

平成 24 年度環境省請負業務結果報告書

平成 24 年度  
海域の物質循環健全化計画検討  
(播磨灘北東部地域検討) 業務

報 告 書  
(案)

平成 2 5 年 2 月

社団法人 瀬戸内海環境保全協会



# 目次

|       |                          |    |
|-------|--------------------------|----|
| 第1章   | 業務内容                     | 1  |
| 1.1   | 要約                       | 1  |
| 1.2   | 背景と目的                    | 3  |
| 1.3   | 業務概要                     | 3  |
| 1.3.1 | 業務名称                     | 3  |
| 1.3.2 | 業務位置                     | 3  |
| 1.3.3 | 履行期間                     | 3  |
| 1.4   | 業務の実施方針                  | 3  |
| 1.5   | 業務の実施工程                  | 4  |
| 第2章   | 播磨灘北東部地域の栄養塩類の循環状況と滞りの要因 | 6  |
| 2.1   | 播磨灘北東部海域の現地調査            | 6  |
| 2.1.1 | 調査内容                     | 6  |
| (1)   | 深浅測量調査                   | 6  |
| (2)   | 水質の鉛直測定調査                | 8  |
| 2.1.2 | 調査結果                     | 10 |
| (1)   | 深浅測量調査                   | 10 |
| (2)   | 水質の鉛直測定調査                | 12 |
| 2.1.3 | 現地調査のまとめ                 | 19 |
| (1)   | 窒素関連項目の無機態組成についての過年度との比較 | 19 |
| (2)   | 塩分、水温との関係                | 20 |
| (3)   | まとめ                      | 23 |
| 2.2   | 加古川からの流入負荷の整理            | 23 |
| 2.2.1 | はじめに                     | 23 |
| 2.2.2 | 調査方法                     | 23 |
| 2.2.3 | 結果と考察                    | 24 |
| (1)   | 定期調査結果                   | 24 |
| (2)   | 降雨時流出時のL-Q式              | 28 |
| (3)   | 流出負荷量                    | 28 |
| 2.3   | シミュレーションモデルによる解析         | 30 |
| 2.3.1 | 計算条件                     | 30 |
| 2.3.2 | 現況再現                     | 31 |
| (1)   | 流動計算への地形の調査結果の反映         | 31 |
| (2)   | 流動モデルの計算結果               | 33 |
| (3)   | 流動モデルの再現性の確認             | 38 |
| (4)   | 水質モデルの計算結果               | 40 |
| (5)   | 水質モデルの再現性の確認             | 46 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| (6) 地形データ反映による再現性の向上.....           | 48  |
| 2.3.3 滞りの要因解析.....                  | 49  |
| (1) 播磨灘北東部地域における問題事象.....           | 49  |
| (2) 問題事象の要因.....                    | 50  |
| (3) シミュレーションによる要因の検証方法.....         | 50  |
| (4) シミュレーションによる計算結果.....            | 51  |
| (5) まとめ.....                        | 57  |
| 第3章 地域の問題の解決に資する対策の検証.....          | 57  |
| 3.1 地域の問題の解決に資する対策.....             | 57  |
| 3.1.1 対策案の列挙.....                   | 57  |
| 3.1.2 シミュレーションモデルによる計算実施対策案の選定..... | 59  |
| 3.2 対策の実施による海域の窒素濃度の変化.....         | 59  |
| 3.2.1 加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転.....    | 59  |
| 3.2.2 河川を利用した海水交換促進対策（導水対策）.....    | 63  |
| 3.2.3 海水交換防波堤（遊水室型）の設置.....         | 69  |
| (1) 検討概要.....                       | 69  |
| (2) 流れの発生機構と計算方法.....               | 70  |
| (3) トレーサーを利用した効果検証.....             | 71  |
| (4) 水質計算.....                       | 85  |
| 3.2.4 窒素排出量増加運転と導水対策の組み合わせ.....     | 92  |
| 3.3 対策効果と有効性の検証.....                | 96  |
| 3.3.1 対策効果と有効性の考え方.....             | 96  |
| 3.3.2 シミュレーションによる対策効果の検証.....       | 96  |
| (1) 沿岸域における窒素濃度の増加状況.....           | 96  |
| (2) DINの設定濃度超過時間.....               | 101 |
| (3) 対策の実施によるDIN輸送量の変化.....          | 102 |
| 3.3.3 対策効果のまとめ.....                 | 106 |
| 第4章 播磨灘北東部地域ヘルシープランの策定.....         | 107 |
| 4.1 取りまとめ方針.....                    | 107 |
| 4.2 構成.....                         | 107 |
| 4.2.1 概要.....                       | 107 |
| 4.2.2 播磨灘北東部地域の現状.....              | 108 |
| 4.2.3 播磨灘北東部地域の目指すべき姿と課題.....       | 108 |
| 4.2.4 播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針.....     | 109 |
| 4.2.5 物質循環健全化に向けた対策（行動計画）.....      | 109 |
| 4.2.6 資料編.....                      | 110 |
| 4.3 策定手順.....                       | 110 |
| 第5章 地域検討委員会の設置・運営.....              | 111 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 5.1 目的と検討内容 .....    | 111 |
| 5.2 委員名簿 .....       | 111 |
| 5.3 実施状況 .....       | 112 |
| 5.3.1 実施日・実施場所 ..... | 112 |
| 5.3.2 設置要綱.....      | 112 |
| 5.3.3 検討内容の概要.....   | 112 |

## 資料編

|   |       |
|---|-------|
| 播磨灘北東部地域ヘルシープラン .....                   | 資料編-1 |
| 深淺測量調査（2.1.2 章） .....                   | 資料編-2 |
| 水質の鉛直測定調査（2.1.3 章） .....                | 資料編-5 |
| 播磨灘北東部地域ヘルシープラン（案）に係る意見と対応（4.3 章） ..... | 資料編-7 |



## 第1章 業務内容

### 1.1 要約

播磨灘北東部地域において生じている不健全な事象の軽減化、解消に向けた検討を平成 22 年度から実施してきた。当地域においては港湾の奥部で溶存無機態窒素（DIN）濃度が高くなる一方で、港湾外の沿岸～沖合域においては DIN 濃度が低下し一次生産者の生産性が落ちており、このような DIN の偏在化の解消が当地域における物質循環の円滑化と生態系の安定性の向上に貢献すると考えられた。

平成 24 年度は平成 23 年度に構築したシミュレーションモデルの精度を向上させるとともに、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転や河川水を利用した港湾内外の海水交換の促進対策の効果検証をさらに進めるとともに、地域の物質循環の健全化に貢献可能な他の対策についても検討を行った。また、それらの検討結果を踏まえて、豊かで健全な海域環境の構築に資するための地域の行動計画である「播磨灘北東部地域ヘルシープラン」を策定した。

#### ○ 地域の栄養塩類循環状況と滞りの要因の解析

平成 23 年度までに構築したシミュレーションモデルでは表層の再現性が低く、また、対象海域での対策効果を把握するうえで重要となる泊川河口沖水路内における地形の再現も十分でなかった。そのため、表層を緻密に表現できるモデルに変更するとともに、現地調査を実施し泊川河口沖水路内の地形データを取得しモデルの精度向上を図った。

現地調査結果等と計算結果を比較した結果、モデルの現況再現性が確認された。精度向上したモデルを使用して対象海域の流況や水質の現況を再現したところ、泊川河口沖水路内においては底層を通して沿岸～沖合域の水塊が流入している様子や、泊川河口沖水路内や東播磨港の表層において窒素濃度が高く滞留している状況が認められた。

また、DIN の偏在化の要因解析において、加古川下流浄化センターの排水の影響、加古川からの河川水の影響、泊川河口に位置する民間事業場 a の排水の影響を把握するために、加古川下流浄化センターからの排水、加古川からの河川流入水、民間事業場 a の排水をそれぞれゼロにした場合の対象海域における流動、水温・塩分、水質の変化を確認した。その結果、加古川下流浄化センターや民間事業場 a の排水が港湾内の高い窒素濃度に大きな影響を与えている状況や、陸域からの窒素の供給が沿岸～沖合域の濃度にも影響していること、加古川からの流入水が東播磨港の海水交換を助長する働きがあること等が明らかになった。

