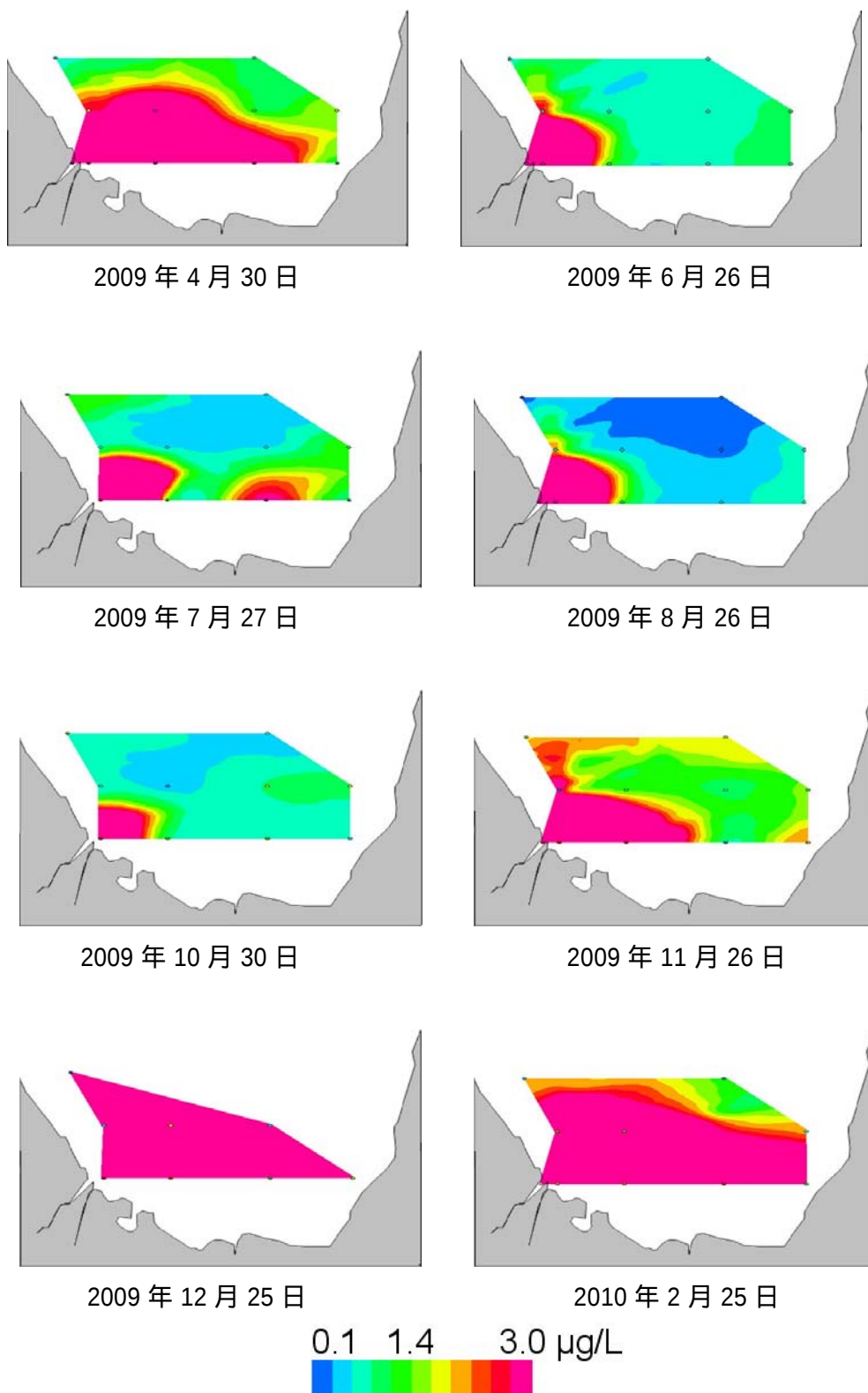


図 4 (3) 18 溶存態オルトリン酸のコンター図(2009 年 4 月 ~ 2010 年 2 月) (データ補間)

まとめ

近年、富山湾沿岸海域において、水質汚濁の指標であるCODの値が増加し、水質の悪化が問題となっている。これまで、植物プランクトンによる内部生産の影響に注目し、植物プランクトンの増殖に影響を与えるリンを形態別に測定した。その結果、植物プランクトンに最も取り込まれやすい、溶存態オルトリン酸が植物プランクトンの増殖する夏季から秋季において減少し、植物プランクトンの増殖が低下する秋季から冬季において増加した。植物プランクトンの増殖にリンが影響していることを明らかにした。内部生産CODの寄与率を算出した。

クロロフィルaとCODの相関が高いことから、衛星データからCOD値を推定することができる可能性が高いと考えられる。しかも、季節的にクロロフィルaの高くなる時期(夏季)に有効であると考えられる。

富山湾沿岸海域の形態別リンは、植物プランクトンが増殖する夏季から秋季において、溶存態オルトリン酸の濃度が減少し、懸濁態リンと溶存態有機リンの濃度が増加する傾向が見られた。また、植物プランクトンが減少する秋季から冬季において溶存態オルトリン酸が増加し、懸濁態リンと溶存態有機リンの濃度が減少する季節変化が見られた。溶存態オルトリン酸の季節変化は1999年から2009年まで再現性があった。

また、植物プランクトンの内部生産CODの寄与率を求めたところ、昨年と同様、夏季において寄与率が高くなった。

衛星データとの対応を、コンター図を作成して検討したところ、2009年4月29日と5月1日、6月25日、10月29日と31日、12月25日、2010年2月24日のクロロフィルa濃度(海色)の衛星画像は、2009年4月30日、6月26日、10月30日、12月25日、2010年2月25日の採水試料を測定して得られたクロロフィルaとよく対応していた。しかし、2009年8月26日のクロロフィルa濃度(海色)の衛星画像は同日のクロロフィルa濃度(実測)よりも、クロロフィルa濃度がかなり低くなっている。これは透明度が非常に高かったせいではないかと考えられる。濁度が高い場合に過大な結果を示すのとは逆に、透明度が非常に高い場合(透明度35m)、実測に比べ、衛星データは過小な値を示すのではないかと考える。概して、衛星データは実測データとよく一致しているが、濁度が高い場合ばかりでなく、透明度が高い場合にも注意が必要である。

COD、溶存態オルトリン酸についても同様にコンター図を作成した。夏季には、沿岸部、特に湾南西部に、COD値やクロロフィルa値の高いところが見られ、冬季には、湾南西部に、溶存態オルトリン酸濃度の高いところが見られた。このことから、湾南西部から、溶存態オルトリン酸の供給があり、これを栄養塩として植物プランクトンが増殖し、内部生産によりCOD値が増加したと考えられる。このようにコンター図作成は、状況の把握に非常に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 富山湾水質保全研究会、「平成 12 年度富山湾水質保全研究会報告書 - 富山湾の水質汚濁について - 」
- 2) 財団法人環日本海環境協力センター,「平成 15 年度環境省委託業務 北西太平洋地域行動計画活動推進事業 報告書」平成 16 年 3 月
- 3) 富山県生活環境部環境保全課,「水質汚濁の現況 (平成 15 年度)」
- 4) 田口茂 外,分析化学, **33**, 453 (1984)
- 5) 松永明信 外,海洋深層水研究, **4**(2), 67 (2003)
- 6) 工業用水試験法, JIS K 0101, p.160 (1991)
- 7) 日本分析化学会北海道支部編,水の分析 第 5 版, 化学同人(2005)

付 記

測定担当

形態別リン	中川和也
(懸濁態リン、懸濁態オルトリン酸、溶存態有機リン、溶存態オルトリン酸)	
COD	起 孝志・田水伸弥・橋本真之介・早川由佳里
形態別窒素	森加奈絵
(全窒素・硝酸・亜硝酸)	
溶存態ケイ酸	池内麻り愛・大浦 渉・廣上永子
クロロフィル a	原 夕貴・松浦杏厘
塩化物	中川和也
一般測定項目(pH など)・ろ過	中川和也・郭 岩・佐澤和人・海津 雄・ 王文セイ 外

富山大学理学部生物圏環境科学科環境化学計測 研究室

波多宣子
倉光英樹
田口 茂

付表 4 (3) 1 平成 21 年度における項各目の測定結果

滑川沿岸 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
① 滑川沿岸(表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴	晴	晴	雨時々曇	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴	雨
	天候当日	晴	晴	晴	晴	雨	晴	曇/雨	晴	曇	曇	雨時々曇	晴	雨
	時刻	10:03	9:50	10:00	9:24	9:28	9:37	9:45	9:57	9:20	9:52	9:32	9:35	10:07
	気温(℃)	7.1	13.8	17	23.4	23.1	21.9	22.3	19	15.1	7.8	5.2	12.7	4.5
	水温(℃)	9.2	14.5	18.2	25.3	24.7	25.6	23	19.8	14.9	11.08	10.8	10.2	7.8
	pH	8.15	8.21	7.8	8.53	8.36	8.11	8.8	8.26	8.15	7.89	8.51	8.19	8.6
	COD(mg/L)	1	2	2	3	4	1	3	1	－	1	2	2	1
	D-COD(mg/L)	1	1	2	1	2	1	2	1	－	1	1	1	1
	P-COD(mg/L)	<1	1	1	2	1	<1	2	<1	－	<1	<1	<1	<1
	クロロフィル a(μg/L)	1	2	6	12	10	3	16	4	2	1	<1	<1	1
	ケイ酸(mg/L)	3.8	3.5	4.6	0.2	0.8	1.2	1.5	0.2	0.4	3.5	0.8	4.3	6.2
	塩化物(g/L)	12	11	11	14	13	16	14	17	17	14	16	12	8
	全リン(μg/L)	13	9	30	18	13	10	15	9	10	11	13	15	14
	懸濁態リン(μg/L)	4	4	19	12	9	6	11	6	2	<1	2	5	2
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	1	2	4	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	2
	溶存態有機リン(μg/L)	5	2	5	4	2	3	3	3	6	3	1	4	4
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	4	1	1	1	1	1	1	1	2	7	10	6	6
	全窒素(mg N/L)	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.2	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.02
	水色(補正)	9	7	6	12	9	7	13	6	7	6	6	6	5
	電気導電率(S/m)	3.68	3.51	3.56	3.81	3.92	4.69	4.27	4.83	4.21	4	4.99	3.94	2.93

滑川沿岸 0.5 m + 2 m 混合

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
① 滑川沿岸(0.5 + 2 m 混合)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴	晴	晴	雨時々曇	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴	雨
	天候当日	晴	晴	晴	晴	雨	晴	曇/雨	晴	曇	曇	雨時々曇	晴	雨
	時刻	10:03	9:50	10:00	9:24	9:28	9:37	9:45	9:57	9:20	9:52	9:32	9:35	10:07
	気温(℃)													4.5
	水温(℃)	9.5	13.8	17.3	23.7	24.2	24.7	23	20.2	15.3	11.12		10.1	8.1
	pH	8.12	8.17	8.06	8.39	8.32	8.19	8.47	8.35	8.28	8.06	8.42	8.25	8.33
	COD(mg/L)	2	1	1	3	2	1	3	2	－	1	2	1	2
	D-COD(mg/L)	1	1	<1	1	1	1	2	2	－	1	1	1	2
	P-COD(mg/L)	1	<1	1	2	1	<1	1	<1	－	<1	1	<1	<1
	クロロフィル a(μg/L)	1	2	1	6	6	2	15	3	3	1	<1	1	2
	ケイ酸(mg/L)	1.5	2.7	0.5	0.2	0.5	1.1	1.2	0.1	2.2	2.7	1	1.9	4.0
	塩化物(g/L)	15	13	17	14	15	16	14	17	15	14	16	15	11
	全リン(μg/L)	13	8	9	15	11	10	13	10	8	12	12	13	15
	懸濁態リン(μg/L)	5	6	3	12	8	6	8	5	2	<1	2	4	5
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	溶存態有機リン(μg/L)	5	2	6	2	3	3	4	5	5	6	1	5	6
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	3	1	<1	1	<1	1	1	<1	1	6	9	5	4
	全窒素(mg N/L)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.03
	水色(補正)													
	電気導電率(S/m)	4.7	3.74	4.97	4.38	4.48	4.73	4.35	4.89	4.49	4.33	5.02	4.68	3.66

付表 4 (3) 2 平成 21 年度における各項目の測定結果

滑川沖 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
② 滑川沖(表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	晴	晴	晴	晴	雨時々曇	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴	雨
	天候当日	晴	晴	晴	晴	雨	晴	晴	晴	曇	曇	雨時々曇	晴	雨
	時刻	10:02	9:38	9:43	9:50	10:13	9:35	9:47	9:50	10:15				
	気温(℃)	14.2	23.9	22.7	22.5	20.5	13	4.8	13.2	4				
	水温(℃)	15.1	23	24.2	24.6	20	16.2	10.5	10.7	6.9				
	pH	8.15	8.28	8.63	8.17	8.07	8.12	8.32	8.39	8.42				
	COD(mg/L)	2	1	4	1	1	1	1	2	2				
	D-COD(mg/L)	1	1	2	1	1	1	1	1	2				
	P-COD(mg/L)	<1	<1	2	1	<1	1	<1	1	<1				
	クロロフィル a(μg/L)	2	5	12	4	1	2	<1	2	<1				
	ケイ酸(mg/L)	2.3	0.3	1.9	3.7	0.6	1.6	0.6	1.4	4.4				
	塩化物(g/L)	14	15	10	13	17	16	17	16	7				
	全リン(μg/L)	10	11	19	11	10	7	16	13	18				
	懸濁態リン(μg/L)	7	6	16	6	4	2	5	5	3				
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2				
	溶存態有機リン(μg/L)	1	4	2	4	5	3	3	5	6				
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	2	1	1	1	1	1	9	2	7				
	全窒素(mg N/L)	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.6				
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
	臭化物(g/L)	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03				
	水色(補正)	8	8	10	7~8	6	7	6	7	6				
	電気導電率(S/m)	3.91	4.68	3.3	4.22	4.84	4.66	5.11	4.81	2.58				

付表 4 (3) 3 平成 21 年度における各項目の測定結果

神通川沿岸 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
③ 神通川沿岸	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴	晴	晴	雨時々曇	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴	雨
	天候当日	晴	晴	晴	晴	雨	晴	曇/雨	晴	曇	曇	雨時々曇	晴	雨
	時刻	9:48	9:25	9:35	9:10	9:05	9:15	9:23	9:37	9:02	9:30	9:12	9:13	9:40
	気温(℃)	7.5	13.1	16.5	23.5	22.8	22.8	24	19.4	12	6.8	5.5	12.4	4
	水温(℃)	9.6	14.9	18	22.4	22.4	25.2	23.2	19.6	15.6	11.1	10.8	10.2	5.5
	pH	7.97	7.99	7.82	8.25	8.04	8.2	8.36	8.2	8.03	7.69	8.98	8.1	8.3
	COD(mg/L)	2	2	3	1	3	1	3	1	1	1	1	2	1
	D-COD(mg/L)	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1
	P-COD(mg/L)	1	<1	1	<1	<1	1	2	<1	1	<1	<1	<1	<1
	クロロフィル a(μg/L)	1	1	11	6	12	3	13	1	3	1	<1	1	1.4
	ケイ酸(mg/L)	4.1	4.3	7.8	1.8	5.9	2.1	0.7	2.7	3	2.7	1.3	4.1	6.9
	塩化物(g/L)	11	11	6	14	7	15	15	14	14	14	15	13	7
	全リン(μg/L)	14	18	21	19	29	10	11	10	7	13	13	17	21
	懸濁態リン(μg/L)	5	10	14	14	24	6	7	3	2	3	<1	6	8
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	1	2	2	1	1	<1	1	<1	1	<1	<1	<1	2
	溶存態有機リン(μg/L)	3	2	4	4	1	4	2	6	5	3	5	4	4
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	6	5	1	1	4	<1	1	1	1	7	8	7	7
	全窒素(mg N/L)	0.3	0.3	0.8	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.7	0.5
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03
	水色(補正)	6	8	7	11	13	7	10	6	8	5	5	7	5
	電気導電率(S/m)	3.49	3.04	2.87	4.25	2.55	4.77	4.48	4.4	4.53	4.12	4.71	4.09	2.67

付表 4 (3) 4 平成 21 年度における各項目の測定結果

神通川沖 1 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
④ 神通川沖 1 (表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日		晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴			雨
	天候当日		晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇			雨
	時刻		10:43		10:16	10:15	10:26		10:51	10:12	10:12			10:35
	気温(℃)		14.7		25.5	22.2	23.1		19.7	13	7.8			3.3
	水温(℃)		14.6		22.7	23.7	25.5		20	16.9	11.35			7.7
	pH		8.21		8.21	8.03	8.21		8.21	8.01	8.19			8.18
	COD(mg/L)		1		1	2	1		1	-	1			1
	D-COD(mg/L)		1		<1	2	1		1	-	1			1
	P-COD(mg/L)		<1		1	1	<1		<1	-	<1			<1
	クロロフィル a(μg/L)		1		2	3	2		1	3	<1			1
	ケイ酸(mg/L)		0.5		0.1	2.2	0.7		0.4	1.1	1.5			6.1
	塩化物(g/L)		17		17	13	17		17	17	16			6
	全リン(μg/L)		4		9	14	5		9	7	11			21
	懸濁態リン(μg/L)		2		5	10	1		4	2	<1			7
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)		<1		<1	1	<1		<1	<1	<1			1
	溶存態有機リン(μg/L)		1		3	3	4		4	4	4			3
	溶存態オルトリン酸(μg/L)		1		1	<1	<1		1	1	6			9
	全窒素(mg N/L)		0.1		0.2	0.2	0.2		0.1	0.3	0.4			0.5
	硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1			0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1			<0.1
	臭化物(g/L)		0.06		0.06	0.05	0.05		0.06	0.06	0.06			0.03
	水色(補正)		8		5.5	8	5		5	7	3			4
	電気導電率(S/m)		4.55		4.75	4.15	4.87		4.93	4.74	4.75			2.42

付表 4 (3) 5 平成 21 年度における各項目の測定結果

神通川沖 2 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑤ 神通川沖 2 (表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日		晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴			晴	
	天候当日		晴		晴	雨	晴		晴	曇			晴	
	時刻		10:23		10:03	10:03	10:12		10:35	10:00			10:13	
	気温(℃)		14.6		23.8	22.6	24.6		19.1	12.9			12.4	
	水温(℃)		14.7		22.6	23.7	25.7		20	17.5			11.2	
	pH		8.16		8.12	8.06	8.13		8.27	8.05			8.38	
	COD(mg/L)		1		1	2	1		1	-			2	
	D-COD(mg/L)		1		<1	1	1		1	-			1	
	P-COD(mg/L)		<1		1	1	<1		<1	-			1	
	クロロフィル a(μg/L)		<1		<1	2	<1		1	<1			4	
	ケイ酸(mg/L)		0.2		0.1	0.8	0.2		0.3	0.3			0.7	
	塩化物(g/L)		17		17	15	18		18	18			17	
	全リン(μg/L)		3		7	8	3		6	7			13	
	懸濁態リン(μg/L)		2		1	4	1		<1	2			7	
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)		<1		1	<1	<1		<1	<1			<1	
	溶存態有機リン(μg/L)		<1		5	3	2		5	3			6	
	溶存態オルトリン酸(μg/L)		1		1	<1	<1		<1	2			1	
	全窒素(mg N/L)		0.1		0.2	0.2	0.2		0.1	0.1			0.3	
	硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1			<0.1	
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1			<0.1	
	臭化物(g/L)		0.06		0.06	0.05	0.05		0.06	0.03			0.05	
	水色(補正)		6		4	6	4		5	5			6	
	電気導電率(S/m)		4.68		5.12	4.43	4.99		4.98	5.04			5.07	

付表 4 (3) 6 平成 21 年度における各項目の測定結果

新湊沿岸 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑥ 新湊沿岸(表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴	晴	晴	雨時々曇	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴	雨
	天候当日	晴	晴	晴	晴	雨	晴	曇/雨	晴	曇	曇	雨時々曇	晴	雨
	時刻	9:18	9:00	9:10	8:48	8:43	8:52	8:49	9:12	8:43	9:12	8:47	8:50	9:20
	気温(℃)	8.3	15.8	17.1	24.2	22.5	23	23.6	18.5	13.5	6.5	5.4	10.8	3
	水温(℃)	10.03	14.6	19	23.4	24.7	25.4	23.2	20.2	15.5	11.1	10.4	9.8	6.8
	pH	7.62	8.04	8.67	8.22	8.35	8	8.3	8.15	7.99	6.6	7.66	8.01	7.65
	COD(mg/L)	2	1	4	1	3	2	2	2	-	2	2	1	2
	D-COD(mg/L)	1	1	2	<1	2	1	2	1	-	1	1	1	1
	P-COD(mg/L)	1	<1	2	1	1	1	<1	1	-	<1	1	<1	1
	クロロフィル a(μg/L)	1	1	25	3	7	7	9	2	2	1	<1	1	1
	ケイ酸(mg/L)	2.9	2.1	4.8	<0.1	0.7	1.6	2.8	0.7	1.9	3.6	2.7	5.2	6.3
	塩化物(g/L)	13	14	8	16	14	15	12	17	15	12	13	9	6
	全リン(μg/L)	14	21	40	12	14	14	26	11	21	22	23	23	22
	懸濁態リン(μg/L)	5	11	30	8	10	10	20	3	3	5	4	8	9
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	<1	3	4	<1	<1	1	<1	7	3	3	1	1	3
	溶存態有機リン(μg/L)	4	<1	5	4	3	3	5	7	3	2	3	3	4
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	6	7	1	1	1	1	1	8	12	16	12	12	6
	全窒素(mg N/L)	0.4	0.1	0.6	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.5	0.3	0.8	0.3
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03
	水色(補正)	6	7	8	6	6.5	6	13	7	7	7	7	5	5
	電気導電率(S/m)	4.16	3.96	3.1	4.95	4	4.6	3.74	4.89	4.4	3.88	4.07	3.18	2.32

付表 4 (3) 7 平成 21 年度における各項目の測定結果

新湊沖 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑦ 新湊沖(表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴		晴	雨
	天候当日	晴	晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇		晴	雨
	時刻	10:38	11:05		10:40	10:42	10:48		11:15	10:35	10:35		10:40	11:00
	気温(℃)	8.2	14.8		26.5	22	23.9		20	14	10.9		13.4	5
	水温(℃)	10.1	15.3		23.7	24.1	26		20	17.2	13.8		11.3	7.2
	pH	8.17	8.16		8.18	8.23	8.18		8.25	8.07	8.11		8.17	8.2
	COD(mg/L)	2	2		1	3	2		1	-	1		2	2
	D-COD(mg/L)	1	1		1	1	1		1	-	1		2	2
	P-COD(mg/L)	<1	<1		<1	2	<1		<1	-	<1		<1	<1
	クロロフィル a(μg/L)	<1	1		1	2	2		1	1	<1		1	<1
	ケイ酸(mg/L)	3.3	2.4		0.4	0.4	0.6		0.3	0.8	2		3.1	4.8
	塩化物(g/L)	11	14		17	15	17		17	17	16		14	6
	全リン(μg/L)	10	22		11	8	8		6	8	12		17	27
	懸濁態リン(μg/L)	4	11		6	5	5		1	2	1		7	12
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	1	5		<1	<1	<1		<1	<1	<1		<1	2
	溶存態有機リン(μg/L)	2	<1		5	3	3		4	5	4		4	5
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	3	6		1	<1	<1		<1	1	8		6	8
	全窒素(mg N/L)	0.2	0.1		0.1	0.1	0.2		0.1	0.2	0.5		0.5	0.5
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.1	0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	0.1		0.1	0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.04	0.06		0.05	0.05	0.05		0.06	0.06	0.06		0.05	0.02
	水色(補正)	6	8		6	8	4		5	7	3		6	5
	電気導電率(S/m)	3.62	4.01		4.99	4.51	4.8		4.99	4.91	4.55		4.27	2.36

付表 4 (3) 8 平成 21 年度における各項目の測定結果

小矢部川沿岸 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑧ 小矢部川沿岸（表層）	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴		晴	雨
	天候当日	晴	晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇		晴	雨
	時刻	10:56	11:45		11:21	11:28	11:24		11:58	11:20	11:37		11:28	11:50
	気温(℃)	7.7	13.8		28.1	22	23.8		21.2	14.8	8.3		14.5	2.4
	水温(℃)	10.11	14.3		22.5	24.4	26.6		20.9	17.7	13.8		11.4	8.4
	pH	8.24	8.05		8.24	8.47	8.2		8.24	8.12	8.15		8.41	8.4
	COD(mg/L)	2	2		1	2	1		1	-	1		2	2
	D-COD(mg/L)	1	1		1	1	1		1	-	1		2	2
	P-COD(mg/L)	1	1		1	1	<1		<1	-	<1		<1	<1
	クロロフィル a(μg/L)	1	1		1	13	1		1	1	1		1	2
	ケイ酸(mg/L)	0.6	0.4		0.1	1.7	0.3		0.4	3	0.9		3.6	2.6
	塩化物(g/L)	17	17		17	12	17		17	14	17		12	13
	全リン(μg/L)	9	5		8	18	4		6	6	11		19	22
	懸濁態リン(μg/L)	1	3		5	14	1		1	1	1		8	10
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	<1	<1		<1	1	<1		<1	<1	<1		<1	<1
	溶存態有機リン(μg/L)	5	<1		3	3	3		5	5	4		4	7
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	4	2		1	1	<1		1	<1	6		6	4
	全窒素(mg N/L)	0.2	0.1		0.1	0.2	0.1		0.1	0.2	0.3		0.7	0.2
	硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	0.1		<0.1	<0.1	<0.1		0.2	0.6
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.06	0.06		0.06	0.04	0.05		0.06	0.05	0.06		0.05	0.05
	水色(補正)	6	6		6.5	9	4		5	7	4		6	5
	電気導電率(S/m)	5.1	4.64		5.01	3.72	4.94		4.98	5.03	4.99		3.96	4.21

付表 4 (3) 9 平成 21 年度における各項目の測定結果

氷見沿岸 表層

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑨ 氷見沿岸 (表層)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日		晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴		晴	雨
	天候当日		晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇		晴	雨
	時刻		11:30		11:00	11:03	11:10		11:41	11:05	11:06		11:10	11:30
	気温(℃)		13.9		26.8	21.8	24.5		21.8	15.2	9.8		13.2	4
	水温(℃)		14.3		23.2	23.6	26.2		20.5	17.7	13		11.6	7
	pH		8.13		8.24	8.39	8.24		8.23	8.16	8.16		8.41	8.25
	COD(mg/L)		1		1	3	1		1	-	1		2	2
	D-COD(mg/L)		1		<1	2	1		1	-	1		2	1
	P-COD(mg/L)		<1		1	2	<1		<1	-	<1		<1	1
	クロロフィル a(μg/L)		1		1	15	<1		<1	<1	1		2	4
	ケイ酸(mg/L)		0.2		0.1	3.2	0.3		0.2	0.3	1.6		1.3	0.3
	塩化物(g/L)		17		17	9	18		17	18	17		16	17
	全リン(μg/L)		4		8	25	5		5	7	10		16	12
	懸濁態リン(μg/L)		<1		2	22	1		1	<1	1		8	4
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)		<1		<1	<1	<1		<1	<1	<1		1	1
	溶存態有機リン(μg/L)		3		5	2	4		4	5	3		5	7
	溶存態オルトリン酸(μg/L)		1		1	1	<1		1	2	6		2	1
	全窒素(mg N/L)		0.3		0.1	0.3	0.1		0.1	0.1	0.2		0.3	0.2
	硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	0.1	<0.1		<0.1	<0.1	0.1		0.1	<0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)		0.06		0.06	0.04	0.05		0.06	0.06	0.06		0.06	0.05
	水色(補正)		6		5.5	10	4~5		5	4	5		5	6
	電気導電率(S/m)		4.6		5.08	3.23	5.01		5.03	5.05	4.9		4.88	5.04

氷見沿岸 0.5 m + 2 m 混合

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
⑨ 氷見沿岸 (0.5 + 2 m 混合)	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日		晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴		晴	雨
	天候当日		晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇		晴	雨
	時刻		11:30		11:00	11:03	11:10		11:41	11:05	11:06		11:10	11:30
	気温(℃)													4
	水温(℃)		13.9		22.5	24.3	25.7		20.7	18.2	13.7		11.7	8.3
	pH		8.22		8.21	8.42	8.21		8.3	7.99	8.17		8.43	8.34
	COD(mg/L)		1		3	3	1		2	-	1		2	2
	D-COD(mg/L)		1		1	1	1		2	-	1		2	1
	P-COD(mg/L)		<1		1	1	<1		<1	-	<1		<1	1
	クロロフィル a(μg/L)		1		1	14	<1		<1	<1	1		4	4
	ケイ酸(mg/L)		0.3		0.2	1.4	0.4		0.2	0.3	1.2		1.3	0.3
	塩化物(g/L)		17		17	11	17		17	18	17		16	17
	全リン(μg/L)		5		8	21	5		6	6	9		13	11
	懸濁態リン(μg/L)		<1		2	22	1		1	<1	1		8	4
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)		<1		<1	<1	<1		<1	<1	1		<1	<1
	溶存態有機リン(μg/L)		2		3	3	4		5	4	3		6	3
	溶存態オルトリン酸(μg/L)		<1		1	1	<1		1	2	6		2	3
	全窒素(mg N/L)		0.1		0.2	0.4	0.2		0.1	0.3	0.2		0.3	0.1
	硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	0.3		0.1	<0.1
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)		<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)		0.06		0.05	0.04	0.05		0.06	0.06	0.06		0.06	0.06
	水色(補正)													
	電気導電率(S/m)		4.68		4.95	3.58	4.95		5.02	5.02	4.94		4.85	5.05

付表 4 (3) 1 0 平成 21 年度における各項目の測定結果

庄川河口

地点	項目名	2009 年										2010 年		
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
庄川河口	年月日	90330	90430	90528	90626	90727	90826	90928	91030	91126	91225	100129	100225	100326
	天候前日	曇	晴		晴	雨時々曇	晴		晴	晴	晴		晴	雨
	天候当日	晴	晴		晴	雨	晴		晴	曇	曇		晴	雨
	時刻	11:16	12:03		11:37	11:42	11:43		12:16	11:33	11:50		11:43	12:05
	気温(℃)	7.8	14.8		29	22.1	23.6		21.6	15.3	11.3		14.5	3.3
	水温(℃)	7.95	14.3		22.4	22.3	24.9		20.6	17.7	11.5		9	7.2
	pH	8.09	8.05		8.18	7.91	8.08		8.19	8.01	8.2		8.25	8.43
	COD(mg/L)	1	3		2	3	2		-	-	3		2	2
	D-COD(mg/L)	1	2		1	3	2		-	-	2		2	1
	P-COD(mg/L)	<1	1		1	1	<1		-	-	1		1	1
	クロロフィル a(μg/L)	1	3		1	5	2		1	1	1		1	1
	ケイ酸(mg/L)	8.4	4.5		3.2	9.2	6.5		1.9	5.2	10.4		9.6	8.9
	塩化物(g/L)	3	11		12	5	8		15	11	6		5	3
	全リン(μg/L)	14	39		34	64	32		17	28	37		37	32
	懸濁態リン(μg/L)	10	18		14	24	14		3	7	8		12	12
	懸濁態オルトリン酸(μg/L)	1	1		1	6	2		<1	4	5		5	8
	溶存態有機リン(μg/L)	1	4		6	4	1		7	12	<1		5	4
	溶存態オルトリン酸(μg/L)	2	16		13	29	15		7	5	23		15	8
	全窒素(mg N/L)	0.3	0.3		0.4	0.7	0.4		0.3	0.3	0.9		1.2	0.4
	硝酸態窒素 (mg N/L)	0.7	0.1		0.1	0.6	0.4		0.1	0.2	0.5		0.4	0.3
	亜硝酸態窒素 (mg N/L)	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	臭化物(g/L)	0.01	0.01		0.05	0.02	0.03		0.05	0.04	0.03		0.03	0.02
	水色(補正)	6-7	8		5	11	5		4	10	7		11	10
	電気導電率(S/m)	1	3.14		3.95	0.66	2.91		4.65	4.64	2.84		2.04	1.45

富山湾内海水の物理特性 実船・実地観測による富山湾の海洋環境計測

1 練習船「若潮丸」による CTD / ADCP 計測

1.1 はじめに

日本列島の西岸中央部に位置する富山湾は石川県の能登半島の東部と富山県の北部の海岸線に囲まれた海域である。ここは質量共に充実した漁業生産のエリアとして知られている。また、古くから蜃気楼や寄り回り波等の特異な現象が多いことでも、良く知られている。これらの現象は、富山湾特有の地形による影響が非常に大きいものである。富山湾は大陸棚が発達してなく、海岸線より急峻に水深が増し、この水深が 1,000 m を超えるエリアが広く存在する。一方、北側は広い範囲で外海と接しているため、対馬暖流水も多く流入する特徴がある。このため、図 3 に詳細を示すように、表層水、対馬暖流水、深層水といった 3 層構造を成すことになる。

こうした水域において発生する波や海流のメカニズムを解明するためには、湾内の海水の化学的組成と流動特性を知ることが重要である。図 1、表 1 に概要を示す富山高等専門学校の練習船「若潮丸」では、こういった海洋の基礎データを取得するために、CTD / ADCP 計測システムを搭載している。本稿では、このシステムを用いた海洋環境計測とその展開について示す。



図 1 練習船「若潮丸」外観

表 1 練習船「若潮丸」主要目

資格	近海区域 第 4 種船
主機関	低速ディーゼルエンジン 1300 PS×390 RPM 1 基
主要寸法	全長:53.59 m、幅:10.00 m、深さ:5.40 m
総屯数	231 屯
航続距離	2,180 海里
常用速力	12.50 ノット
最大搭載人員	職員・教官:12 名、 学生:44 名 合計 56 名
竣工年月日	平成 7 年 9 月 14 日

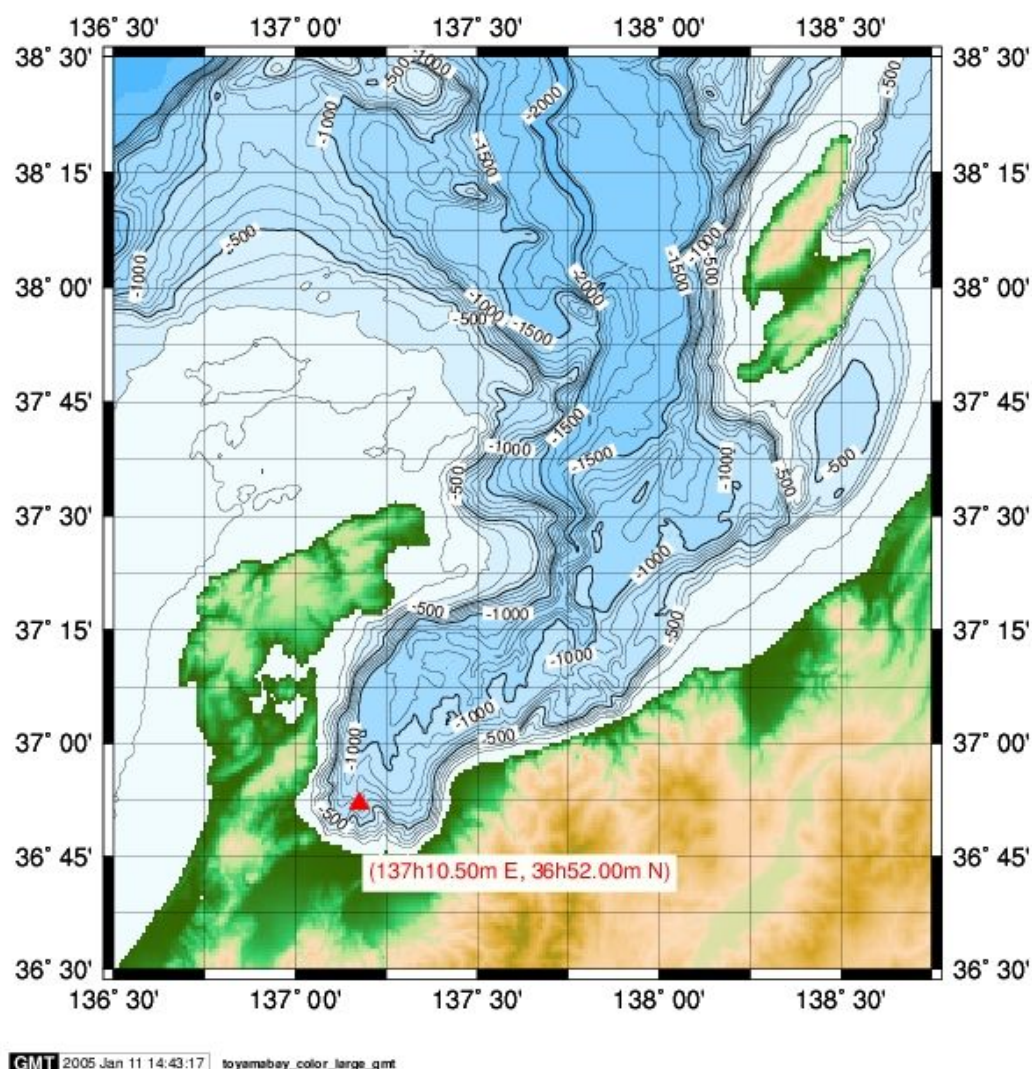


図 2 日本列島西岸中央部の富山湾の位置及び周囲の海底地形^[1]
(上図の図中の▲ポイントは CTD 観測定点[Ishimori Point]を示す。)