#### ○ 物質循環状況の解明調査

平成 23 年度に構築したシミュレーションモデルの計算の精度を高める必要があったため、モデルの精度向上に資するための深淺測量調査を泊川河口沖水路内で実施した。また、それに合わせて水温・塩分の鉛直測定、窒素関連項目の鉛直調査を実施した。

調査により得られた泊川河口沖水路内の地形データをシミュレーションモデルに反映させることにより、加古川下流浄化センターからの排水の挙動が現況に近づく等、モデルの再現性が高まり、モデルの精度の向上が確認された。泊川河口沖水路内の水温・塩分については表層から約 2m までが陸域からの流入水で構成されており、内訳としては表層から約 0.5m までが加古川下流浄化センターの排水、約 0.5m から約 2m までが民間事業場 a の排水であるとみられ

た。窒素濃度については過年度調査結果と異なりアンモニア性窒素濃度が低かったため原因を調べたところ、民間事業場 a の排水水質が過年度調査の際と異なっていたことが明らかになり、泊川河口沖水路内においては民間事業場 a の排水の影響を大きく受けることが再確認された。

#### ○ 栄養塩類の循環バランス向上対策検討

平成 22 年度より実施してきた情報収集、現地調査、シミュレーションモデルによる現況再現計算の結果等から、播磨灘北東部地域においては対象海域の問題として DIN の偏在化が挙げられた。そこで、問題を解決するための方法として対策案を列举し、それらの対策の中で実現可能性やシミュレーションモデルによる計算の実施の可否等を考慮し、「加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転」、「河川を利用した海水交換の促進対策」、「海水交換防波堤（遊水室型）の設置」、それらの対策を組み合わせた場合についてシミュレーションモデルを使った計算による効果予測を行った。

計算の結果、加古川下流浄化センターの窒素排出量増加運転については沿岸～沖合域のノリ養殖場付近まで窒素濃度の上昇が確認され、河川を利用した海水交換の促進対策については同様に沿岸～沖合域での窒素濃度が上昇するとともに泊川河口沖水路内の窒素濃度の上昇を抑える効果が確認された。それらの対策の組み合わせの結果についてはそれぞれの対策の効果が相殺されることなく足し合わせた効果が見られた。また、海水交換防波堤（遊水室型）の設置対策については、東播磨港内外の海水交換が増えることにより滞留が緩和されて、港湾内の窒素濃度が低下し、一方で沿岸～沖合域の窒素濃度が上昇していた。

#### ○ 播磨灘北東部地域ヘルシープランの策定

平成 22 年度からの 3 年間の検討の結果を踏まえて、播磨灘北東部地域における円滑な物質循環を達成するための具体的な管理方を盛り込んだ「播磨灘北東部地域ヘルシープラン」を策定した。播磨灘北東部地域ヘルシープランは地域の関係者の意見を反映させ、また策定に際しては播磨灘北東部地域検討委員会委員や兵庫県の関係課の同意を得た。

播磨灘北東部地域ヘルシープランの構成は、播磨灘北東部地域の現状、播磨灘北東部地域の目指すべき姿と課題、播磨灘北東部地域ヘルシープランの基本方針、物質循環健全化に向けた対策（行動計画）、資料編とした。

対象海域における不具合や問題の解消に向けた取組の実施にあたっては、望ましい海域像を共有しておくことが重要であるとみられたため、本ヘルシープランにおいては望ましい海域像を「人と生態系の調和のとれた豊かで美しい里海」と設定した。課題は DIN 負荷が管理可能な事業場等の排水を有効に利用することや、港湾内と沿岸～沖合域の海水交換を促進させることであると考えられたため、行動計画の目標は「陸域・海域の DIN の偏在化の改善等によって、海域の基礎生産力をベースとした生態系の安定化によるたく滑らかな物質循環の健全化」とした。また、対策の実施に当たり必要となる行動計画の目標期間は、短期目標が 5 年以内、中長期目標が 10 年と設定した。行動計画の実施手順の要点としては、自治体が主体となり委員会、連絡会を設置すること、地元関係者や周辺自治体に対する対策の説明と合意の取得、モニタリング結果の公表、順応的管理による実施計画の見直しについて挙げている。



## 1.2 背景と目的

播磨灘北東部の沿岸域においては高度経済成長期に人口と産業が集中し、沿岸域の大部分の浅場が埋め立てられ、また自然の浄化能力を超えた多量の栄養塩類が海域に流入した結果、赤潮の発生等の環境問題が発生した。そのため、汚濁負荷量の総量を削減することにより水質環境基準を満足させることを目的とした COD、窒素、りん の総量削減等の各種規制が実施されてきた。

その成果として全窒素、全りん濃度についてはピーク時の半分以下程度にまで低下したものの、港湾内の濃度は依然として高く、逆に沿岸～沖合域の濃度は栄養塩類不足が一因とみられる養殖ノリの色落ちが生じるまでに栄養塩類濃度が低下している。また、海面漁業生産量についてもピーク時の半分程度にまで減少しており、栄養塩類濃度の低下との関連性は明確ではないものの、それらの関連が疑われている。上記の問題は陸域、海域における栄養塩類等の循環の健全性が崩れていることが発生要因と考えられ、事業場排水の管理等による栄養塩類の偏在化の解消のための対策等、陸域と海域が一体となった方策の実施が今後必要となるとみられる。

これらのことから、豊かで健全な海域環境の構築に資するための地域の行動計画の確立が望まれており、本業務では栄養塩類の円滑な循環を達成するための管理方策である「播磨灘北東部地域ヘルシープラン」を策定することを目的とした。

## 1.3 業務概要

### 1.3.1 業務名称

平成 24 年度 海域の物質循環健全化計画検討（播磨灘北東部地域検討）業務

### 1.3.2 業務位置

播磨灘北東部海域（加古川河口域から明石市林崎地先）と当該海域の栄養塩類循環状況に影響を及ぼす地域

### 1.3.3 履行期間

平成 24 年 7 月 2 日から平成 25 年 3 月 22 日まで

## 1.4 業務の実施方針

平成 22 年度と平成 23 年度に実施された本業務での検討において、文献からの情報収集や民間事業場に対するヒアリング結果等からは、民間事業場の排水による栄養塩類負荷量が対象海域への流入負荷に占める割合が大きいことが明らかになったが、負荷量を季節的に増減させる等の措置を講ずることは困難であると分かった。また、現地調査やシミュレーションによる計算からは、下水処理場や民間事業場の排水の影響を直接的に受ける港湾内において栄養塩類濃度が高くなっている状況が示され、下水処理場の窒素排出量増加運転の現地実証試験においては、下水処理場の排水濃度を変動させた際の海域における栄養塩類濃度の対応が認められた。一方で、地元の関係団体が出席して開催された地域懇談会では、昔と比べて陸から海までの距離が遠く感じられるようになっており、陸域での活動団体（NPO、林業、農業等）と漁業団体

の活動の連携が必要であるとの意見が出た。

これらのことから、本業務においては陸域と海域の関係性についての科学的な実証や地元関係者等の意見を踏まえたうえでヘルシープランを作成することとした。

上記の考えのもと、本業務の基本方針は次のとおりとした。

- ① 科学的データと地元の意向、既存計画等を調和させたヘルシープランを作成する
  - ・ 現地調査やシミュレーションによる計算によって明らかになった対策に限らず、効果が数字に現れにくい取り組み等についても整理を行う。
  - ・ 地元自治体の施策の方向性を確認するとともに、環境省、国土交通省、水産庁等の各種計画との整合性を考慮する。
  
- ② 対象地域以外においても本業務の検討結果を参考にできるような取りまとめを行う
  - ・ 対象地域以外でも参考とされることを想定して、播磨灘北東部地域における実現可能性の有無に限らず、物質循環の円滑化、生態系の安定性に貢献すると考えられる対策をリストアップする。
  - ・ ヘルシープランの作成の経緯や課題、問題についても、地域の特徴（自然的、社会的背景等）を交えながら可能な限り具体的に記載する。
  
- ③ 専門家以外でも理解が容易な内容のヘルシープランを作成する
  - ・ ヘルシープランは対象地域内外の多くの関係者が参考にすると考えられるため、内容は一般的に理解しやすいものとする。
  - ・ 対策の実施に向けた手順や課題の整理についても、例を交えながら具体的に分かりやすい行動計画とする。
  
- ④ 蓄積したデータを使用して今後の検討に役立つ解析を実施する
  - ・ 平成23年度までに取得したデータと平成24年度に実施する現地調査等のデータについて、シミュレーションモデルの精度向上に資するための整理と解析を行う。
  - ・ 海域における栄養塩類の循環状況の改善を目的とした陸域における効率的、効果的な対策の実施の検討に資するための解析を実施する。
  
- ⑤ 本業務での検討内容・結果が今後の行政施策に反映し易いように考慮する
  - ・ ヘルシープランを利用して実際に施策を実施するのは地元自治体であると想定されるため、行政機関等の地元関係者と十分に調整のうえ意見を反映させて、行政機関等が対策を実施し易い内容とするように配慮する。

## 1.5 業務の実施工程

業務の実施工程を表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1 業務の実施工程

| 時 期            | 内 容  |   |   |   |                   |
|----------------|--|---|---|---|-------------------|
|                | 循環状況と滞りの<br>要因の解析  | 物質循環状況の<br>解明調査                                     | 循環バランス<br>向上対策検討  | ヘルシープラン<br>の策定                                  | 地域検討委員会<br>の設置・運営 |
| 平成 24 年<br>7 月 | 取得データの解析<br>・現地調査や文献<br>収集による情報の<br>整理<br>・シミュレーション<br>モデルの改良<br>・シミュレーション<br>による要因解析  | 水路内測量調査<br>・泊川河口沖水路<br>内における水深<br>や水温塩分の鉛<br>直状況の把握 | 対策検討のため<br>の情報収集<br>・関係する計画の<br>収集、整理<br>・平成 23 年度計<br>算実施対策の設<br>定の検証<br>・新たな対策の情<br>報収集 | 情報収集<br>・骨子案の内容の<br>再検証<br>・不足情報の収集             |                   |
| 8 月            |  |   |   |   |                   |
| 9 月            |  |   |   |   | 第 1 回地域検討委<br>員会  |
| 10 月           | 取得データの解<br>析<br>・現地調査や文献<br>収集による情報の<br>整理<br>・シミュレーション<br>計算の実施<br>・シミュレーション<br>結果の解析 |   | 対策のシミュレ<br>ーションの実施<br>・窒素増加運転と<br>海水交換の促進<br>対策の組み合わせ等<br>・その他対策の計<br>算                   | ヘルシープラン案<br>の作成<br>・不足情報の収集<br>・ヘルシープラン<br>案の作成 |                   |
| 11 月           |  |   |   |   |                   |
| 12 月           |  |   |   |   | 第 2 回地域検討委<br>員会  |
| 平成 25 年<br>1 月 |  |   |   | ヘルシープランの<br>作成<br>・不足情報の収集<br>・ヘルシープラン<br>の作成   |                   |
| 2 月            |  |   |   |   | 第 3 回地域検討委<br>員会  |
| 3 月            |  |   |   |   | 報告書作成             |

## 第2章 播磨灘北東部地域の栄養塩類の循環状況と滞りの要因

### 2.1 播磨灘北東部海域の現地調査

#### 2.1.1 調査内容

物質循環状況の解明調査（現地調査）として、深浅測量調査及び水質の鉛直測定調査を実施した。

#### (1) 深浅測量調査

##### ① 調査目的

シミュレーションモデルにおける現況再現精度を向上するために必要となる泊川河口沖水路の地形を把握することを目的とした。

##### ② 調査内容

泊川河口沖水路において簡易的な深浅測量調査を実施した。

現地調査は対象地点の水深を把握するための「水深測定」と、水深測定中の水位変動を把握する「水位連続測定」を行った。

取得した水深データは、最低水面を基準面とした整理を行った。

各調査の調査内容を表 2.1-1 に示した。

表 2.1-1 深浅測量調査の内容

| 項目  | 内容  |
|-----|---|
| 時期  | 平成 24 年 7 月 30 日（夏季に 1 回）   |
| 地点数 | I 泊川河口沖水路近傍（1 地点）<br>II 泊川河口沖水路の中央部の測線 1、測線 2（図 2.1-1）（合計 70 地点程度）<br>測線 1（民間事業場の排水口付近～泊川河口付近）：約 30m 間隔<br>測線 2（泊川河口付近～St.S7 付近）：約 40m 間隔 |
| 項目  | I 水位（連続測定）、水位計設置位置の基準面からの高さ<br>II 時刻、水深、位置（緯度経度）  |
| 方法  | I 水位計を設置し水位を連続測定。RTK-GPS により設置位置の基準面からの高さを測定。<br>II 各地点において音響測深儀により水深を測定  |

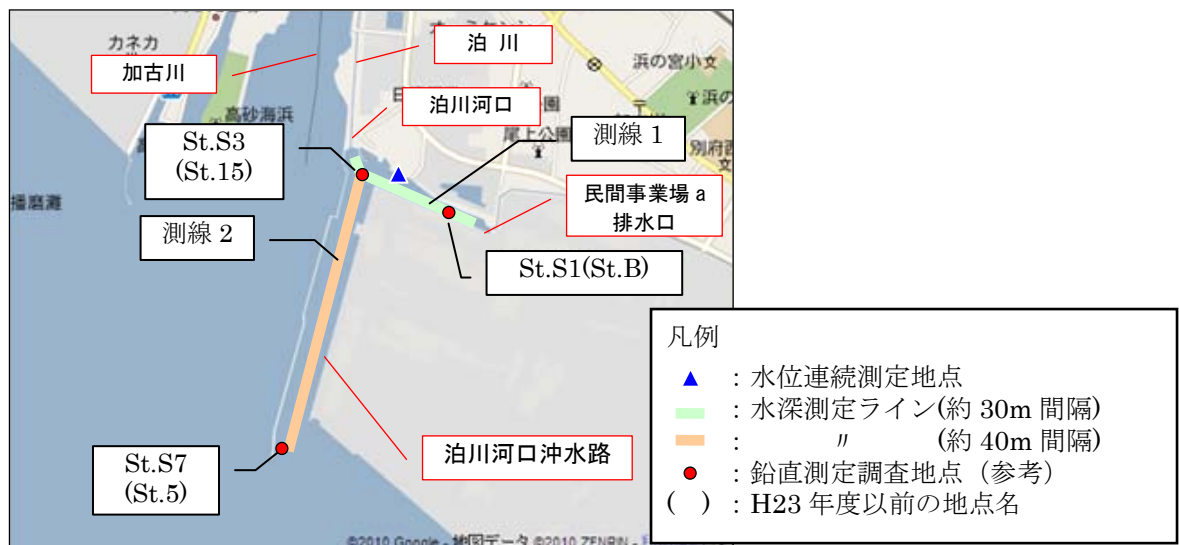
I：水位連続測定

II：水深測定

※泊川河口沖水路：民間事業場の排水口付近～泊川河口付近～St.S7 付近

### ③ 調査地点

調査は泊川河口沖水路を対象として図 2.1-1 に示す測線で実施した。



※ 図中の St.S1、St.S3、St.S7 は参考として示した（「水温・塩分の鉛直測定調査」における調査点）。

図 2.1-1 深浅測量調査の測線

### ④ 調査方法

測線 1 と測線 2 の 2 測線において、深浅測量を実施した。測定間隔は測線 1 では 30m<sup>1</sup>、測線 2 では約 40m<sup>1</sup> とし、各地点で音響測深儀を用いて水深を測定した。