1.2 富山湾の特徴

(1) 地形の特徴

図2に日本列島西岸の中央部に位置する富山湾の配置を周囲の海底地形と共に示す。この富山湾は外海中央部から繋がる水深が約1,000 mを超える海底谷が陸岸近くまで密接する構造となっている。また、湾といっても外海に広く開けた形となっており、東京湾、伊勢湾等の閉鎖形状湾とは、異なる特徴を持っている。

富山湾の大きな特徴としては、この海底地形等に起因する海水の鉛直構造にある。これは漁業等に大きな影響を与えるものである。一方、こうした地形に起因して、寄り回り波が起り沿岸域に災害を与える場合も多い。これらの概要を述べる。

海水の鉛直構造

図3には富山湾の海水の鉛直構造図を示す。富山湾は大陸棚が発達していないので、浅瀬の部分が少なく、岸からすぐに深くなり、水深が1,000 mを越えるエリアが広く存在する。この富山湾には、図3に示すように暖流である対馬海流が流れ込み水深が約200~300 mまでの「対馬暖流水」を形成している。また、海岸に近い所には富山平野の多くの河川等の影響を受けて塩分濃度の低い「沿岸表層水」がある。

そして、水深が約200~300 mより深い場所では水温が常に1~2℃以下に安定した「深層水」を形成している^[2]。この深層水は「低温安定性」、「富栄養性」、「清浄性」といった3つの大きな特徴を持っていて、多方面への展開が期待されている。また、これらの層の分布や季節変動は、漁業にも大きな影響を与えるものである。

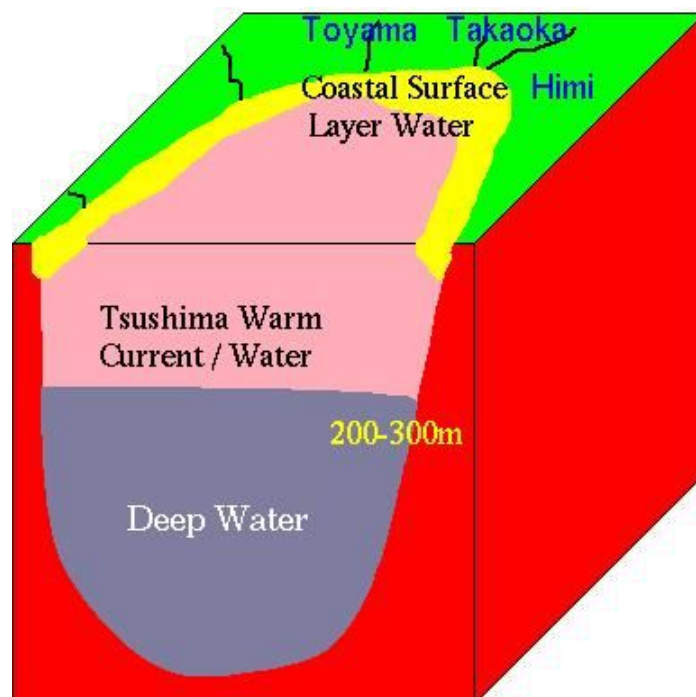


図3 富山湾の海水の鉛直構造

1.3 CTD システムによる観測

「若潮丸」は学生の航海・機関運転実習の他に、海洋観測船としての任を持つ。このために、CTD を有し、富山湾内の海洋環境計測を、竣工以来、実施している。本章では、まず CTD システムの概要を示す。

(1) システム概要^{[3], [4]}

CTD は Conductivity、Temperature and Depth profiler の略で、日本語では深海鉛直方向電気伝導度・水温・水深計と称することができる。この CTD は船上より海中にセンサーユニットを降下し海洋環境パラメータを測定し船上のデータ処理装置に表示、記録を行うものである。

また、任意の採水層にて船上より採水命令を行うことにより採水ができる。若潮丸には(株)エス・イー・エイのコーディネートによる CTD システムが装備されている(海洋計測センサー及び採水ユニットは FDI 社製)。図 4 に船システムの概観を、測定項目を表 2 に示す。また、本船では水深 2,000 m までの計測が行える。

表 2 CTD 測定項目

測定項目	測定範囲	測定精度
水圧	0 ~ 3000 dB	± 0.9 dB
水温	-2 ~ 35	± 0.003
電気伝導度	0 ~ 70 mS/cm	± 0.001 mS/cm
溶存酸素濃度	0 ~ 15 ml/l	± 0.1 ml/l

・多筒採水器：1.7 L×12 本

・2 重外装ケーブル：2,000 m @6.4 mmφ

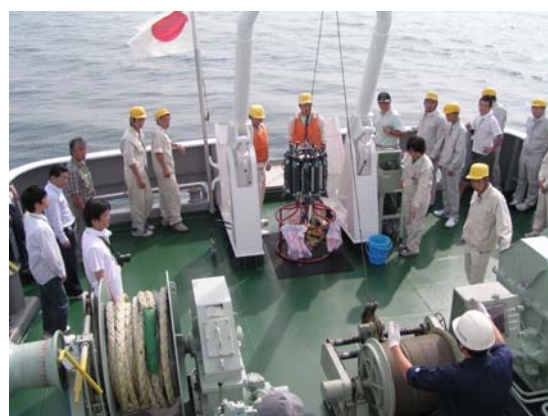


図 4 CTD 外観

[上部が採水ボトル（灰色部分）、下部の黄色フレーム内がセンサー部、船尾甲板より A フレームを振り出し降下・上昇]

1.4 調査結果

これまで富山湾内での水塊構造を観測によって明らかにした研究は八田らの^[5]が挙げられる。彼らは、富山湾内に流入する対馬暖流系水の収支をボックスモデルで定量化し観測との結果を比較する事で、対馬暖流系水が湾西部から反時計周りに侵入してくる仮説を検証している。日本海から富山湾内へ流入する流れ場の特性については千葉ら^[6]が2004年8月と2005年8月に能登半島先端部でADCP観測を行ない、対馬暖流系水の夏季の富山湾入口での流動場特性を考察した。古山ら^{[7],[8]}は2004年6月から2009年3月まで月毎のCTD調査を行ない、水深方向における富山湾の水塊構造の変化を議論した。以上のように、富山湾内の水塊については、対馬暖流系水を起源とする外部からの比較的高温高塩分水の侵入、低温の淡水の流入、陸棚が未発達な急峻な地形や能登半島の存在などにより複雑な流動場とそこに存在する独特の水塊構造が研究の対象になる。本研究では富山湾内の水塊構造やその季節変動を詳細に観測し、これらの解明に結び付く観測データの提示を行ない、富山湾内の水塊構造の特性を議論する。

図4,5に、図2に示した観測定点（石森ポイント）における海水温と塩分の季節変動を示す。縦軸は水深を表し単位はmである。横軸は観測月を表し、2004年6月（図左端のJ）から2009年12月（図右端のD）までを記述している。尚、アルファベットは月を英語で表記した際の頭文字である。色は摂氏温度と塩分を表している。

海水表面での水温の極大は夏季の8月にあり、この季節には水深約200 mまでの間で鉛直方向で水深が深くなるにつれて水温が下がり成層している。また、2月および3月には、水深約150 m程度まで水温変化がほとんど見られない混合層が確認される。

水深約150 m以深、約400 m程度までは、季節的に多少変動はあるものの、ほぼ定常的にこの範囲で水温が約10℃程度から2℃程度まで低下している。これは季節に関係なくほぼ定常的に存在する層で永久躍層と呼ばれる部分である。さらにそこより下部に向かうと、約400 m以深で水温はほぼ1℃未満となる。ここより下部の水は、海表面の気象や淡水には影響されない、富山湾固有の水塊であると考えられる。

塩分については、河川や降水による淡水の流入により、水深約25 m程度までは低塩分の水が広く海表面を覆っている事がわかる。特徴的な点は、夏期に水深約100 m付近で高塩分水塊が確認できる事である。この水塊は、富山湾外側の日本海から流入してくる対馬暖流系水と言われており、塩分が34.5 PSU程度となる。この水塊は冬季の混合層形成に伴い消滅することが本観測の結果から示す事ができる。このことは対馬暖流系水の富山湾内への侵入の強弱が季節により変動している事が示唆される。

水深約200 m以深は、センサーのノイズと考えられる誤差が若干含まれているが、

概ね 34.1 PSU 付近で安定した水塊が存在している事がわかる。

1.5 考察

まず、富山湾の深層部に存在する水塊について考察を行なう。図 4,5 の結果から明らかなように、富山湾では水深約 400 m 以深は季節的な変動はあまり受けておらず、非常に安定した水塊が存在していることがわかる。図 4 によると水深約 400 m 以深では水温が 1 未満となっており、この領域では定常的に低い温度の水塊が存在している事がわかる。図 6 に示す、T-S ダイアグラムにこれらの数値を載せると、ポテンシャル水温が 1 未満のエリアで、塩分がほぼ 34.1 ~ 34.2 PSU に収まっている事がわかる。ここで得られたデータを柳らの T-S ダイアグラム^[9]と照らしあわせると、日本海固有水の領域とほぼ一致した結果が得られている。このことより、富山湾の深層水は日本海固有水を起源としている事が推測できる。

次に、比較的上層部の水塊について検討を行なう。図 4,5 を見てわかるように、水深約 200 m までのエリアは、水温や塩分が定常的ではなく、大きく変動している事がわかる。また、この変動は季節的な要因が原因になっている事が推察される。水温に関しては、気温の影響が大きい事が容易に想像できるが、塩分に関しては 34.5 PSU 程度の高塩分水が夏季の約 100 m 深付近に存在しており、これは外部からの高塩分水の流入が無いと存在し得ない水塊である。八田^[5]は、高温高塩分の対馬暖流水が夏季に強度をまして富山湾内に侵入してくる事を示しており、本結果はこの理論を裏付けるデータとなる。

また、図 6 の T-S ダイアグラムを見ると、低温部の水を除き、塩分が広範囲で分布している事がわかる。これは外部から侵入する高温高塩分の対馬暖流水と、河川や降水、また富山湾に特有の湧水^[10]の混合が行なわれている事を示唆し、複雑な水塊環境を形成している事がわかる。また、この図で低塩分での温度分布を見ると（グラフ中、塩分 33.5 ~ 33.9 PSU , ポテンシャル温度 10 ~ 25 の範囲）、最も低温になるのが 3 月または 4 月である事がわかる。気象庁での富山県における平均気温分布を見ると 1,2 月が最も気温の低い月になるが、それから 1,2 ヶ月ずれて海水温に反映されている事がわかる。これは、気温が直接海表面温度を下げるわけではなく、河川からの雪代（雪解け水）が 3,4 月頃に大量に富山湾に流入し、その影響で海水表面の水温が冷やされている事が考えられる。

以上の事から、富山湾の水塊は、表層での季節的な変動を全く受けない 400 m 以深部の水塊、対馬暖流水の高温高塩分の外部流入水の影響を受けるおよそ 100 m 深の特に夏季に高塩分になる水塊、さらに、陸水の影響を大きく受ける表層の低塩分水の領域

の3つに大きく特徴づけられる事がわかる。

これまで、富山湾におけるCTD、ADCP調査を行ない、湾内の水塊構造の季節変動について検討を行なった。CTDの季節変動から、高温高塩分の対馬暖流系水が夏季に強く富山湾内に侵入し、湾内の水塊構造に大きな影響を及ぼしている事が確認できた。また、T-Sダイアグラムにより、富山湾の深層部に存在する水は日本海固有水である事が確認された。

今後はこのような外部からの流れや陸水の影響を強く受け、さらに地形も急峻で能登半島の遮蔽効果など、独特な地形をもつ富山湾に対して継続的な観測を行ないながら、海洋モデルなどの数値シミュレーションの検討を行なう事で、より詳細に富山湾内の流れや水塊構造について検討をしていく予定である。

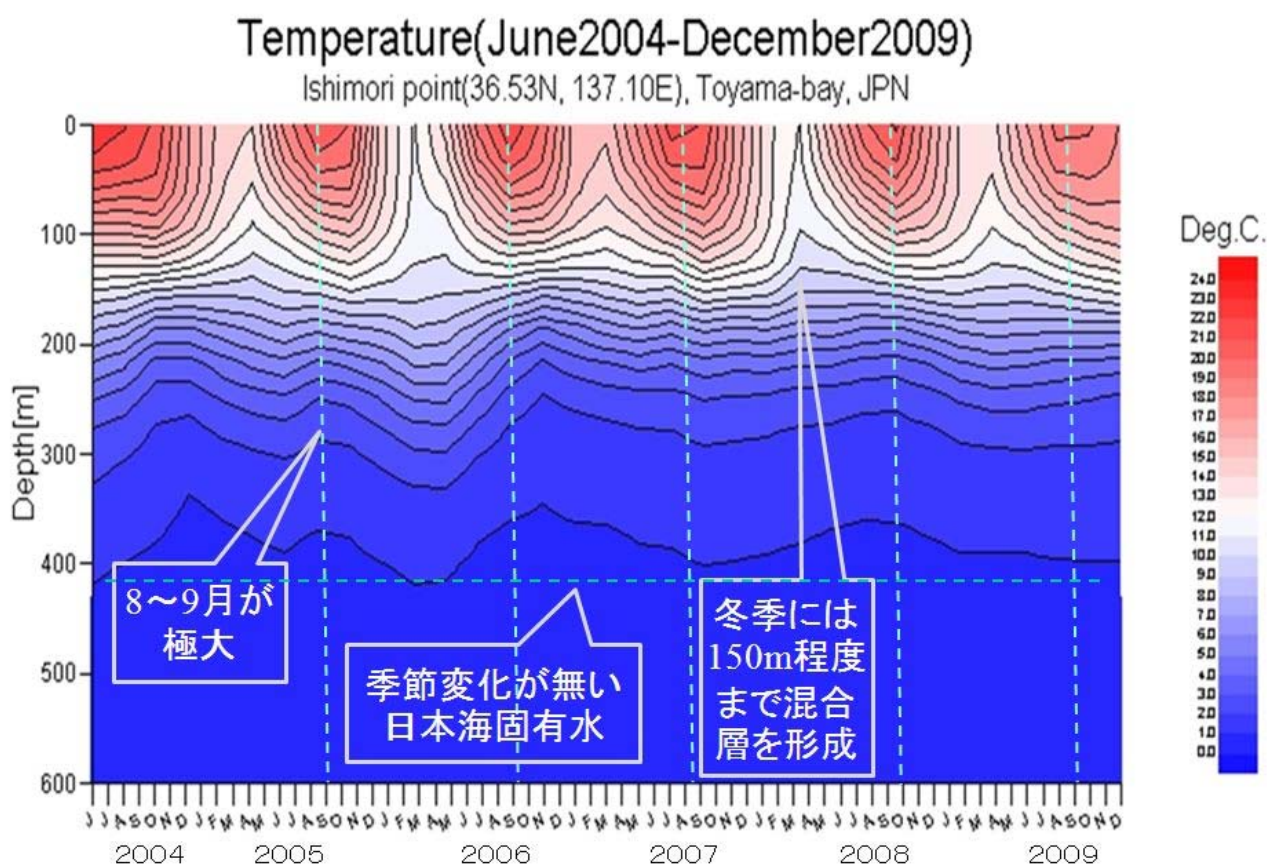


図4 図2の観測定点におけるCTD観測結果 - 海水温度の深度分布

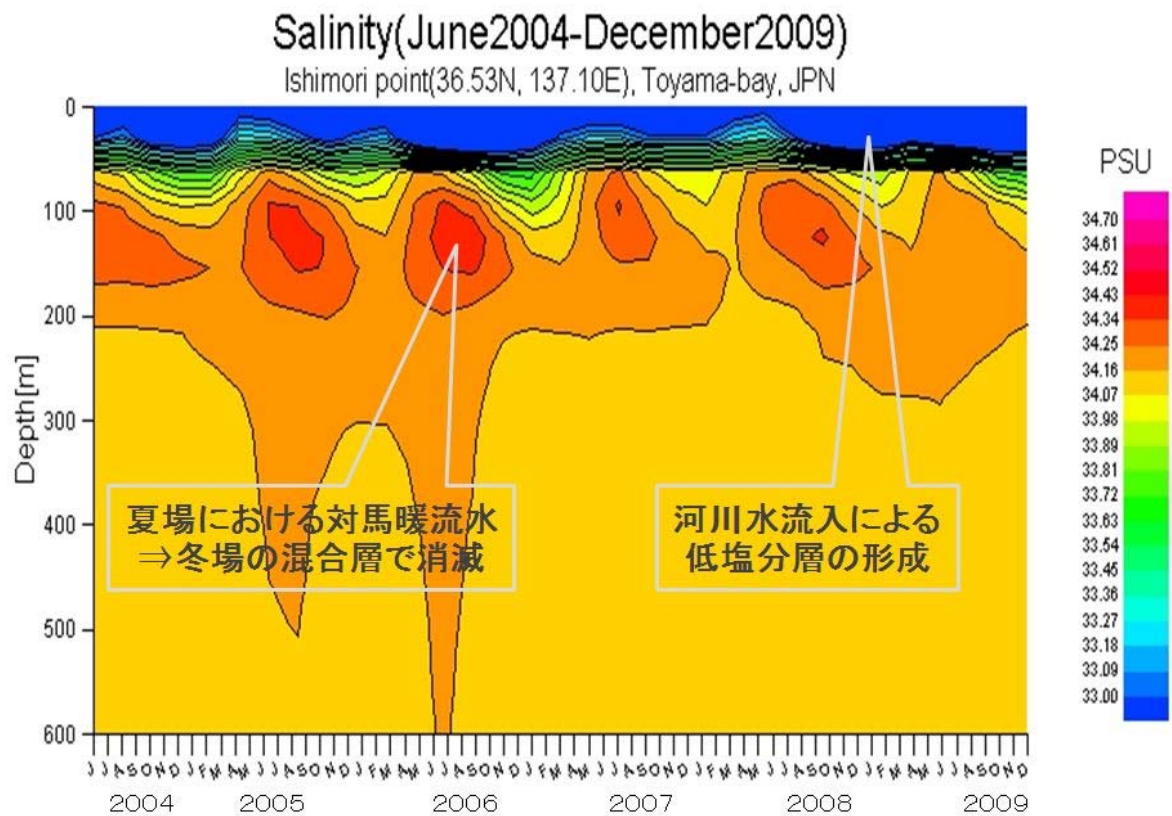


図5 図2の観測定点におけるCTD観測結果 - 塩分の深度分布

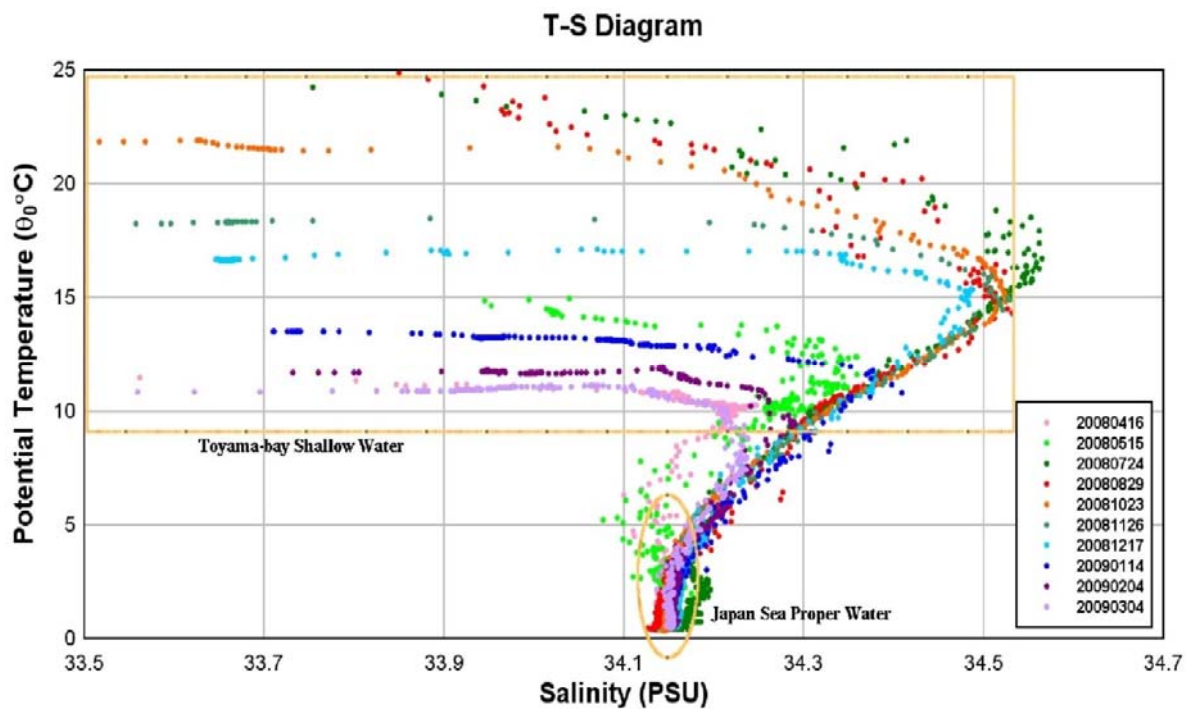


図6 2008年度のCTD観測結果によるT - Sダイアグラム

2 実習艇「さざなみ」による沿岸 CTD/ADCP 計測

2.1 はじめに

富山湾は本州日本海側のほぼ中央、能登半島の東側に位置し、湾口が北東に開いている外洋性内湾である。湾奥域の海岸線は単調な弓状をなし、大陸棚の発達が乏しく岸深であり、海脚や海底谷が数多く存在する。この湾奥域に流入する河川は、西から小矢部川、庄川、神通川、常願寺川、黒部川の5つの1級河川の他、中小29河川を数える。1級5河川を合わせた年平均流量は1秒当たり数百トンに達し、季節的には雪解けとそれに続く梅雨期に該当する4~7月頃に流量が多い。

このように富山湾奥では陸からの淡水の流入量が多く、これらの河川を通じて、陸域から海域へ栄養塩類が多く供給されていると考えられ、また表層と深層とでは変化があると考えられる。

水温の季節変化は、約100 m以浅では気温の季節変化や表層水の影響で大きく、約200 m以深で小さい。これまでの若潮丸のCTD観測でも、こうした傾向が確認されている。水深約200~300 mでは対馬暖流水の影響が大きく、より深い所は深層水領域となっている。

そこで、湾の表面水温は、平均的に3月はじめの10 前後の低極から、8月後半の約27~28 の高極の範囲で変化すると言われる。また、湾の流動は、密度の水平分布や流入河川水の移動方向から、基本的に反時計回り方向の流動が存在し、春から夏にかけて強まり、秋から冬には弱まると考えられる。

平成16年度より(財)環日本海環境協力センターが行う「富山湾プロジェクト」に本校が参画することになり、本校の実習船「さざなみ」を用いた海洋環境計測を行うこととなった。ここでは海洋汚染の防止のため、富山湾における、海水温度、透明度、塩分等の物理系のデータ、クロロフィル、各種リン等の化学系のデータを海上の広い範囲で取る事を目的としている。前報告^[11]では、2008年度分の、CTD観測で得た水深約50 mまでの海水温度、塩分の季節変動特性についての見解を示した。そして、この海洋環境調査は、現在も継続されている。ここでは図9に示した定点について、基本的に各月1回の観測航海を行う事を目標としている。表3に2004年5月から、2008年2月までの観測航海の実施状況を示す。そして、2009年度も、この観測を継続して行ってきた。また、2008年度より、「さざなみ」にADCPを仮設して、海水流動の流向流速の観測も行ってきた。

本章ではCTD観測で得た海水温度及び塩分、ADCP観測で得た小矢部川河口部分の流向流速分布の考察を行う。

表3 2004年5月～2009年2月の観測概要

	月	日	天候	風向	風速(m/s)	気温	水温	雲量	採水Point	備考	
2004年	5月	25日	b～bc	-	-	18.0～19.7	17.5～18.8	-	1～8	2日で全点	
	5月	28日	c	-	-	23.3～24.0	20.5～20.8	-	7～9	を観測	
	6月	11日	c	NE	1.5～5	21.5～22.6	20.1～22.2	-	1～9		
	7月	23日	b	NW-E	0.5～6	27.0～28.1	25.0～26.7	0	1～9		
	8月	25日	bc～c	N-NE	3～8	24.5～26.3	24.9～25.6	8～3	1～9		
	9月	29日	r	NW-E	1.5-6.5	22.5～24.5	22.0～22.8	10	1～9		
	10月	29日	bc～b	S-E	0～3	15.0～19.0	15.7～18.8	2～1	1～9		
	11月	26日	b～c	E-SW	Calm～4	12.5～18.0	14.5～16.8	0～7	1～9		
	12月	17日	c～b	NW-SE	1～4	7.4～8.8	12.7～15.5	9～1	1～9		
	1月	24日	c	W-S	5～9	4.0～8.8	9.4～13.0	7～8	1～9		
	3月	2日	c～s	N-NE	Calm～6	2.0～3.8	7.3～9.5	0	1～9	2月分と扱う	
	3月	28日	r	SE-NE	3～7.5	8.6～10.6	9.2～10.0	0	1～9		
	4月	28日	bc	SE-SW	6～14	17.8～21.5	12.3～13.5	0	1～9		
	5月	31日	c	SW-W	3.5～10	16.1～17.0	16.0～16.9	0	1～9		
	7月	4日	r～c	SW-SE	Calm～7	21.2～22.4	20.9～23.1	0	1～9	6月分と扱う	
	7月	28日	b	NE	0.5～5	22.6～28.8	24.5～27.2	1	1～6		
	7月	29日	c	W	4～9	28.4～29.8	21.4～26.2	10	6～9	2日で複数	
	8月	29日	b～bc	SW-NE	Calm～2.5	24.5～27.8	26.2～27.3	0～4	1～9	観測を実施	
	9月	29日	b	NE-NW	Calm～7	20.8～25.2	22.0～24.0	0	1～9	2日で複数	
	9月	30日	bc～c	NW-E	Calm～2	22.0～23.2	23.0～27.8	6～10	3～7	観測を実施	
	10月	31日	c～r	NW-NE	Calm～5	11.8～13.8	18.4～19.5	8～10	1～9		
	11月	25日	b～c	SE-SW	5～11	10.3～15.3	14.9～16.4	3～9	1～9		
	12月									未観測	
	2006年	1月	16日	bc	S-W	1～4	3.6～9.6	7.3～11.9	4～6	1～9	
	2月	13日	b	SW-W	2.5～11	1.7～7.2	7.5～9.8	1～2	1～9		
	3月									未観測	
	4月	26日	bc	SW-SE	1～15	10.0～12.9	10.0～11.2		1～9		
	5月	31日	bc	SW-W	0.5～7	18.0～22.9	15.9～17.9	8～0			
6月	28日	bc	NW-SW	2～11	24.9～28.0	22.2～23.0	1～3	1～9			
7月	31日	c		calm～3.3	24.3～28.0	23.6～26.6	7～8	1～7	2日で複数		
8月	1日	bc～c	SE	calm～2	27.6～29.3	24.8～27.7	7～9	6～9	観測を実施		
8月	28日	bc～c	SW	4.5～7.5	26.2～31.1	27.9～28.6	8～10	1～6	2日で複数		
8月	30日	r～c	SW-NE	1～7.5	23.6～25.8	27.0～28.5	10	6～9	観測を実施		
9月	25日	bc	N-NE	0～7	18.6～22.5	21.0～22.5	3～5	1～9			
10月	31日	b	S	0～2	14.2～17.7	17.6～20.5	0	1～9			
12月	6日	c	SW-E	0～6	7.7～9.3	14.7～15.9	9	1～9	11月分と扱う		
12月	14日	r～c	SW	1～6	9.3～10.8	14.0～15.7	10	6～9			
2007年	1月	24日	c	SW	1～3	4.0～7.6	9.3～13.2	10	1～9		
	3月	2日	c	SW-NE	0～6	5.5～9.2	8.6～10.7	8～10	1～9	2月分と扱う	
	3月	19日	bc～c	N-S	0～1.7	4.1～5.5	9.0～10.2	3～8	1,3,6～9		
	4月	23日	c	NE	3～8	10.9～13.8	12.1～12.8		1,3,6,7,8,9		
	5月									未観測	
	6月	13日	bc-b	N-NE	1.5～3.5	21.5～24.0	21.5～23.1		1～9		
	7月	27日	c-bc	E-NE	Calm～4	25.7～29.0	24.8～26.4	3～8	1～9		
	8月	29日	c	NE-ESE	Calm～8	26.8～28.9	26.5～28.0	7～10	1～9		
	9月	28日	bc-c	SW	5～10	26.3～28.8	26.0～26.8	3～10	6～9		
	10月	1日	c	NE	Calm～4	20.1～22.0	23.1～24.5		1～5		
	10月	26日	c-r	NE-N-W	1～6	17.8～20.0	18.9～21.2	10	1～9		
	11月	30日	bc	S-SW	2	10.5～14.8	14.7～15.7	1	1,3,6,7,8		
12月	17日	c-r-c	SW-S	5～8	6.2～7.3	12.0～15.0	9～10	1～7			
2008年	1月	22日	c-o	W-SW	Calm～2	5.1～8.3	9.5～12.5	8～10	1～9		
	2月	27日	s-c	W-SW	Calm～7	3.0～3.2	9.1～9.5	8～10	6,7,8		
	3月	27日	bc	var.	2～6	8.9～11.3	10.6～12.5		1～9		
	4月	24日	c-r	NW-W	8～13	12.8～15.1	13.1～15.2	10	1,2,3,4,6,7		
	5月	27日	c	N-NE	1～5	15.0～18.8	17.0～18.2	7～8	1～9		
	6月	24日	c-bc	NW-W	Calm～5	19.5～20.9	20.5～21.8	9～10	1～9		
	7月	31日	c-r	SE-W	Calm～6	25.1～27.5	26.6～27.5	10	1～9		
	8月	26日	c	SW-NE	Calm～5	24.5～26.2	24.5～26.2	10	1～9,K		
	9月	25日	c	S-SW	1～3	18.8～20.2	22.8～25.0	10	1～9,K		
	10月	30日	bc	SW-W	1～6	12.5～18.8	18.0～21.1	2～5	1～9,K		
	12月	16日	b	SE-SW	1～4	9.2～12.5	13.4～16.0	1	1～9	11月分と扱う	
	12月	24日	bc-c	S-SE	5～8	5.8～7.2	12.5～13.5	6～8	1,3,6,K		
2009年	1月	22日	c-o	SW-W	Calm～2	5.1～8.3	9.5～12.5	8～10	1～9,K		
	3月	9日	c-o	SW-N	Calm～2	6.9～9.3	7.2～10.2	8～10	1～9,K	2月分と扱う	

2.2 富山湾の海洋環境特性計測

本章では、現在、(財)環日本海環境協力センターが中心となり推進している「富山湾プロジェクト」と、ここにおける「さざなみ」の活用について述べる。

(1) 富山湾プロジェクト

日本海及び黄海の海洋環境保全を目的として、日本、中国、韓国及びロシアでは、北太平洋行動計画(NOWPAP)に基づき、各種プロジェクトを進め、各国が役割を分担しつつ、同海域の環境保全に取り組んでいくこととされている。平成 11 年の政府間会合において、(財)環日本海環境協力センターが特殊モニタリング・沿岸環境評価地域活動センターに指定され、平成 13 年度には調査研究の支援機関である富山県環境化学センターに衛星観測データの受信・解析装置(環日本海環境ウォッチシステム)を設置し富山湾をモデル海域としてシートルースデータ(実際に船を出して海で調査したデータをまとめたもの)と衛星データの関係を検討し、調査を行っている。

特に衛星画像と照合するシートルースデータの取得が重要である。衛星画像は海表面や海洋表層に対する面のみとしての活用となるが、シートルースデータならば鉛直方向の観測が可能である。ここで有効なシートルースデータを得るためには、適当な間隔の海上定点の、適当な時間間隔での船上計測が重要である。

(2) 「さざなみ」の活用

図 8 に外観を示す当校の実習船「さざなみ」は、主に商船学科の教育実習や様々な研究航海に利用する他、カッターレース大会や、ヨット、ボート部等の課外活動の支援に利用されている。この「さざなみ」の要目を表 4 に示す。当船には、磁気コンパス・ジャイロコンパス・電磁ログ・レーダー・プロッタ装置・ロラン航法装置・無線方位測定機・音響測深儀・GPS 航法装置・国際 VHF 無線電話機・風向風速計等多くの装置や機器等が積載されており、海洋環境計測に適したものである。

また、図 9 に示す 9 個所の定点を廻るためには、適当な船の大きさである。この定点は河川水の海洋への流入状況を把握するために沿岸部にも定点があり、「若潮丸」が走るには難がある。また、氷見沖等へも行くため、他の小型ボートでは安全上の問題がある。また、船内作業スペースも広い机や AC100V 電源があり、広い船尾デッキもあり、諸器材を持ち込んだ作業には非常に適した船である。そこで、この「さざなみ」を海洋環境観測船として活用することとした。



図 8 「さざなみ」外観

表 4 「さざなみ」("Sazanami")要目

資格	沿海区域
主機関	ディーゼルエンジン 470 PS×2000 VPM 1 基
主要寸法	全長:11.99 m,幅:3.69 m, 深さ:1.25 m
総屯数	15 屯
常用速力	19.5 ノット
最大搭載人員	職員・教官:5 名, 学生:20 名 合計 25 名
竣工年月日	平成 3 年 3 月 3 日

(3) 海洋観測航海

実際の観測航海の手順について示す。まず、観測ポイントとして以下の9個所を設定した。図9に、この分布を示す。このポイントまでの船の誘導は船上のGPSを用いて、緯度、経度共に0.1'以内の範囲で行えた。

(St.はStationの略字を示す。)

	北緯	東経
St.01	36° 48'	137° 20'
St.02	36° 50'	137° 20'
St.03	36° 48'	137° 15'
St.04	36° 50'	137° 15'
St.05	36° 52'	137° 15'
St.06	36° 48'	137° 10'
St.07	36° 50'	137° 09'
St.08	36° 50'	137° 05'
St.09	36° 52'	137° 02'

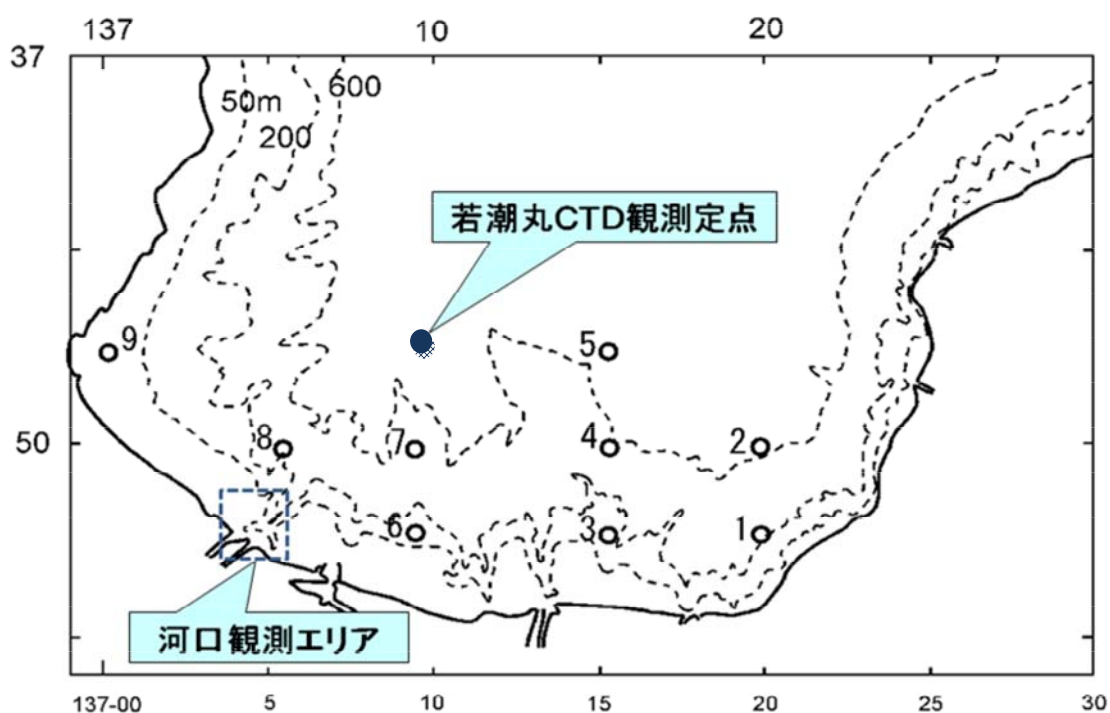


図9 富山湾プロジェクトにおける観測定点（青丸が1章で示した「若潮丸」におけるCTD観測の定点となり、青点線による四角がADCP観測を行った河口観測エリアを示す。）