深浅測量では、調査船の誘導及び海上測位に D-GPS を使用し水深測定地点の位置情報を取得した。

また、深浅測量実施中は調査測線の近傍に水位計（HOB0 U20 水位・水温ロガー）を設置し、水位の変動を測定した。水位計の設置位置については、RTK-GPS（TOP CON 社製 GRS-1）により基準面からの高さを測定した。

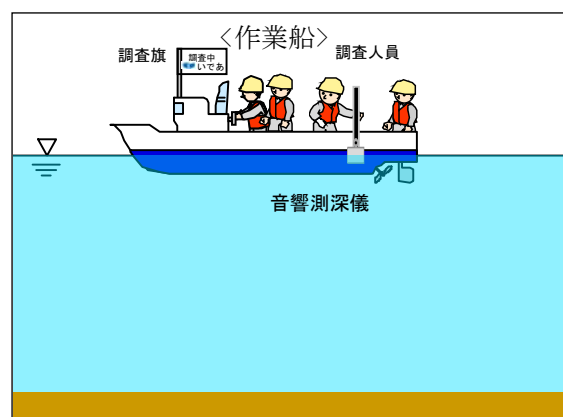


図 2.1-2 深浅測量調査の作業状況

<sup>1</sup> 測点間隔は、シミュレーションモデルにおけるメッシュサイズが 100m 四方であることを考慮して、各メッシュで 3 地点以上の水深データを取得できるように設定した。また、測線 1（泊川河口沖水路奥部）はより詳細に地形を把握する必要があることから測定間隔をより細かく設定した。

## (2) 水質の鉛直測定調査

### ① 調査目的

シミュレーションモデルにおける現況再現の目標データとして必要となる、泊川河口沖水路の水質の鉛直分布を把握することを目的とした。

### ② 調査内容

各調査の調査内容を表 2.1-2 に示した。

なお、平成 23 年度までの検討において、泊川河口沖水路では事業場排水に起因する高い窒素濃度の水塊が表層に存在することが確認されていたことから、窒素関連項目（全窒素、無機各態窒素）の鉛直分布状況を把握するための採水分析を実施することとした。

表 2.1-2 水質の鉛直測定調査の内容

| 項目  | 内容  |
|-----|---|
| 時期  | 平成 24 年 7 月 30 日（夏季に 1 回 深浅測量と同時期）  |
| 地点数 | I .泊川河口沖水路 7 地点（図 2.1-3 : St.S1~St.S7）<br>II .泊川河口沖水路 1 地点（図 2.1-3 : St.S5）         |
| 対象  | I .海面から海底面上 0.5m まで 0.5m 間隔と表層（海面下 0.3m）<br>II .6 層：表層（海面下 0.3m）と海面下 1m、2m、3m、5m、7m |
| 項目  | I .水温、塩分<br>II .全窒素、溶存無機態窒素（アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素）                                  |
| 方法  | I .多項目水質計または水温塩分計を用いて現地で測定<br>II .現地採水、分析室内で分析                                      |

I : 水温・塩分の鉛直測定

II : 窒素関連項目の鉛直調査

### ③ 調査地点

調査は泊川河口沖水路を対象として図 2.1-3 に示す地点で実施した。

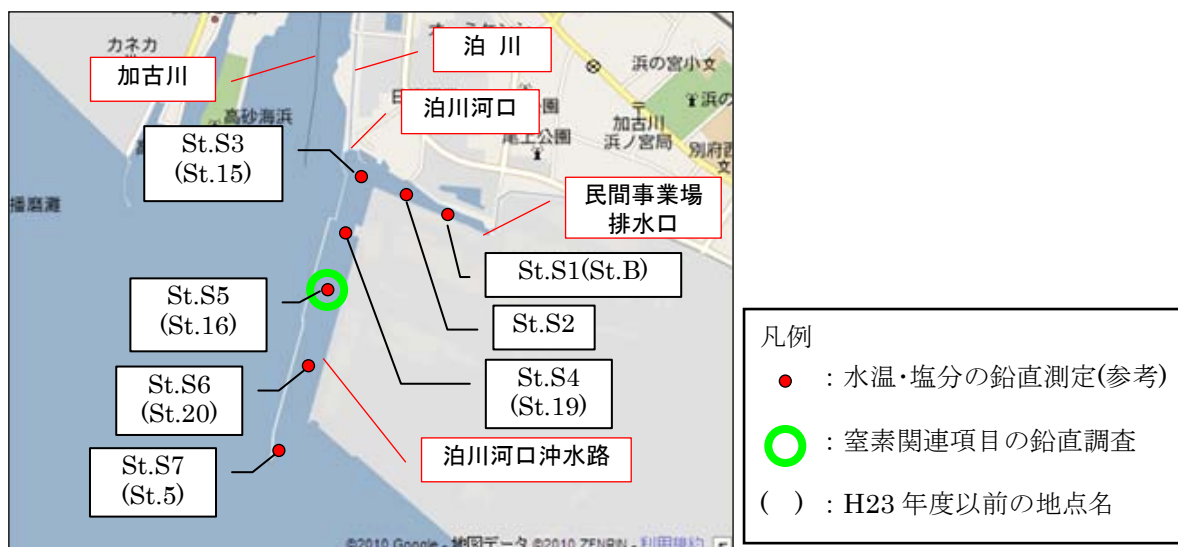


図 2.1-3 水質の鉛直測定調査地点

### ④ 調査方法

#### 1) 水温・塩分の鉛直測定

各調査地点で多項目水質計 (AAQ1183PT : JFE アドバンテック社製) を使用し海面から海底上 0.5m までの 0.5m 間隔と表層 (海面下 0.3m) について、水温、塩分の鉛直測定を行った。

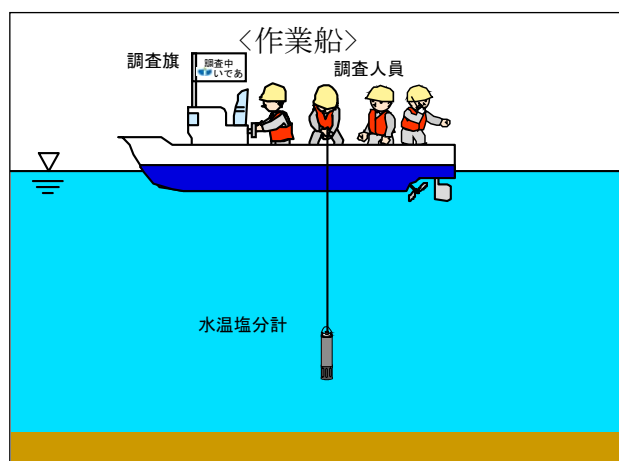


図 2.1-4 水温・塩分の鉛直測定の調査作業状況

## 2) 窒素関連項目の鉛直調査

「1) 水温・塩分の鉛直測定」の実施と合わせ、調査地点においてバンドーン型採水器により6層（表層（海面下0.3m）と海面下1m、2m、3m、5m、7m）の試料を採水した。採取した試料は実験室に持ち帰り、速やかに表 2.1-3 に示す方法で分析した。

なお、本調査は窒素濃度の鉛直分布の概況を水温塩分の鉛直の水塊構造から推察するために実施することとしたが、水温、塩分の分布は平成 23 年度までの調査結果から 2～3m 層以深ではほぼ一定となっていたため、採水水深は上記 6 層に設定した。