表 5 に観測野帳の一例を示す。観測項目の一覧がここに示されている。

観測内容については天候・雲量は目視、気温・風向風速は船内機器で、表面水温は棒状温度計、透明度は透明度板で、海色は水色計により観測した。

またポンプにより水深 0.5 及び 2 m から海水試料を採り、溶存酸素濃度、各形態別リン濃度、栄養塩類分等の分析を行っている。

そして水中での下向き分光照度と上向き分光照度の鉛直分布を測定するために水中分光放射計(Biospherical 社 PRR600)により水深 30 m までの観測を行った。この計測のため、停船時には船首を太陽方向に立たせるようにした。そして、CTD(アレック電子製 AAQ1180)により海水温度、塩分濃度、濁度、クロロフィル a 濃度の水深 50 m までの観測を行った。ここで停船時に風が強い場合には船が横流れし、センサーを吊るすケーブルも横に流され、100 m を有するケーブルが水深約 30 m 程度にしか到達しない場合があった。

表 5 2009 年 8 月の観測航海における観測野帳(観測項目一覧)

調 査 名	富山湾プロジェクト		NPEC: 0名					乗船: 千葉 豊 6名						
採水年月日	平成21年8月26日(水)		調査参加者 富 大: 2名					NES: 砂田, 安全, 久米						
採水地点	1	2	3	4	5 千早船着行の上の船本浜奥も変更	6	7	8	9	河口1	河口2	河口3		
緯度(N)	36° 47.608'	36° 49.860'	36° 47.683'	36° 49.991'	36° 52.010'	36° 47.514'	36° 49.895'	36° 49.964'	36° 51.987'	36° 47.753'	36° 47.630'	36° 47.564'		
経度(E)	137° 19.840'	137° 19.918'	137° 15.187'	137° 15.278'	137° 15.328'	137° 09.299'	137° 09.428'	137° 05.321'	137° 02.888'	137° 04.839'	137° 03.964'	137° 04.611'		
採水時間	9:32	9:47	9:12	10:25	10:07	8:48	10:45	11:25	11:10	11:39	11:51	12:00		
天候	前日	bc												
	当日	bc	bc	bc	水深0.5m/水深2m	bc	bc	水深0.5m/水深2m	bc	bc	bc	bc		
風向風速	N1	N1	N1		N1	Calm		N1	N2	NES	N2	NE4	NE4	
波・うねり	0.3	0.5	0.3		0.3	0.3		0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	
雲 量	4	3	6		5	6		6	3	5	5	6	6	
気温(℃)(富山大)	21.9	22.5	22.8		23.1	24.6		23.0	23.9	23.8	24.5	23.6	24.0	23.8
透明度(m)	12	14	22.0		24	35		14	25	30	22.0	10	3	8
水温(℃)	24.7	24.2	23.6	24.3	24.8	25.2	25.1	25.5	25.2	24.0	25.5	25.6	26.0	
(塩分)電気導電率 (S/m)(富山大)	4.69	4.22	4.77		4.87	4.99		4.60	4.80	4.84	5.01	1.66		
水温(℃)(富山大)	25.6	24.6	25.2		25.5	25.7		25.4	26.0	26.6	26.2	24.9	22.7	24.5
pH (富山大)	8.11	8.17	8.20	NES測定 8.31	8.21	8.13	NES測定 8.30	8.00	8.18	8.20	8.24	8.08	7.59	7.91
水色 (富山大)	5.0	5~6	5.0		3.0	2.0		4.0	2.0	2.0	2~3	5	13	8
SS	0.76	1.12	0.72		0.16	0.28		1.32	0.88	0.32	0.20			
クロロフィルa	1.331	1.728	2.376	0.559 0.559	1.503	0.091		3.792	3.896	1.003	0.234			
DO	7.18	7.55	7.42	7.48 7.02 8.5m~7m混合計置値 7.45	7.18	6.69		7.96	7.55	7.17	6.84			
CDOM	0.0501	0.0794	0.0561		0.0232	0.0046		0.1201	0.0768	0.0221	0.0147			
クロロフィルa (富大サンプル)														
備 考 (ファイル 番号, その 他特記事 項)	PRR	P080826C	P080826D	P080826E		P080826F	P080826E		P080826A	P080826G	P080826I	P080826H		
	CTD	080826_s01	080826_s02	080826_s03		080826_s04	080826_s05		080826_s06	080826_s07	080826_s08	080826_s09		
その他特記事項														
採水順番	3	4	2		6	5		1	7	9	8			

尚、毎回の観測航海は 8 時 30 分過ぎには出航し、最初のポイントである St.6 には 9 時頃到着し観測が始まる。ポイントの順番は図 1 に示す、6,3,1,2,5,4,7,9,8 と半時計回りでいった。各ポイントにおける観測時間は 10 分程度である。そして、およそ 12 時 30 頃には観測完了、着岸は 13 時前後となるのが通例であった。また、衛星データとの比較が望まれるため、各回とも 2~3 日の候補日を設けて、その内の気象・海象条件がマッチする日を選定した。

表6 2009年3月～2010年3月の観測概要

2009年	3月	30日	b-bc	var.	Calm~3	7.1~8.3	9.2~11.0	2~3	1,3,6,7,8,K	
	4月	30日	bc	N-NE	Calm~3	13.5~15.8	14.3~15.3	2~3	1~9,K	
	5月	28日	o	N-NE	2~3	16.5~17.1	18.0~19.0	10	1,3,6	
	6月	26日	bc	W-SW	2~8	23.4~28.1	21.7~24.6	2	1~9,K	
	7月	27日	o-r	N-NW	3~6	21.8~23.9	23.6~24.7	10	1~9,K	
	8月	26日	bc	N-NE	Calm~2	22.3~24.0	21.8~22.5	3~6	1~9,K	
	9月	28日	o	S-W	1~9	18.8~20.2	22.8~25.0	10	1,3,6	
	10月	30日	bc	S-W	1~4	18.5~21.2	19.3~20.8	4~6	1~9,K	
	11月	26日	b	SE-SW	Calm~2	12.0~15.2	13.6~17.7	1~2	1~9,K	
	12月	25日	b-bc	SW-SE	Calm~2	6.5~10.9	11.5~14.0	2~3	1,3,4,6~9,K	
2010年	1月	29日	r-o-bc	S-SW	2~10	4.8~5.5	10.4~10.8	6~10	1,2,3,6	
	2月	25日	o-bc	var.	3~12	10.8~14.5	9.8~11.4	5~10	1~3~9,K	
	3月	26日								予定

表6には、表3に継続して行った観測航海の概要を示す。ここで、採水ポイント欄の「K」は河口エリアで ADCP 観測を行ったことを示す。

次ページ以降に、図10,11,12として、下記を示す。

- ・各St.における各月の海水温度の深度分布（図10）
- ・各St.における各月の透明度（図11）
- ・各St.における各月の塩分の深度分布（図12）

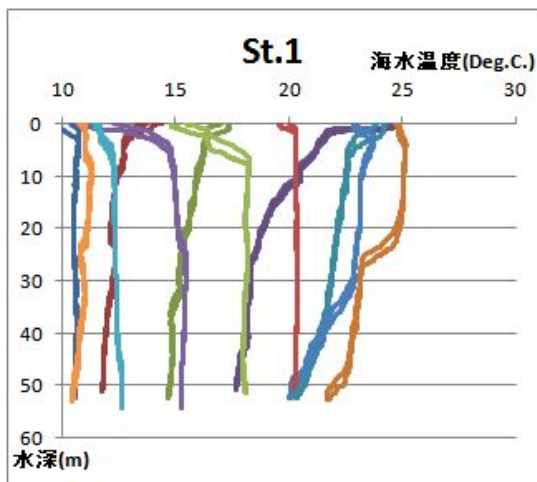
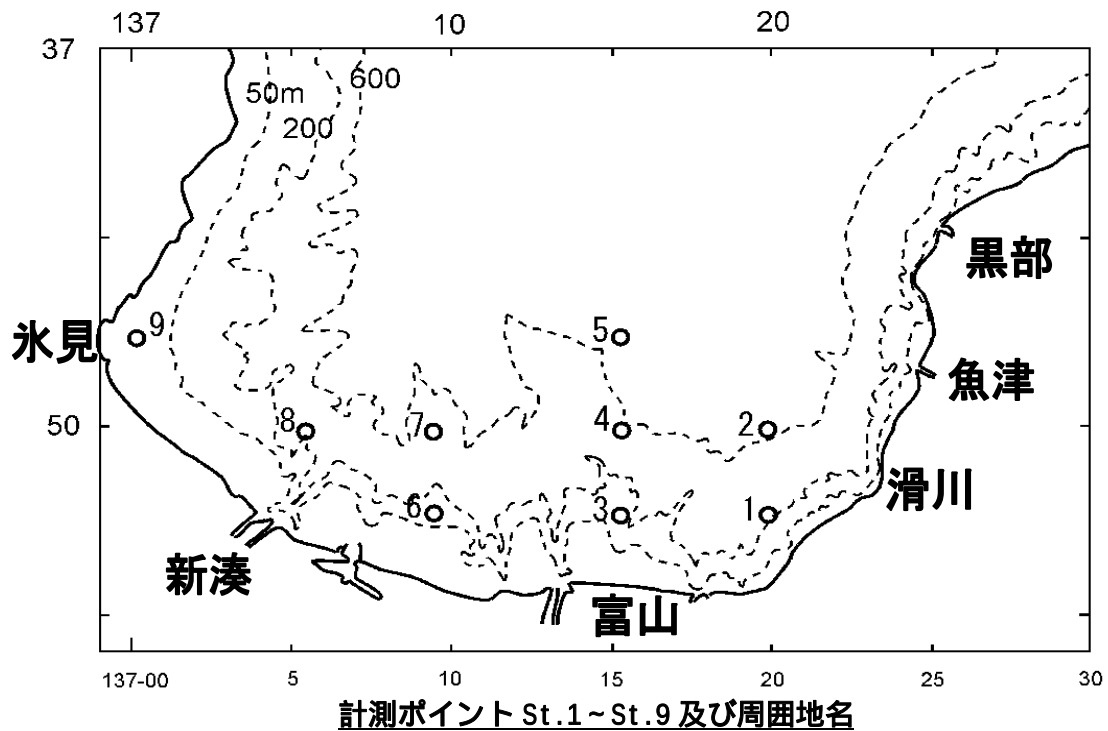
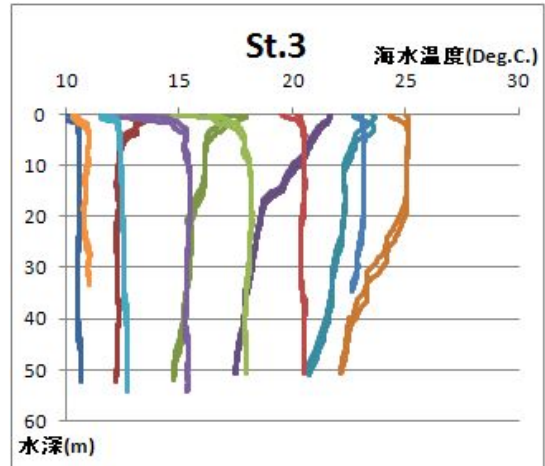
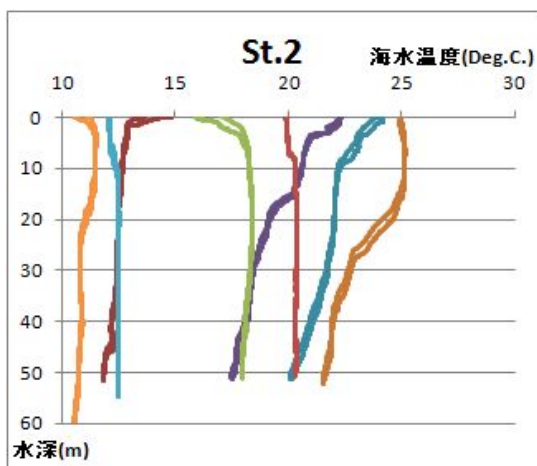
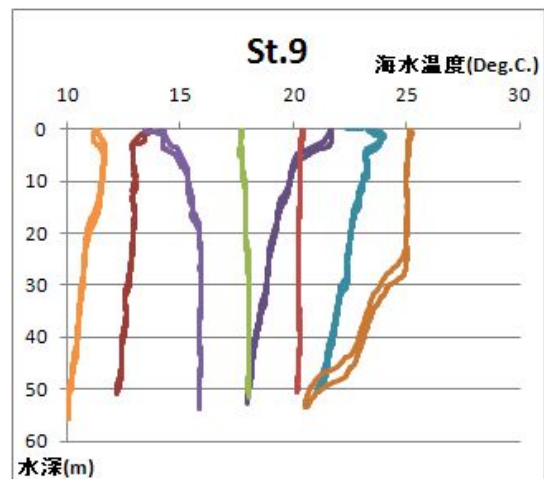
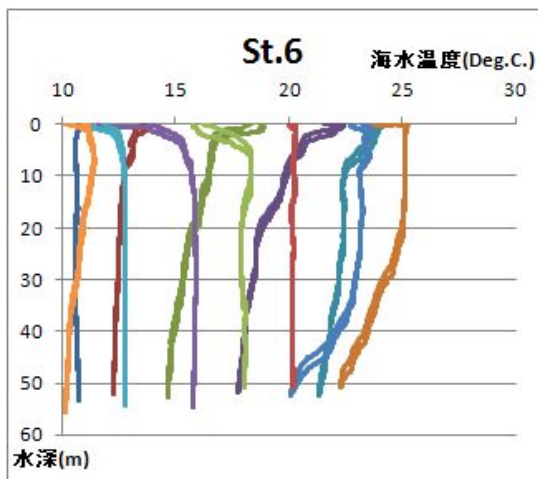
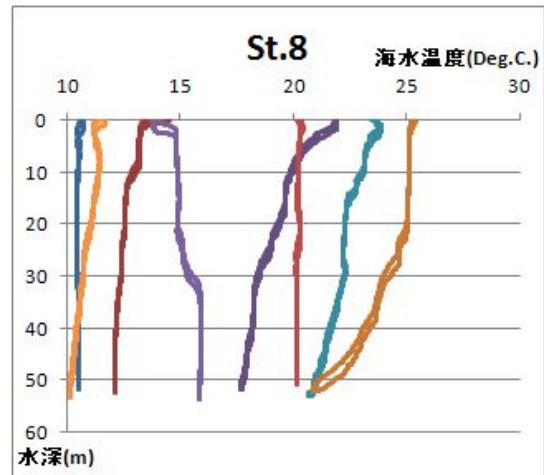
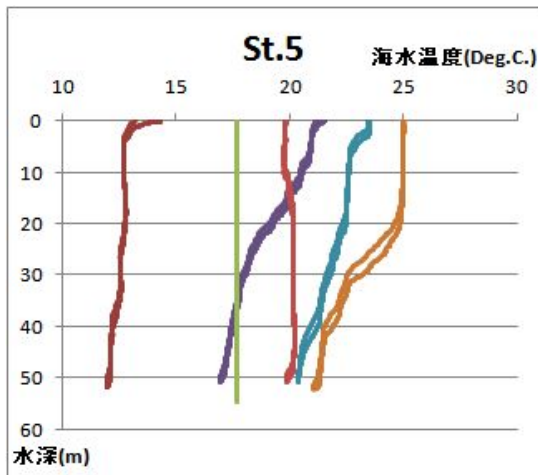
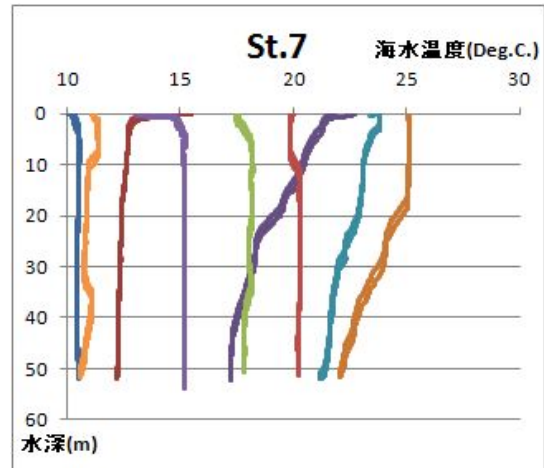
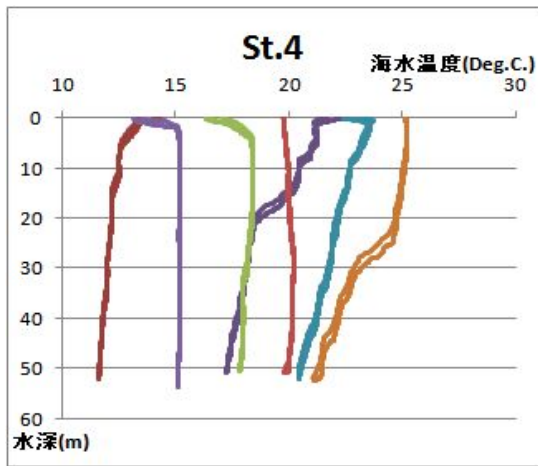


図 10 海水温度の鉛直分布の季節変動特性[2009 年 3 月～2010 年 2 月]
(本ページに St.1～3, 次ページに St.4～9 のデータを示す。)

— 3月 — 4月 — 5月
— 6月 — 7月 — 8月
— 9月 — 10月 — 11月
— 12月 — 1月 — 2月





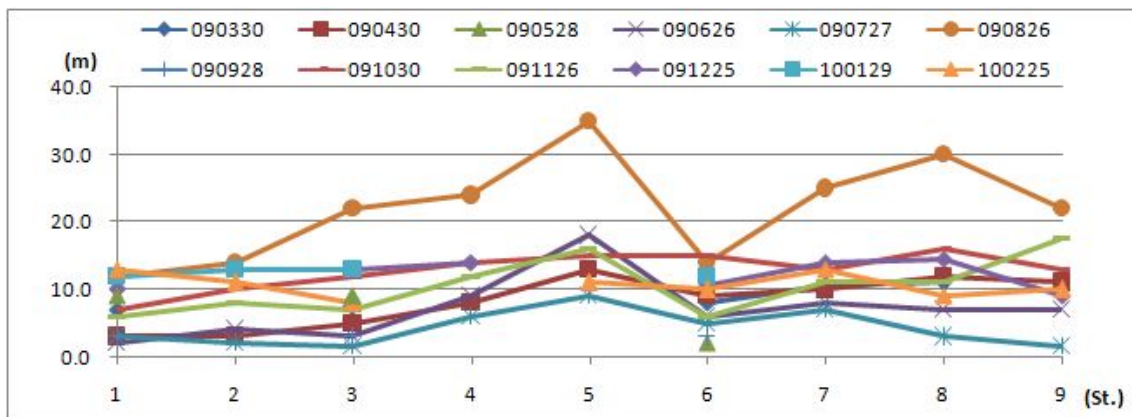


図 11 透明度の季節変動特性[2009 年 3 月～2010 年 2 月]