また、平成 23 年度まで実施した現地調査における採水では下層を海面下 5m としていたため、これに合わせて 5m 層を採水水深の対象とした。

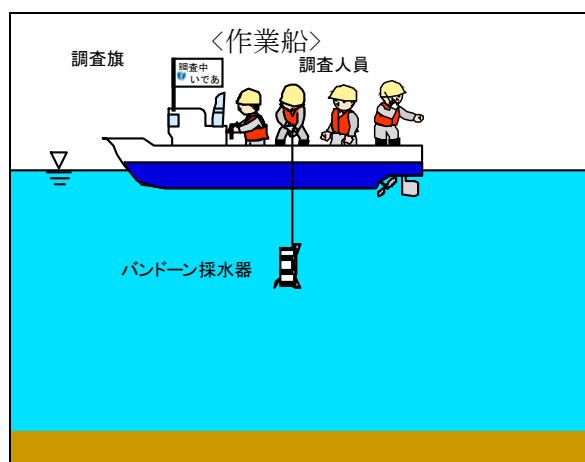


図 2.1-5 採水作業状況

表 2.1-3 分析方法

| 項目             | 分析方法                       |
|----------------|----------------------------|
| 全窒素            | JIS K0102(2008) 45.4       |
| 溶存無機態 アンモニア性窒素 | ろ過後、JIS K0102(2008) 42.2   |
| 溶存無機態 亜硝酸性窒素   | ろ過後、JIS K0102(2008) 43.1.1 |
| 溶存無機態 硝酸性窒素    | ろ過後、JIS K0102(2008) 43.2.3 |

※ろ過：予め 450℃、1 時間加熱前処理したワットマン GF/C を用いてろ過

### 2.1.2 調査結果

#### (1) 深浅測量調査

##### ① 水位連続測定

水位計の設置位置における RTK-GPS による標高の測定結果を表 2.1-4 に示した。

なお、水位の連続測定結果については標高の測定結果とともに、現地における水深測定結果から最低水面を基準面とする地盤高の算定に用いた。



表 2.1-4 水位計設置位置の標高測定結果

調査日：平成 22 年 7 月 12 日

| データ | 時刻    | 標高<br>(T.P.m) | 標高<br>(最低水面* m) |
|-----|-------|---------------|-----------------|
| 1   | 11:44 | 1.597         | 2.457           |
| 2   | 11:45 | 1.612         | 2.472           |
| 3   | 11:46 | 1.620         | 2.480           |
| 平均  |       | 1.610         | 2.470           |

各測定データは 10 回測定の平均値。

※最低水面は、TP 下 0.86m

## ② 水深測定

深浅測量調査で確認した現地の水深を図 2.1-6 と資料編に示した。なお、水深は現地における水深測定結果から RTK-GPS による標高測定結果と水位の連続測定結果を用いて最低水面を基準面とする値を算定して示した。

測線 1 における水深測定結果は 1.0～4.3m、平均 2.3m であった。水路内では測線東端の①から西側の③④にかけて深くなり、④から泊川河口の⑤にかけて再び水深が浅くなっていた。

測線 2 における水深測定結果は 4.0～11.1m、平均 9.0m であった。水路内では全体として測線北端の④から測線南端の⑤にかけて徐々に深くなっていた。

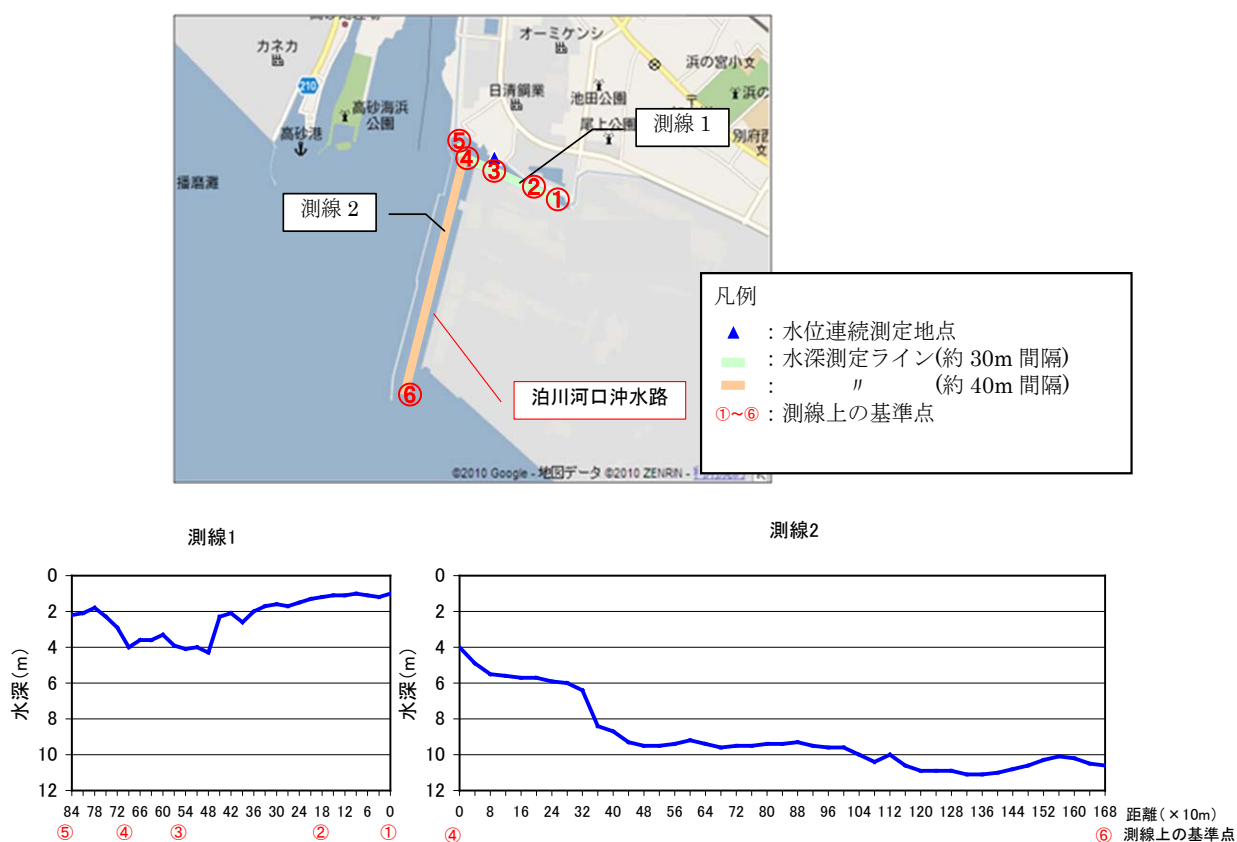


図 2.1-6 深浅測量調結果

## (2) 水質の鉛直測定調査

### ① 調査時の状況

調査実施時の現地の状況を表 2.1-5 に示し、調査日近傍の日降水量を図 2.1-7 に示した。

現地調査実施前については、7月20日に10.5mm/日の降水があり、その後調査日まで降水は確認されなかった。

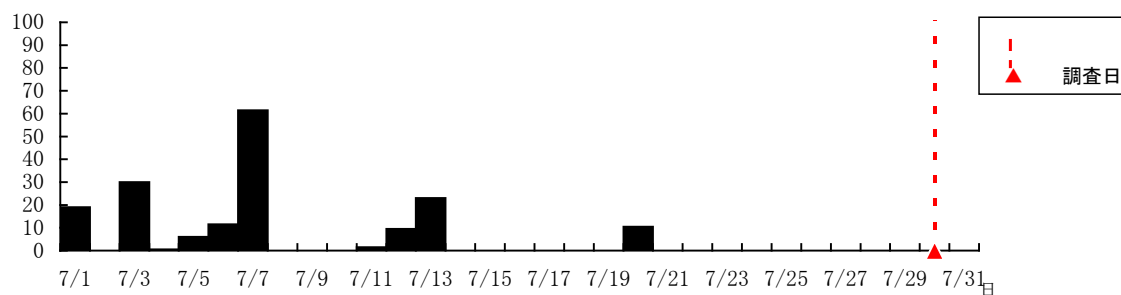
表 2.1-5 現地観測項目

調査年月日:平成 24 年 7 月 30 日

| 地点   |       | St.1              | St.2              | St.3                | St.4                | St.5                | St.6                   | St.7                   |
|------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 調査時刻 | 時:分   | 11:14             | 11:10             | 11:05               | 10:57               | 10:43               | 10:36                  | 10:28                  |
| 天候   | -     | 晴                 | 晴                 | 晴                   | 晴                   | 晴                   | 晴                      | 晴                      |
| 雲量   | -     | 2                 | 2                 | 3                   | 3                   | 3                   | 4                      | 5                      |
| 気温   | ℃     | 30.7              | 30.7              | 30.6                | 30.6                | 30.5                | 30.4                   | 30.4                   |
| 風向   | -     | S                 | S                 | S                   | S                   | S                   | S                      | S                      |
| 風速   | m/sec | 0.8               | 0.7               | 1.2                 | 0.5                 | 0.4                 | 0.3                    | 0.3                    |
| 水深   | m     | 1.7               | 3.3               | 4.6                 | 10.6                | 10.2                | 11.5                   | 11.7                   |
| 透明度  | -     | >1.7              | 1.9               | 2.1                 | 2.0                 | 2.2                 | 2.5                    | 2.5                    |
| 水色   | -     | 5GY5/8            | 5GY5/8            | 5GY3/3              | 5GY3/3              | 5GY3/3              | 10GY4.5/7              | 10GY4.5/7              |
|      | -     | deep yellow green | deep yellow green | grayish olive green | grayish olive green | grayish olive green | strong yellowish green | strong yellowish green |