[8 月 26 日の観測の高透明度は、以下の 2 要因が複合したものであると推測できる。

- ・ 高塩分の対馬暖流水の影響が強く、これが水深約 30m まで影響している。
- ・ 観測日を含めて数日間が降水が殆ど無い状態であった。富山アメダスにおいては、8/22～8/26 の降水量は 0mm である。これより河川水流入が減っていたと思える。]

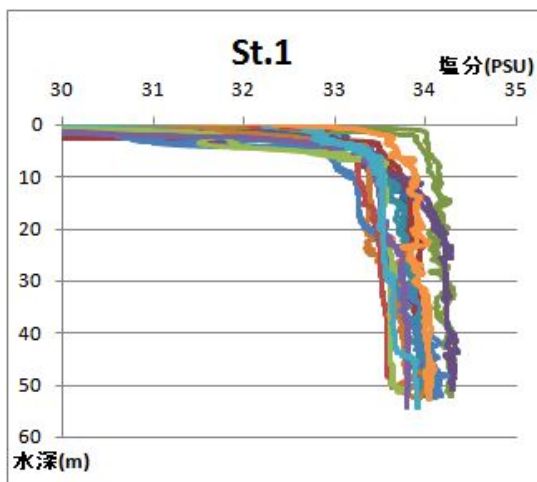
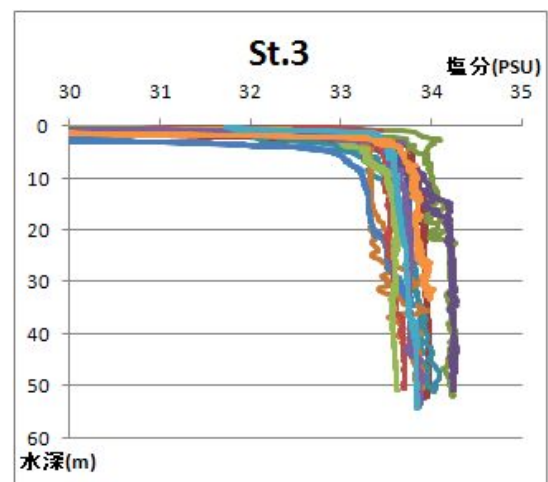
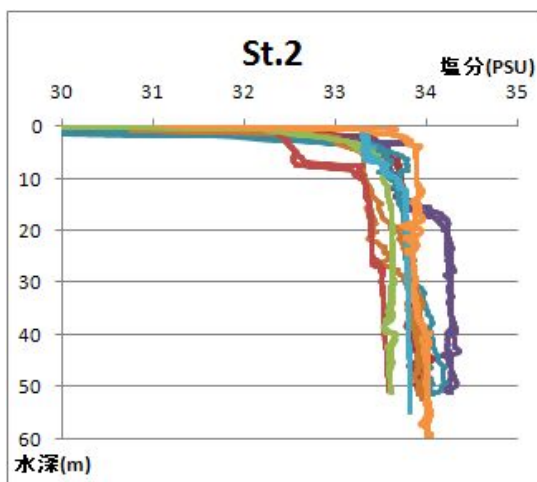
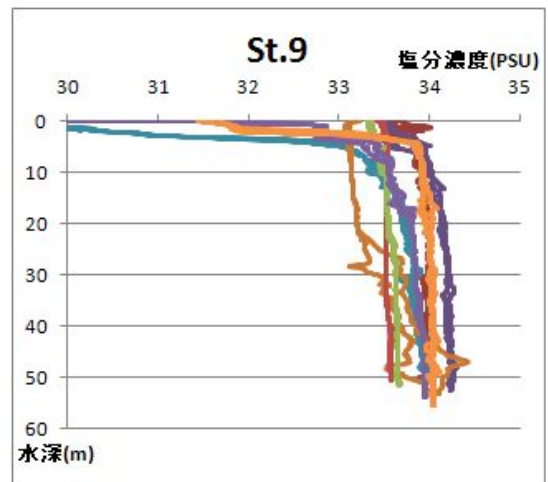
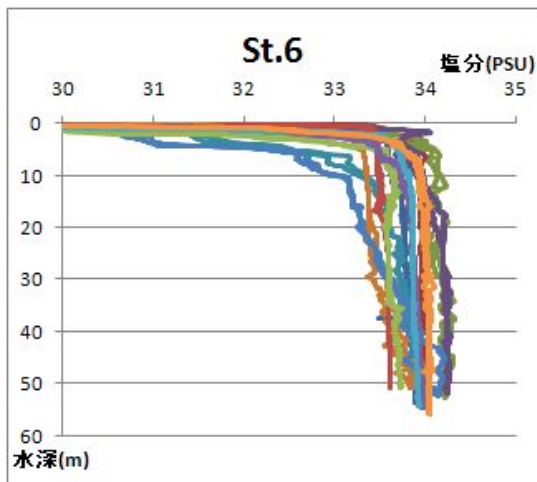
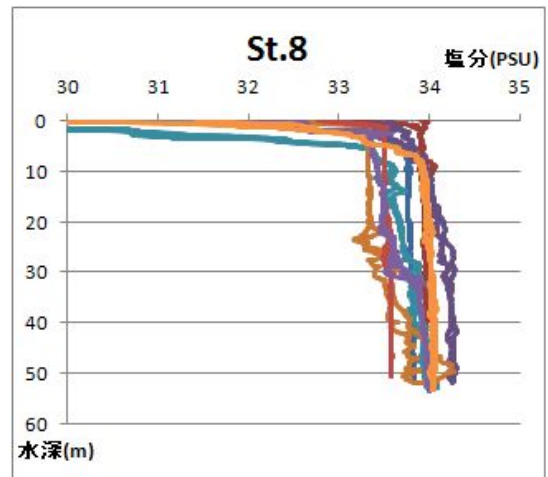
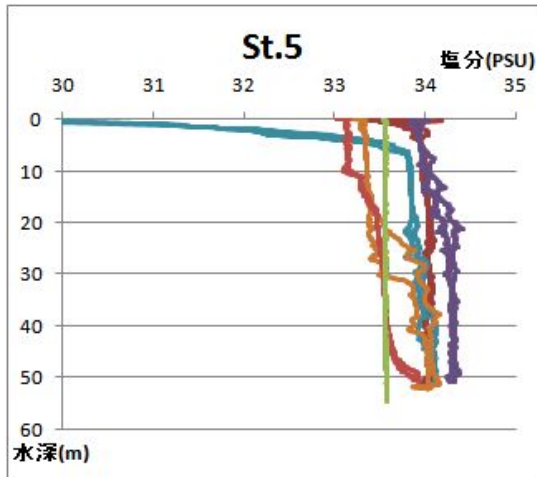
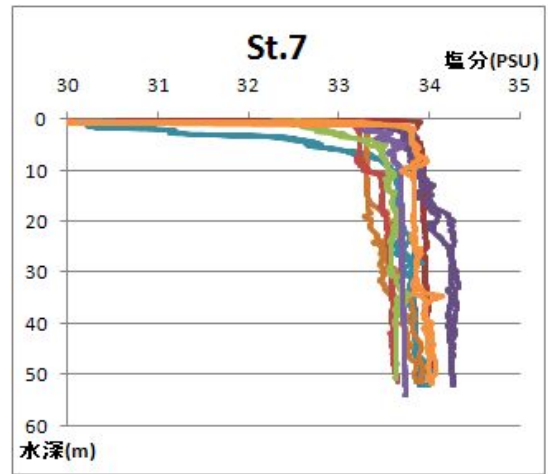
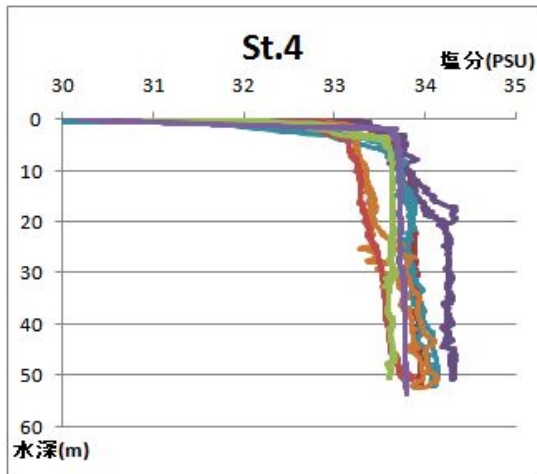


図 12 海水温度の鉛直分布の季節変動特性[2009 年 3 月～2010 年 2 月]

(本ページに St.1～3，次ページに St.4～9 のデータを示す。)

- 3 月 — 4 月 — 5 月
- 6 月 — 7 月 — 8 月
- 9 月 — 10 月 — 11 月
- 12 月 — 1 月 — 2 月





2.3 CTD 観測結果及び考察

図4の「若潮丸」CTD 観測結果（温度）より、夏場には太陽放射の加熱による水温影響が水深約 100 m 程度まで直接的に及び、冬場の鉛直循環も約 100 m 程度まで及んでいることが分かる。また図5の CTD 観測結果（塩分）から、夏場において対馬暖流水の影響が強い場合は、水深約 30～50 m に及び、低塩分の沿岸表層水の影響が及ぶ範囲と接していることが分かる。これらと比較しながら、2009 年度における季節変動特性を考察する。

海水温度の特性

図10の海水温度データを見ると、表層の温度が約 20℃を下回り 10℃以下となる10月から4月までは、冬季の鉛直循環により海水温度が一定となる傾向が見えている。しかし、6月においては、表層温度が 20～25℃の間となり、鉛直循環は見られない。例年のデータを見ると、この5か6月において、冬場から夏場の傾向に変化していく。6～9月においては夏場の傾向となるが、8月が表層で約 25℃の一番高温度の時期となっている。また、この8月のデータでは、どのポイントにおいても水深約 20 m までが一定値を示している。これは透明度の図の注釈でも示しているが、この数日間降水量が非常に少なかったため、河川水の流入も少なく一定値になったと思われる。

全体的に見ると、特に沿岸部の St.1,2,3,6 においては水深約 10 m までの温度変化が大きく、特に神通川や富山新港からの流出水が強く影響しているものと思われる。同じ沿岸部でも、St.9 では、こうした影響が小さい。また、St.4,5 は、ほぼ同様の傾向を示している。これより神通川から出た河川水が沿岸沿いに東方向に流入していることが推測される。これも例年通りの傾向であるが、この強さが年変動していることも考えられるので、今後、実情と原因を検証していきたい。

海水塩分濃度の特性

図12の塩分データでは、表層においては全体的な平均塩分濃度より低めであり、水深が深く成るにつれて上がってくる傾向がある。そして、これらの値は水深が約 200～300 m に存在する対馬暖流水の値に収束していくものと推測できる。全体的に見ると、水深が約 20 m 以上においては6月が 34 PSU 以上の高塩分のピーク時であることが分かる。また、透明度が高い8月においては、水深が約 30 m において、33 PSU 程度の低塩分から 34 PSU 以上の高塩分にシフトしていくのが確認できる。また7月においては、表層から水深約 10 m において、30～33 PSU の低塩分層が広く分布していて、特に St.4,5,7,8,9 で顕著に見られる。この観測の一週間程前は降雨日が多く、この影響が表層に出ているものと思われる。神通側河口から沖合いに離れる、St.3,4,5 においては、冬場の鉛直循環の状況を見ると、沖合いに行くにつれて、河川水の影響が減っていく全体傾向が見られる。St.7,8,9 では、この傾向がさらに弱くなる。これは、湾内の半時

計廻りの海流の影響と考える。これは例年通りの傾向である。

2.4 ADCP 調査概要

(1) はじめに

富山湾の海底地形特性や、海水の鉛直方向構造により、富山県沿岸部に存在している、外海の手流の分枝、 潮汐に伴う潮流、 水温や塩分勾配による密度流等に様々な影響を与えていると思われる。実際には、こうした流れが複合して、現場の海域に発生するが、個々の影響は線形現象に捉えることができるので、全体的な特性の概略をつかむ事は可能と考える。「富山湾プロジェクト」では、富山湾内に 9 観測定点を設け、月 1 回の海洋環境の実船観測を行っている。これに併せて、ADCP による海潮流の計測を行い、この計測手法を確立すると共に、現象の定量的把握を行う。そして、流体力学に基づく数値シミュレーションを実施、こうした現象のメカニズムを解明し、その予測技術の確立を目指していく。こうした富山県沿岸部における、海潮流の季節・時間・場所的な流向流速特性を把握し、その予測技術を確立できれば、船舶運航、防災、漁業、海岸施設、海洋環境保全等の多くの分野に貢献できる。

そこで、まず、「さざなみ」を小型 ADCP 搭載測定用にシステム化した。この小型 ADCP は、航走中の船舶に搭載して海潮流の流向及び流速を測定することができる。そして、センサー部を水面に挿入固定するために、船体の外舷にフィットする金属性の取り付け金具を作成した。この取り付け位置はセンサーから照射する超音波ビームが船体による影響を受けない位置にある必要がある。また、船舶の航走により生じる気泡の影響が極力小さい位置にある必要がある。今回は RDInstruments 社の WorkHorseADCP を採用した。この仕様を表 7 に示す。図 13 に、ADCP による流向流速計測の概念を示す。ADCP では海底からの超音波反射が検知でき、これによる対地速力を用いるボトムトラッキングモードでは高精度の測定が行える。本研究で検討しているシステムでは水深約 100 m まで、このボトムトラッキングモードでの測定が可能である。これ以上の水深においては、GPS 測位の対地速力を利用した、GPS モードとなる。実際には同 ADCP を搭載した「さざなみ」により、図 9 で示した定点、で各 5～10 分程度停船させての海潮流の多層観測を行った。そして、この計測時間帯において、小型 CTD により海水の水温、塩分等の鉛直分布の把握を行う。

そして、計測により収集したデータの解析を行い、海潮流の発生メカニズムの検討を行う。ここで海潮流については、「潮流流」、「海流」、「密度流」、「吹走流」の複合したものが「海底地形の影響」を受けて実際の形になっていると思われる。この観測で取得したデータにより、これらの要因を客観的に整理することができ、その相互関連性も把握できると思われる。また研究背景に示した、富山湾の海水の鉛直構造も、その特徴を解析するうえでの大きな要因になっていると思われる。

そして、こうした現象のメカニズムを解明し、予測技術を確立していくために、流体力学に基づく数値シミュレーションを試みた。

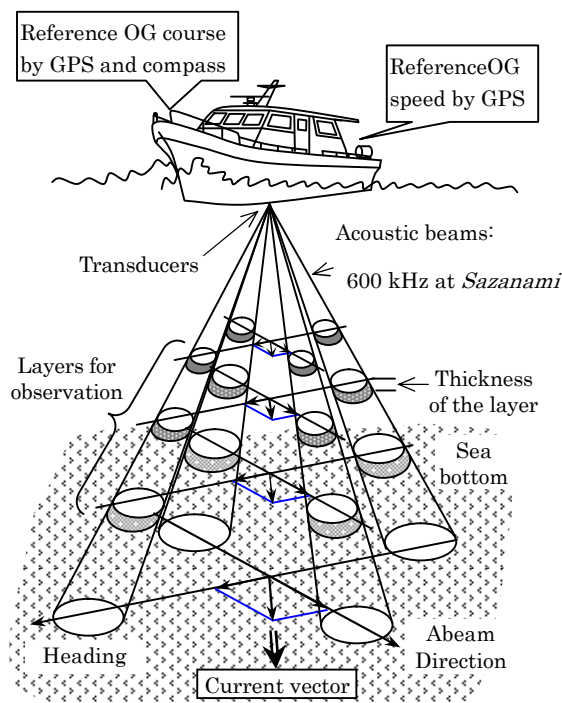


表7 「さざなみ」搭載 ADCP の主要目
(RD Instruments: WorkHorse ADCP、
コーディネイトは(株)SEAによる。)

Items	Range
Oscillation center frequency	600 kHz
Layer thickness	0.5 ~ 4 m
Number of layers	1 ~ 128 layers
Measurement accuracy	± 1 mm/s
Maximum measurement depth	100 m

図13 船舶搭載型 ADCP による流向流速計測(参考針路はシステム内蔵の磁気コンパス、参考船速は海底反射波のドップラーシフトより得る。)

まずは「さざなみ」における ADCP 観測のシステム化を行った。外舷に取り付ける専用金属製治具の作成を行い、観測実験を行った所、船速が約5ノットまでは正常な観測が可能であることが分かった。ここで、「さざなみ」は船体がFRP製であることもあり、ADCPの内蔵磁気コンパスが参考針路として十分に作用していることが確認された。そして、水深が約70~80mまではボトムトラッキングモードでの高性能の測定が可能であることが分かった。また、専用の小型GPSを接続してのGPSモードでの試験も行った。ここでも、停船中の観測において、船の流され方が、ほぼ一定方向と針路であれば、おおよその流向流速ベクトルを把握できることが分かった。こうして ADCP 観測のシステム化が行えた^{[12],[13]}。

(2)富山湾プロジェクト定点での観測

富山湾プロジェクトの毎月1回の観測航海にて、ADCP 観測を行った。図14に観測結果例を示す。これは、2009年3月9日に実施した観測における、図9のSt.6における観測結果である。ここで、諸観測で10分程の停船を行っているが、赤線は風や潮流された船の航跡を示している。そして、青線が観測された流向流速ベクトルを示してい

る。これより、水深が約 3 m においては、ENE 方向に約 0.2 m/s の流れがあることがある。当システムでは、水深が 2 m 毎に各面における流向流速ベクトルを把握することが可能となった。

図 15 には図 9 の全点における、水深が約 3 m、10 m における、流向流速ベクトルを示す。こうして湾内全体の流れの傾向を知ることが可能となった。ここでは上げ潮時のためか、全体的半時計回りで、沿岸部では陸岸に沿って流れる傾向が見られる。

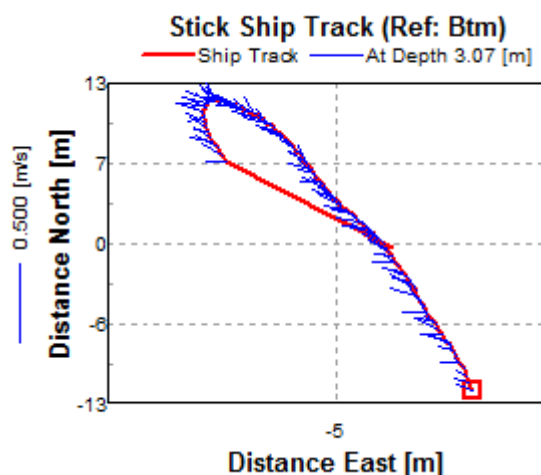


図 14 ADCP 観測結果[ボトムトラッキングモード]
(青線：図 2 の St.6 の水深約 3m における流向流速ベクトル、赤線：船の航跡)