(mm/日)

日降水量



出典: 気象庁ホームページ 地上気象観測資料

図 2.1-7 調査日近傍の日降水量 (明石地点アメダス)

## ② 水温・塩分の鉛直測定結果

水温・塩分の鉛直測定結果を図 2.1-8 と資料編に示した。

水温は水面下 0.3m が 29.38～31.32℃、底上 0.5m が 24.56～30.90℃、塩分は表層が 12.60～24.84、底上 0.5m が 28.23～30.45 であった。

鉛直分布図（図 2.1-8）では、海面から 2m 程度までの表層と下層で傾向が異なり、表層は高水温、低塩分の傾向がみられ、昨年度までの現地調査で確認された傾向と同様であった。

鉛直分布の重ね合わせ図（図 2.1-9）をみると、St.S1、St.S2 の水温が他の地点に比べて高いことと、St.S3 の水温を St.S4 と比べると表層は低いが 0.5m 以深は高くなっていることから、民間事業場 a 側（St.S1、S2）からの水塊は表層よりも 0.5m 以深への影響が大きいと考えられた。

泊川河口沖水路内の調査点のうち最南端に位置する St.S7 の水面下 0.3m の塩分は 24.84 であり、平成 22～23 年度に合計 6 回実施した「泊川河口沖水路の水質把握調査」（図 2.1-10）における同一地点（St.5）での最低値 27.52（第 5 回 平成 23 年 7 月 12 日）よりも低い値であった。他の地点についても、今回の調査では過年度調査に比べて全体的に塩分が低い傾向がみられた。

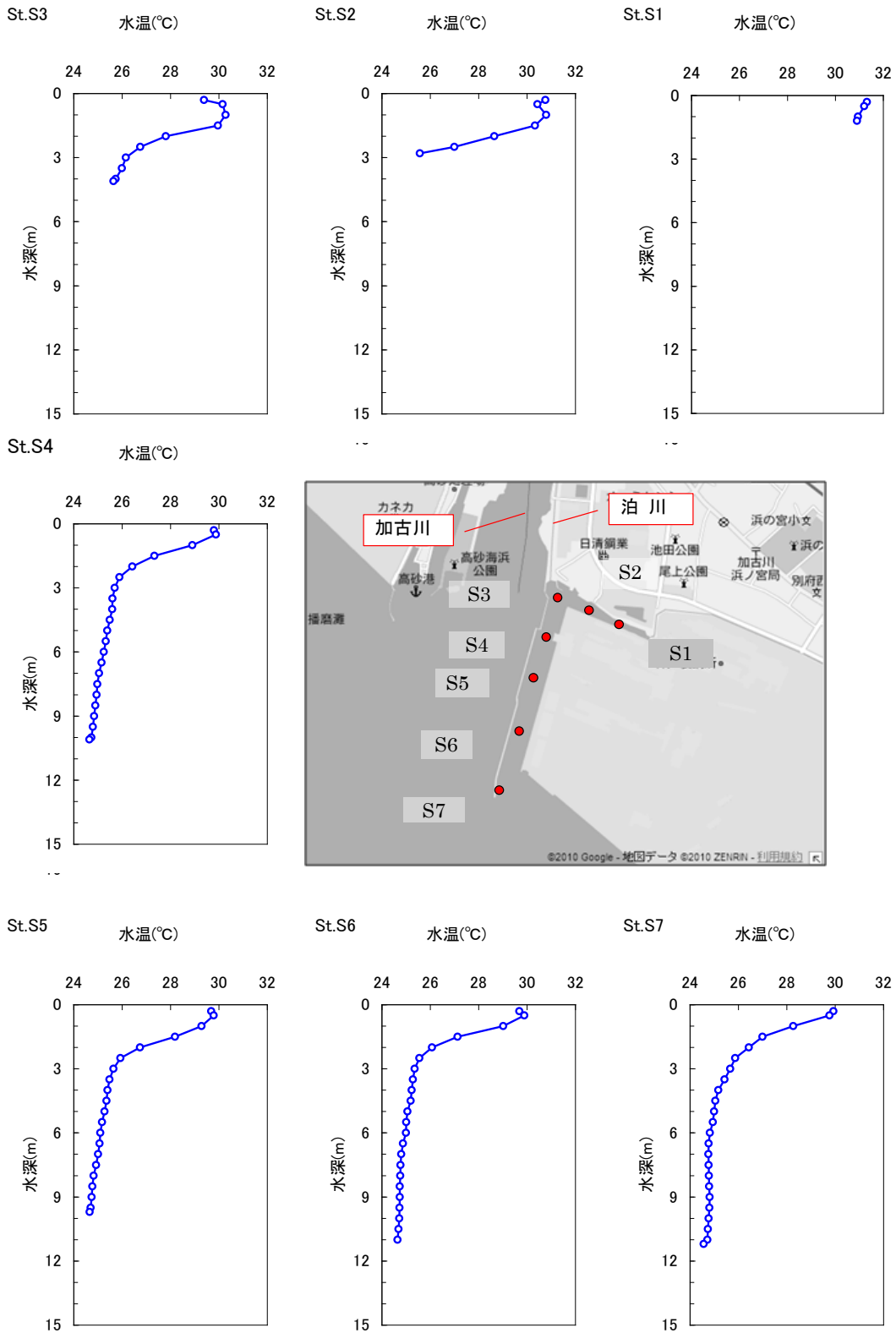


図 2.1-8(1) 水質の鉛直分布[水温] (平成 24 年 7 月 30 日)

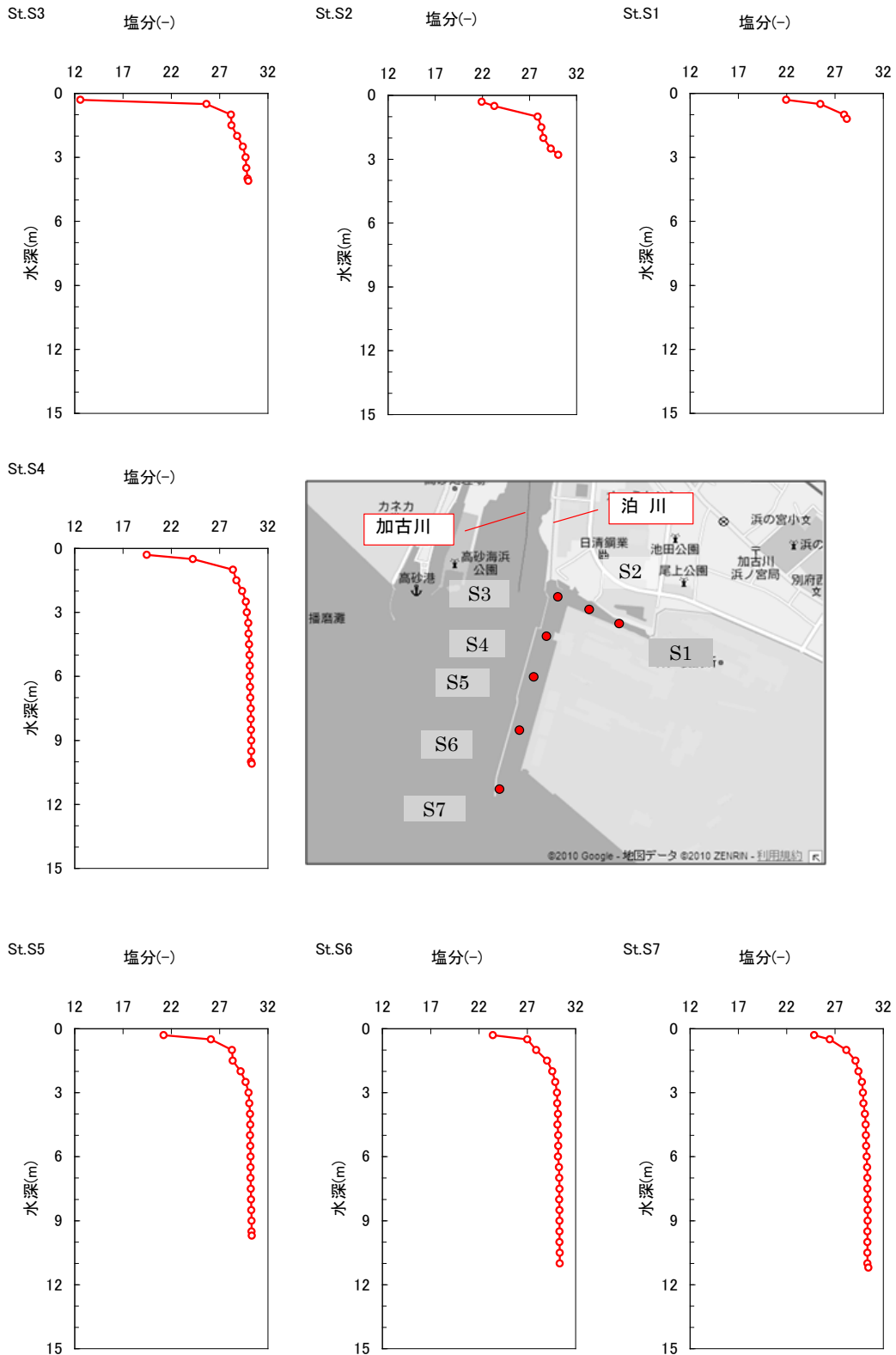


図 2.1-8 (2) 水質の鉛直分布[塩分] (平成 24 年 7 月 30 日)

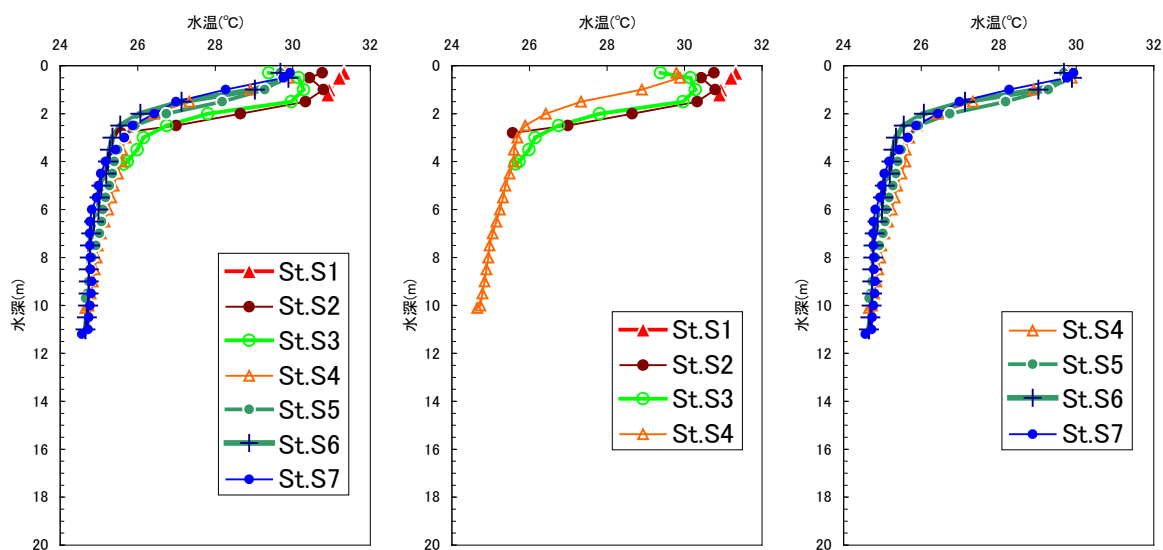


図 2.1-9(1) 水質の鉛直分布[水温] (平成 24 年 7 月 30 日)

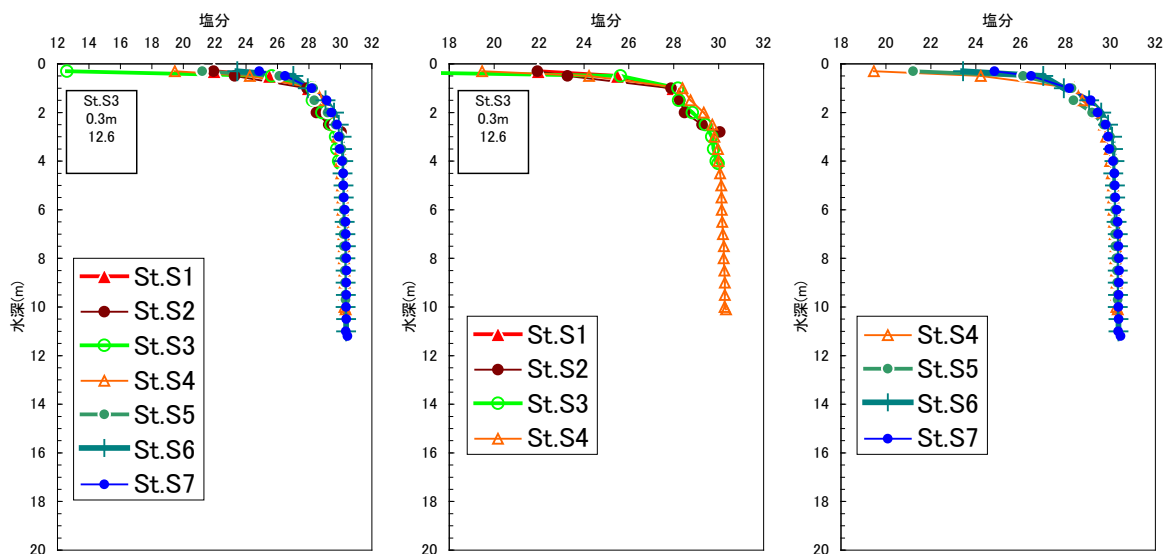
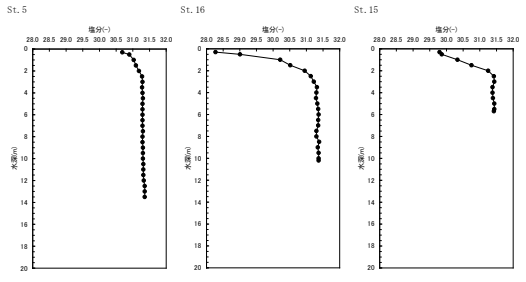


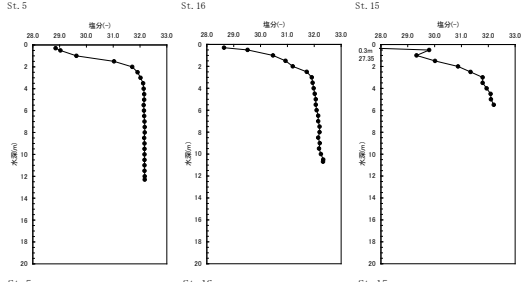
図 2.1-9 (2) 水質の鉛直分布[塩分] (平成 24 年 7 月 30 日)