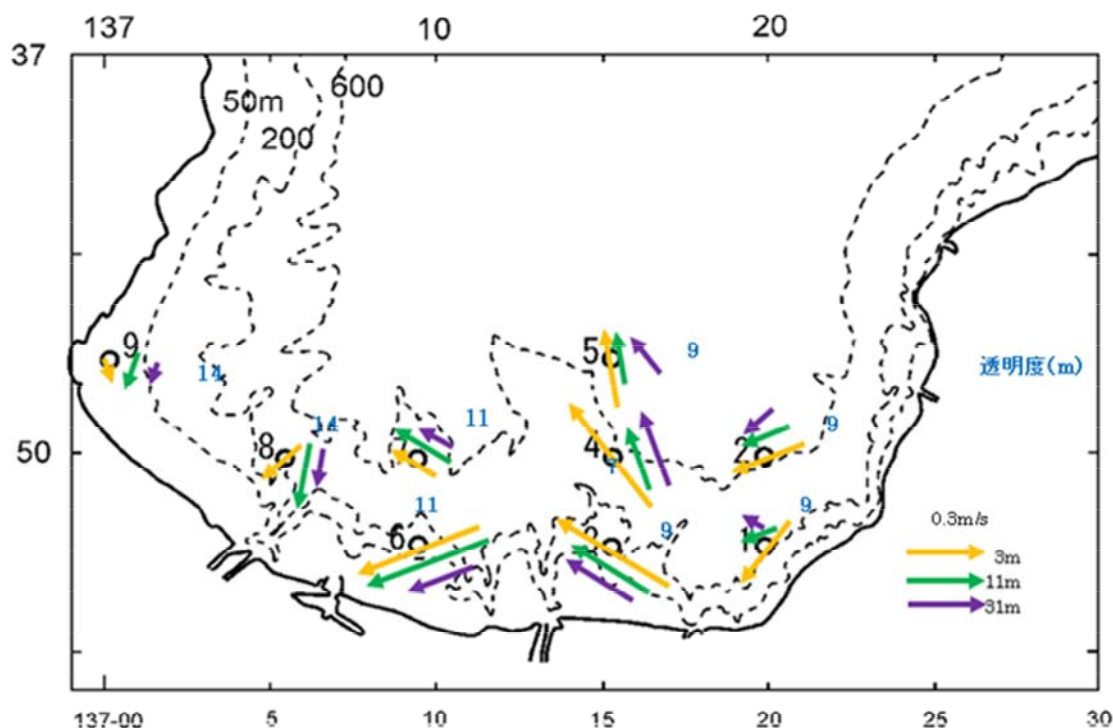


図 15 2009 年 3 月 9 日での流向・流速（水深 3m/11m/31m 付近・透明度）

図 15 は同様に、2009 年 6 月 26 日に実施した観測結果である。ここでは潮流の停滞時であるためか、全体的には等深線に沿った時計回りの流れが、水深が約 3 ~ 31 m において確認できる。しかし、St.2,6,8 では、反対方向の流れが確認され、St.9 では他よりも流れの強さが弱く、水深による方向も一定していない。

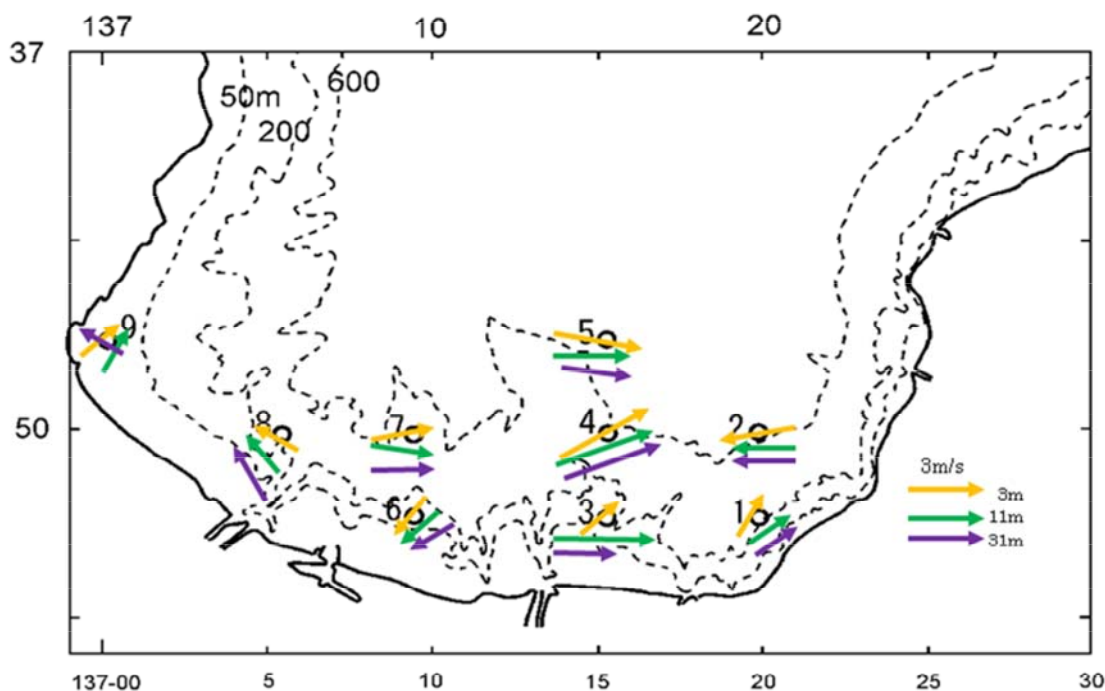


図 16 2009 年 3 月 9 日での流向・流速（水深 3m/11m/31m 付近・透明度）

(3) 小矢部川及び庄川河口エリアの連続観測

図 16 に図 9 に示す河口観測エリアの拡大図と、観測ルートを示す。ここでは小矢部川と庄川の河川水が多く流入し、海底谷が直近まで食い込む、複雑な海底地形となっている。

そこで、前記の一連観測の最後にこのエリアの連続観測を行った。まず、伏木指向灯前の航路ブイの近辺で停船し採水観測を行った。その後、5 ノット程度で航走し小矢部川に侵入する。内部で停船して採水した後に、反転し庄川河口を目指す。庄川河口近辺で停船して採水を行う。これが一連の動作となる。ここで、ADCP 取得データ例を図 17 に示す。これは、A→B→C と移動した際のデータであり、横軸にこれらの位置を示した。また、水深が約 50 m までは、ボトムトラッキングモードでのデータ取得が可能である。上段の流速の深度分布を見ると、流速が約 0.15 m/s 以下と非常に弱いことが分かる。そして、下段の流向分布を見ると、場所と深度により、流向が大きく異なることが分かる。河口から出た所では、水深が約 10 m までは、西から南方向に約 0.1 m/s の流れの層があることが分かる。また、B 近辺の水深が急激に変化する部分では、低部に河を遡る反流が確認できる。

今後、こうしたデータを蓄積し、このエリアの流れのメカニズムを解析し、これを富山湾全体の流れの把握につなげていきたい。

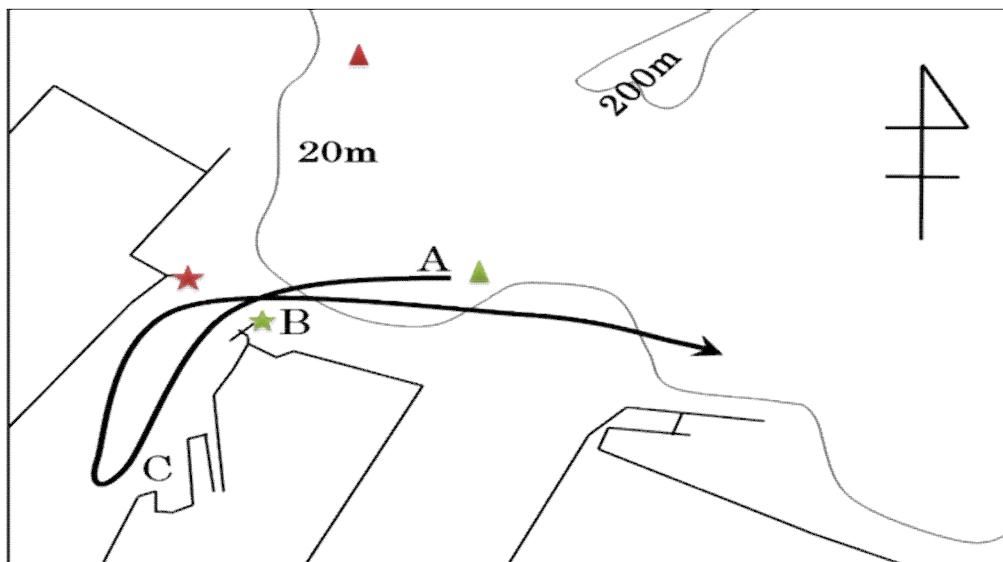


図 16 小矢部川及び庄川河口エリア(A,B,C は図 17 に示すポイントとなる。)

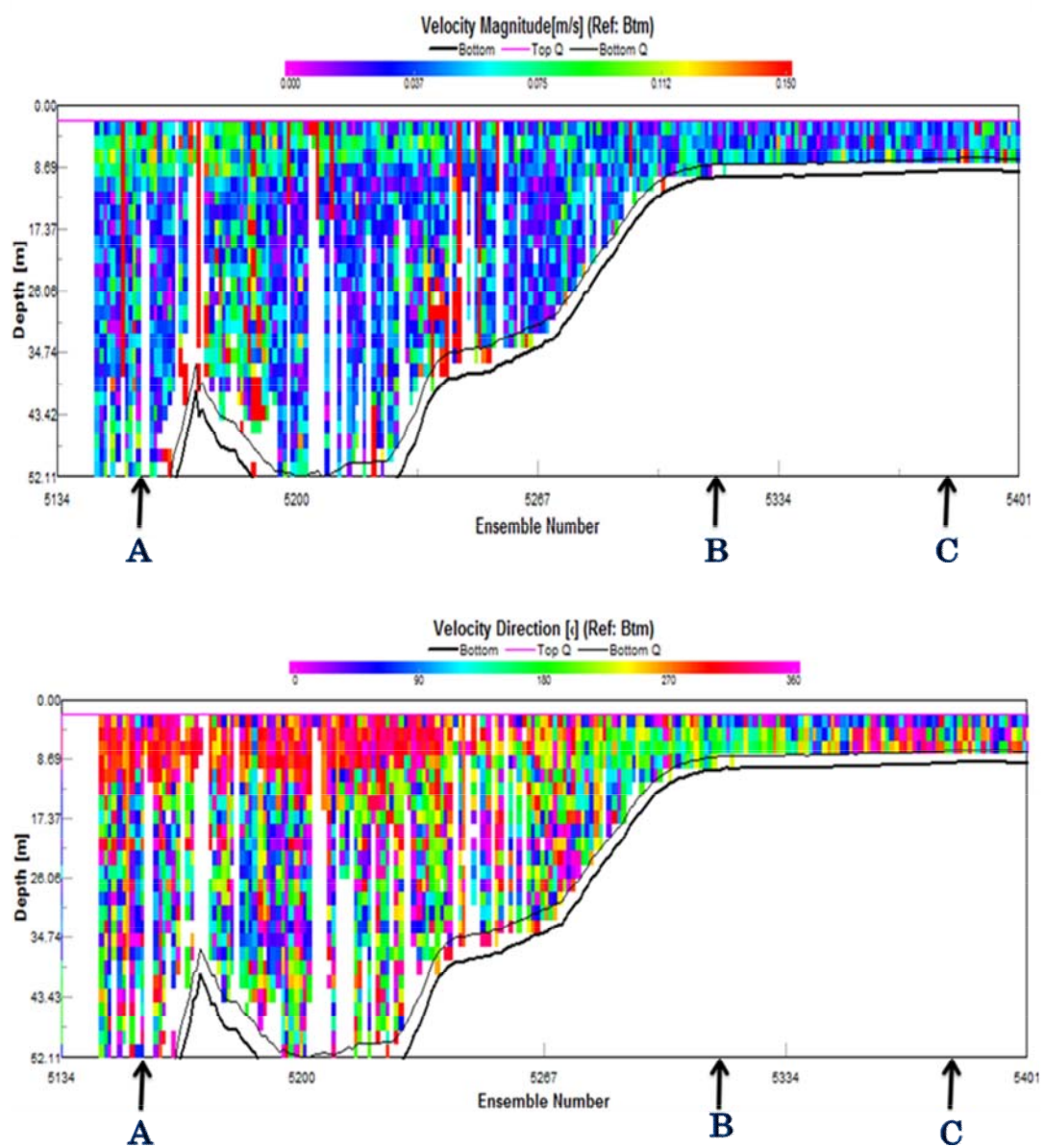


図 17 2008.9.25 観測時の小矢部川河口域の流速（上段）、流向（下段）の深度分布

(4)数値シミュレーション

沿岸域における ADCP・CTD 観測のデータを利用し、数値シミュレーションを行った。富山湾への流入河川である庄川を対象とし、数値シミュレーションを用いて汽水域における流動場の解析を行った。はじめに図 18 で庄川での塩分の鉛直分布の観測値を示す。上図は 2006 年 7 月 16 日の結果で、下図は 2006 年 8 月 13 日の結果である。グラフ左端が河川上流部で河口から約 4 km の位置で、右端が河口に位置する。この区間で 10 ポイントの観測点を設けた。縦軸は水深である。7 月 26 日は降雨による増水直後の結果で、観測全域でほとんど淡水であることが分かる。8 月 13 日の結果では水深 1.0 ~ 1.5 m 付近で塩分躍層が確認できる。数値シミュレーションでは、増水後から平水時に戻る際の海水と淡水の挙動のシミュレーションを行った。シミュレーションの初期条件は、庄川内は淡水(図 18 上図の状態)とし、海側から潮汐により海水を流入させるものとする。24 時間後の結果が図 19 となる。上図は塩分を表わし、下図は速度ベクトルを表わす。この結果より約 1 日程度で、河口から上流部まで塩水楔が進入していくことがわかる。また、ADCP 観測では、河口域において表層と下層で反流が度々見られたが、図 18 下図の速度ベクトル分布をみるとその傾向がシミュレーションからも得られている。

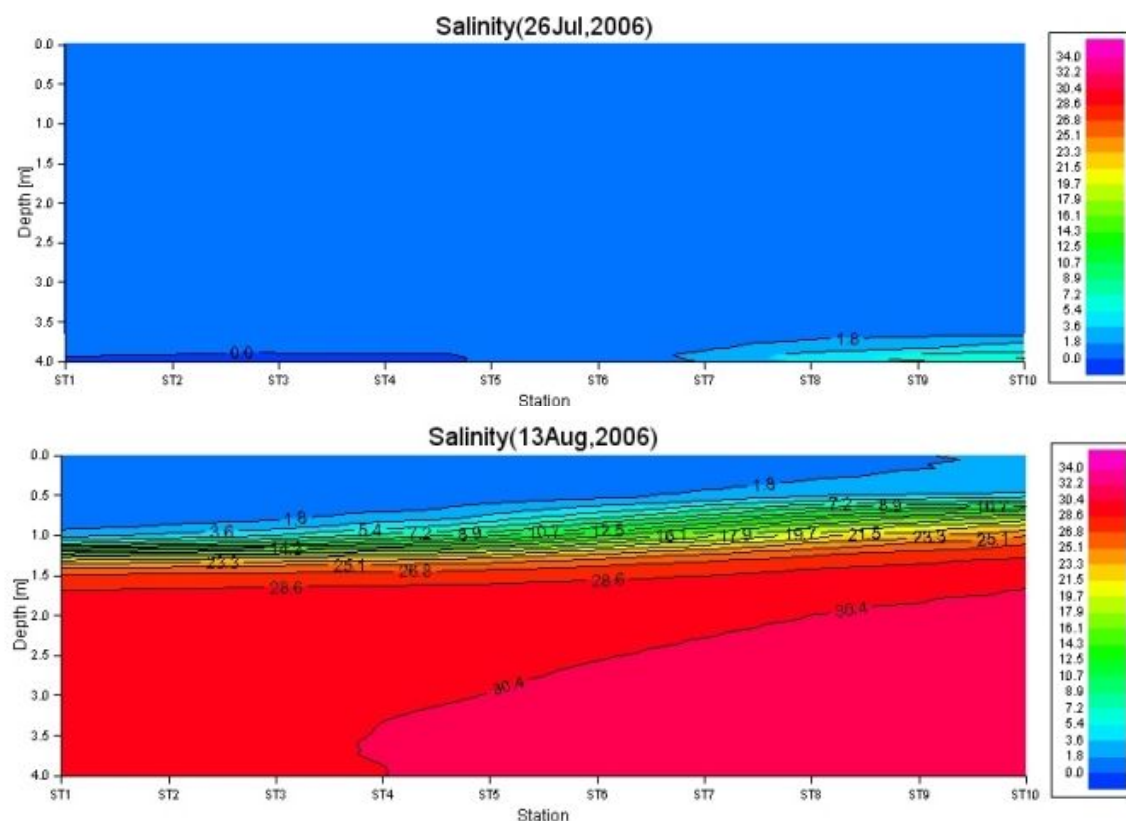


図 18 庄川での塩分鉛直分布 (CTD 観測値)

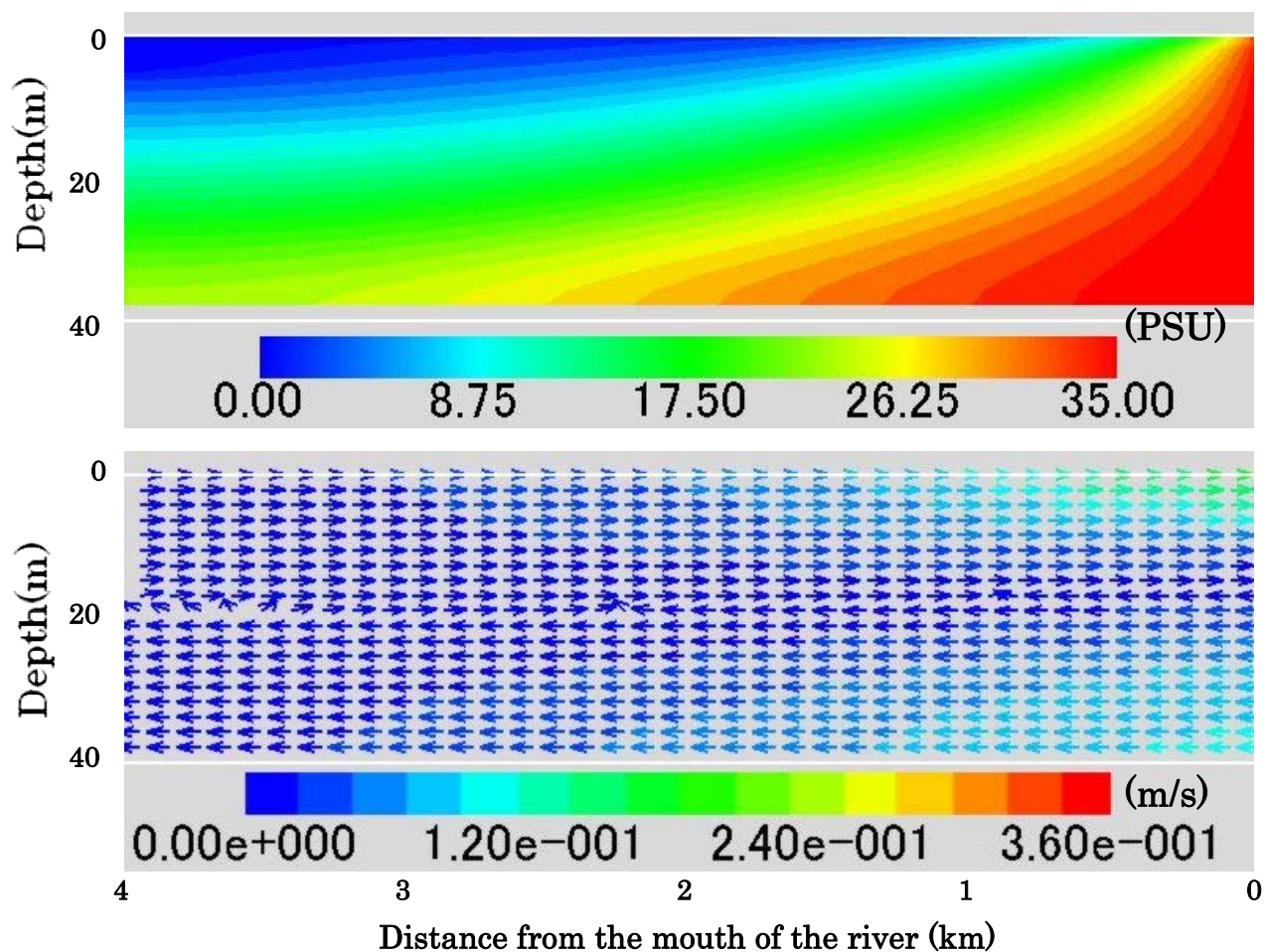


図 19 庄川における塩分(上图)と速度ベクトル(下图)のシミュレーション

庄川での塩分鉛直分布 (CTD 観測値)

(5) 今後の課題

現状観測において河川水の影響を把握し、これについては一部、数値シミュレーションによる検証が行えた。また、潮汐の影響による全体的な流れの傾向も把握できる。今後、沿岸部の複雑な海底地形が、こうした流れにどういった影響を及ぼすか解析する。

2.5 今後の展望

今回の一連の観測より得られた知見を示す。まず、沿岸に近い海域ほど、河川水の影響を受けることが分かった。また、この観測海域では半時計回りの大きな流れが存在する時期があり、この時には河川水が多く滞留する地域で、透明度が低くなり、塩分も低く、また海水温度の鉛直循環が弱くなることが推測された。こうした海水流動を実際に把握するために、ADCP 観測を試みた。

また本年度の 8 月の観測で見られたような、透明度が非常に高い場合の要因としては、夏場において対馬暖流の流入が強く水深が約 30 ~ 50 m の範囲まで影響を及ぼしている、晴天が続く河川からの流入量が少なく海水中の混濁物が少ないといった条件が重なる場合であると推測できた。図 4,5 に示した若潮丸による CTD 観測の経年データより、対馬暖流水の富山湾への流入状況は、年によって強弱の変動があることが推測される。ここで、さざなみにおけるこれまでの取得データの、季節、深さ、観測地点、年ごとの違いによる解析^[14]においても、こうした対馬暖流水の影響を考慮していきたい。また、2009 年 9 月には、千葉らが上越沖から富山湾の七尾沖に至る海域において、水中カメラ及び CTD による深海底の調査を行っている^[15]。ここでは、対馬暖流の水深 100 m 前後での流入状況が、上越沖から若潮丸観測定点まで、ほぼ同一の傾向を示すことが確認されている。

尚、この観測航海の大きな目的は、衛星画像と照合するシートルースデータの取得である。ここで有効なシートルースデータを得るためには、適当な間隔の海上定点の、適当な時間間隔での船上計測が重要である。この解析については(財)環日本海環境協力センターで進めている。また、観測航海においては富山大学理学部生物圏環境科学科環境化学計測第一研究室により、実際の海水をサンプリングしての分析が行われている。これら各パートの成果を複合させることにより、富山湾の海洋環境保全について、大きな成果が得られる事を目指すものである。

3 「寄り回り波」の実地観測と現象解析

3.1 はじめに

図 2 に日本列島西岸の中央部に位置する富山湾の配置を周囲の海底地形と共に示している。この富山湾は北部外海から繋がる水深が約 1,000 m を超える海底谷が陸岸近くまで密接する構造となっている。また、湾といっても外海に広く開けた形となっており、東京湾、伊勢湾等の閉鎖形状湾とは異なる特徴を有している。富山湾は図 2 に示すように、北東方向からの波浪が侵入しやすい形状にあり、特に北海道西方沖での風浪を源とする長周期のうねりが、卓越波浪として侵入するが多い。こうした中で、富山湾には古くより「寄り回り波」と称する特異波浪が観察され、船舶や沿岸域の建築・土木設備や人命に大きな被害を与えてきた^[16]。この現象は富山湾から遠く離れた北海道東方に発達した低気圧がある場合に発生しやすいものである。これは富山湾特有の大きな波高を持ったうねりであり、湾内の強風が収まった後突如として来襲することがある。その原因は、主に北海道西方海上で発生した風浪が、うねりとして富山湾に伝搬してくることにある。北海道あるいはその東方海上に発達した低気圧があり、北海道西方海上で北よりの強風が長く続くと、この海域で高波が発生し、この高波が南南西に伝搬していく。こうして富山湾まで伝搬してきた波は富山湾の水深分布の特性により、エネルギーが減衰されることなく沿岸に達する。結果として、風が静穏である時に、突如として沿岸部を大波が襲うことになる。2009 の 11 月 16 日には、富山湾には局所的ではあるが、昼頃から夕方にかけて、この顕著な寄り回り波が襲来した。この日は北海道北東方海域で発達した低気圧が停滞する状況であり、これにより海老江沿岸では数 m に達する沿岸波高が観測されている^[17]。

この寄り回り波は、同じ富山湾の沿岸でも、この影響が顕著な地域と、そうでない地域とが存在する。こうした現象が起こるのは、図 2 で示したような富山湾の複雑な海底地形に、特有の性質を持った波が伝搬するに当たり、特別な増幅器やフィルター効果を及ぼしていると考えられる。この寄り回り波の発生メカニズムを知り、その予測及び防止対策を考えることは重要なことである。また、この複雑な海底地形に起因した富山沿岸部の波浪災害の防止にも貢献できると思える。また、こうした現象解析が、富山湾の水塊構造やその流動特性の現象把握にも関連していると考ええる。

3.2 富山湾における波浪観測

富山湾では、NOWPHAS（全国港湾海上波浪情報網）と呼ばれる波浪観測システムの一つとして、超音波式波高計が伏木沖及び富山沖に設置されている。波高計が設置されている水深は、伏木沖は 46.4 m、富山沖は 20.0 m である。これによりその地点の波高・周期・波向等を知ることが出来るが、設置されている地点の水深が浅いため、波が海底の影響を受けている事を注意しなければならない。

3.3 寄り回り波の屈折計算

寄り回り波は富山湾の海底地形の影響を受けて屈折することで大きくなると考えられている事は先に述べた。具体的にどのような経路を通るのか解明するためには、波の屈折計算により検証する必要がある。屈折計算の前に、寄り回り波となるうねりが深海にあるときの波長を求める必要がある。

$$L_0 = 1.56 T_0^2$$

L_0 : 深海波の波長[m] T_0 : 深海波の周期[sec]

海底の影響を受けることにより波長が変化しても、波の周期は変化しないため、周期はビデオから読み取った。すると平均して9秒から14秒であったため、間をとって12秒で計算することにする。これを上式に代入すると、

$$L_0 = 1.56 \times 12^2 = 225 \text{ [m]} \quad (3.1)$$

となり、波長が225[m]で湾内に侵入してくることがわかる。

海底の影響による波の屈折は、以下の式で求めることができる。

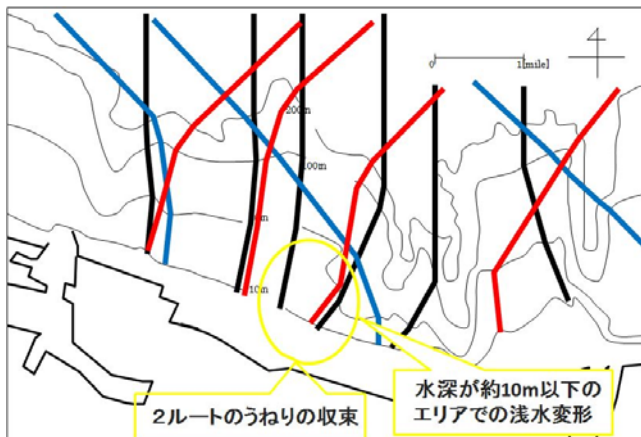
$$\alpha = \sin^{-1} \{ (C / C_0) \sin \alpha_0 \} \quad (3.2)$$

α : 屈折角 α_0 : 深海波における入射角

C/C_0 : 深海波速に対する任意地点における波速の比

係数 C / C_0 は、文献[17]に掲載されている表を読み取ることでより数値を求める。

また、深海波長に対する任意地点の波長の比 L / L_0 は、 C / C_0 と等しい。



周期12秒(深海波長225m)のうねりの屈折
[NW, N, NEからの侵入パターン]

図20 周期12秒のうねりの侵入
ルートの屈折計算結果

(3.2)式を用いて水深20m毎に計算し、これを海図上に書き入れた図が左のものである。波向は北・北西・北東の三方向から到来したものとし、海底の影響を受け始めるとされる水深(2分の1波長、約120m)より少し深いところ(水深200m)から計算を始める。この結果、海底谷が海岸近くまで来ている地域には波が集まらず、この両脇の地域には波が集まっている様子がわかる。具体的に言うと、波は海老江・岩瀬において収束し、堀岡・四方において発散している。収束していると述べた地域は寄り回り波の被害が実際によく発生している地域と等しいため、海底谷が寄り回り波に与えている影響が大きいことがわかる。

3.4 「寄り回り波」の実地観測

11月16日の午後に発生した寄り回り波を、富山高専の展望台よりビデオカメラによる撮影を行ったのでここに報告する。尚、この時の風向は南から南西、風力は3~4であり、北東方向から卓越したうねりが海岸線に押し寄せていた。大きな被害を出す程の波で無く、また風浪も殆ど存在しないために、うねりの伝搬のようすを良く捉えることができる。写真1はそのとき撮影した映像の一部を切り取ったものである。周期12秒で文献^[18]を参照して計算したうねりの海岸付近での波長は50~100mである。この海面で富山高専所有の実習艇(全長約8m)を走らせ、この画像と比較した所、波長はおおよそこの範囲で間違い無いと考えることができた。図21に示すとおり、北東から北北東の方向からうねりが進入していると考えた場合、これが矢印の右側の海底谷で屈折し、図中に示す2つの方向から来る波が沿岸部で合成されていると考えられる。動画を観察することにより、二つのうねりが干渉する様子が推測できる。尚、海底谷の直近の四方沖では顕著な寄り回り波が発生していない。

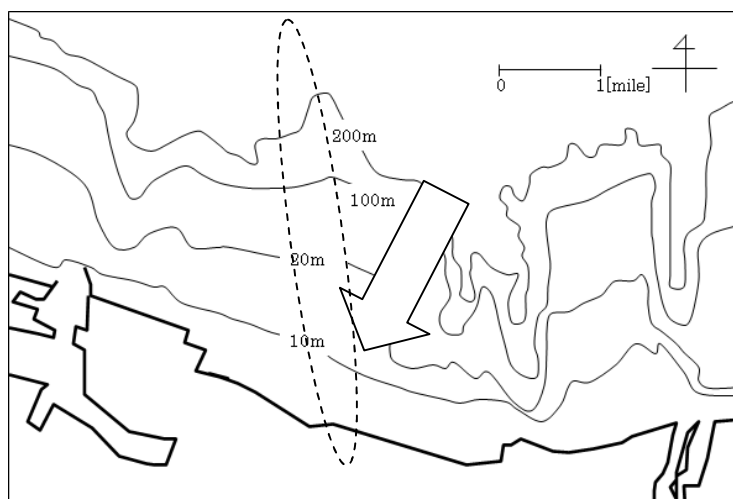


図 21 富山県射水市海老江沖の海底地形及びうねりの進入方向（矢印）



図 22 図 21 に示す範囲におけるうねりの伝搬の状況(富山高専校舎の展望台より撮影)

文献

- (1) (財)日本水路協会「日本近海 1000 m メッシュデジタルデータ 北海道・東北海域」
- (2) 千石加奈：「多層モデルを用いた富山湾の数値シミュレーション」, 富山商船高等専門学校情報工学科 2003 年度卒業論文
- (3) 田口一夫, 田畑雅洋：「海洋計測工学概論」, 成山堂書店, 1997 年 1 月
- (4) (株)エス・イー・エイ：「富山商船高等専門学校 若潮丸 CTD, ロゼット採水装置及び CTD ウインチ 完成図書」, 1998 年
- (5) Hatta, M., J.Zhang, H.Satake, J.Ishizaka and Y.Nakaguchi(2005) " Water Mass Structure and Fresh Water Fluxes (Riverine and SGD's) into Toyama Bay, " Chikyukagaku(Geochemistry), Vol.39(in Japanese)
- (6) 千葉元, 古山彰一, 横井幸治：「船舶搭載型 ADCP による対馬海流の流向流速計測」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 127 巻 5 号, 2007 年 5 月
- (7) 古山彰一, 千葉元, 横井幸治, 橋本心太郎：「富山湾の水塊・潮流の季節変動調査報告 - 2008 年度若潮丸による CTD・ADCP 調査—」, 富山商船高等専門学校研究集録, 42: 55-61., 2009 年 7 月
- (8) 古山彰一, 千葉元, 横井幸治, 笹谷敬二, 三宅一輝, 橋本心太郎：「富山湾の季節的な水塊構造変動の調査報告」, 海洋気象学会例会講演要旨集, 120: 1-4., 2010 年 2 月
- (9) 柳哲雄：「海の科学」, 恒星社厚生閣, 2001 年
- (10) J.Zhang and H.Satake, " The Chemical Characteristics of Submarine Groundwater seepage in Toyama Bay, Central Japan ", In: Land and Marine Hydrogeology(eds. M.Taniguchi, K.Wang and T.Gamo), pp.45-60, 2003
- (11) 財団法人環日本海環境協力センター：「平成 19 年度環境省委託業務 北西太平洋地域海行動計画活動推進事業報告書」, 2008 年 3 月
- (12) 海洋音響学会 編：「海洋音響の基礎と応用」, 成山堂書店, 2004 年 1 月
- (13) Hajime Chiba, Sho-ichi Furuyama, Koji Yokoi and Emi Kanayama, " Observations of Current Direction and Speed by Shipboard ADCP and GPS Reference Data ", International Symposium on GPS/GNSS 2008 in Tokyo, 2008.11
- (14) 渡辺良美, 松浦知徳, 千葉元：「観測データ解析に基づく富山湾沿岸の水塊の季節変動特性」, 第 3 回富山大学研究推進フォーラム(環境編), 富山市, 2009 年 12 月
- (15) 千葉元, 竹内章, 三輪哲也, 鮑巴達拉胡, 松本恭平, 古山彰一：「CTD データ・深海画像による富山湾の海洋構造調査」, Blue Earth ' 10, BE10P-32, 2010 年 3 月
- (16) 吉田清三 編著：「必読 北陸の海難に学ぶ」, たにむら印刷, 1999 年 5 月
- (17) 布目明弘, 千葉元：「2009 年 11 月 16 日に富山湾海老江沖に発生した「寄り回り波」の実況及び現象解析報告」, 海洋気象学会例会講演要旨集, 120: 5-6., 2010 年 2 月
- (18) 磯崎一郎：「波浪学の ABC」, 成山堂書店, 2006 年 8 月

平成 21 年度富山湾海域モニタリング調査関連学会等発表リスト

富山大学・富山高等専門学校

1. 中川和也・波多宣子・倉光英樹・田口 茂・千葉 元 (2009) 河口域における形態別リンの挙動と富山湾の水質汚濁, 日本分析化学会第 58 年会, 札幌市.

2. 渡辺良美・松浦知徳・千葉 元 (2009) 観測データ解析に基づく富山湾沿岸の水塊の季節変動特性. 第 3 回富山大学研究推進フォーラム (環境編), 富山市.

富山高等専門学校

3. 千葉 元・金山恵美・田近茂樹・東山茂勝・井口眞司・古山彰一・朝野洋・若林信一 (2009) 富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性 - 第 5 報 - - 実習船「さざなみ」による海洋環境計測 -, 富山商船高等専門学校研究集録, 42: 19-27.

4. 古山彰一・千葉 元・横井幸治・橋本心太郎 (2009) 富山湾の水塊・潮流の季節変動調査報告 - 2008 年度若潮丸による CTD・ADCP 調査 -, 富山商船高等専門学校研究集録, 42: 55-61.

5. 古山彰一・千葉 元・横井幸治・笹谷敬二・三宅一輝・橋本心太郎 (2010) 富山湾の季節的な水塊構造変動の調査報告, 海洋気象学会例会講演要旨集, 120: 1-4.

6. 布目明弘・千葉 元 (2010) 2009 年 11 月 16 日に富山湾海老江沖に発生した「寄り回り波」の実況及び現象解析報告, 海洋気象学会例会講演要旨集, 120: 5-6.

7. 千葉 元・竹内 章・三輪哲也・鮑巴達拉胡・松本恭平・古山彰一 (2010) CTD データ・深海画像による富山湾の海洋構造調査, Blue Earth'10, BE10P-32

財団法人環日本海環境協力センター・名古屋大学

8. Genki Terauchi, Ryo Tsujimoto and Joji Ishizaka (2010) Assessment of eutrophication status in Toyama Bay based on the “Procedures for assessment of eutrophication status including evaluation of land based sources of nutrients for the NOWPAP region”. The second Yellow Sea regional science conference, Xiamen, China.

財団法人環日本海環境協力センター

9. 辻本 良・寺内元基・加藤寿美・あん まくどなると・米田 満・藤 則雄 (2010) 里海としての富山湾・七尾湾・舢倉島. 里山里海サブグローバルアセスメント, 北信越クラスタレポート.