播磨灘 ← ← 泊川

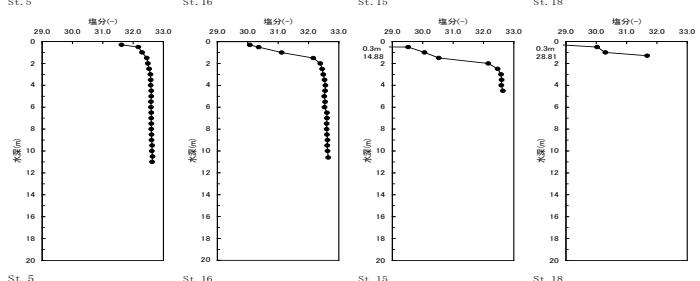
第1回(H22.11.19)



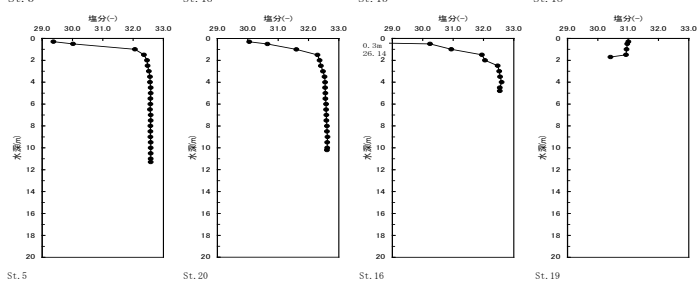
第2回(H23.1.28)



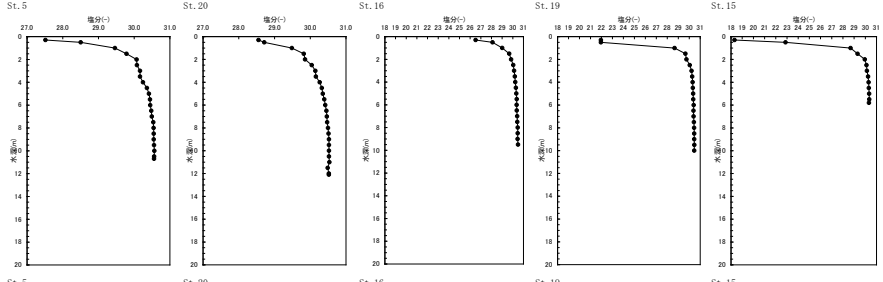
第3回(H23.2.12)



第4回(H23.2.16)



第5回(H23.7.12)



第6回(H23.9.9)

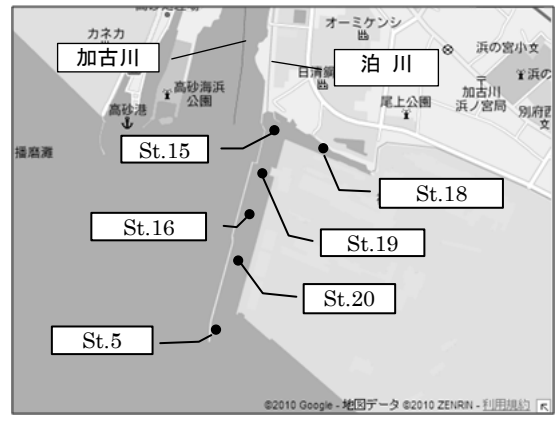
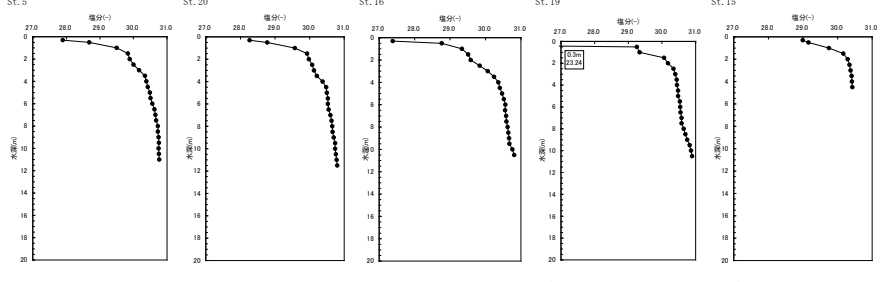


図 2.1-10 鉛直分布 (塩分) [参考:平成 23 年度報告書から転載]

### ③ 窒素関連項目の鉛直測定結果

窒素関連項目の鉛直測定結果を表 2.1-6、図 2.1-11 に示した。

全窒素濃度は 0.44~2.26mg/L であり、表層で最も高く水深が深くなるに従って低下する傾向が見られた。

各態の濃度に着目すると、各層とも硝酸性窒素の占める割合が高く、全窒素の鉛直方向の濃度変化は主に硝酸性窒素の濃度変化に起因していた。硝酸性窒素濃度は表層から水深 2m にかけて水深が深くなるに従い急激に低下し、2m 以深では徐々に低下していた。アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素濃度も同様に水深が深くなるに従い低下する傾向であった。

有機態窒素は表層で 0.62 mg/L であるが、海面下 1m 以深では 0.4 mg/L 程度であり、水深による変化はほとんど無くほぼ一定の値であった。

表 2.1-6 窒素関連項目分析結果(St. S5：平成 24 年 7 月 30 日)

調査年月日：平成 24 年 7 月 30 日

| 項目                                  |        | 層      |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                     |        | 表層     | 海面下 1m | 海面下 2m | 海面下 3m | 海面下 5m | 海面下 7m |
| 水温 <sup>※1</sup>                    | (°C)   | 29.68  | 29.28  | 26.74  | 25.64  | 25.27  | 25.01  |
| 塩分 <sup>※1</sup>                    | (-)    | 21.21  | 28.27  | 29.19  | 29.99  | 30.16  | 30.21  |
| 全窒素 [TN]                            | (mg/L) | 2.2557 | 1.1820 | 0.5818 | 0.4834 | 0.4366 | 0.4981 |
| 有機態窒素 [ON] <sup>※2</sup>            | (mg/L) | 0.6223 | 0.4458 | 0.4082 | 0.3896 | 0.3645 | 0.4473 |
| 溶存無機態 アンモニア性窒素 [NH <sub>4</sub> -N] | (mg/L) | 0.0331 | 0.0221 | 0.0086 | 0.0058 | 0.0200 | 0.0267 |
| 溶存無機態 亜硝酸性窒素 [NO <sub>2</sub> -N]   | (mg/L) | 0.0162 | 0.0191 | 0.0083 | 0.0057 | 0.0047 | 0.0034 |
| 溶存無機態 硝酸性窒素 [NO <sub>3</sub> -N]    | (mg/L) | 1.5841 | 0.6949 | 0.1566 | 0.0823 | 0.0474 | 0.0207 |

※1 水温・塩分は現地における鉛直測定結果

※2 有機態窒素(ON)：TN から無機態 (NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N) を差し引いて算定

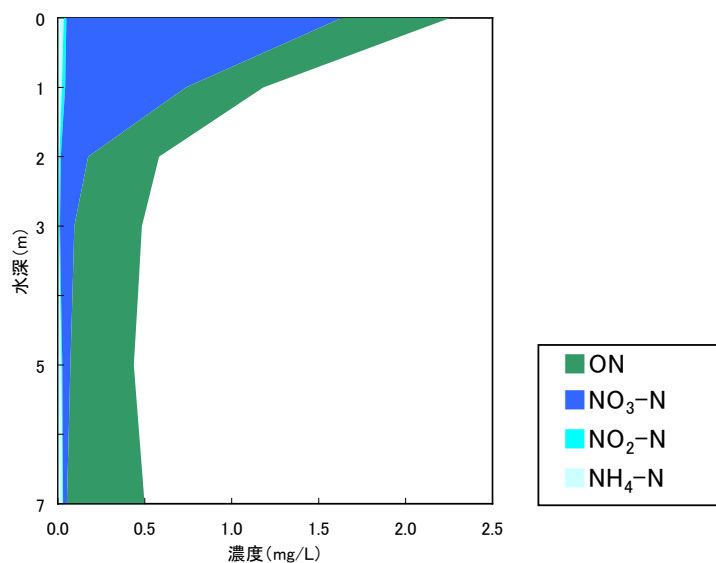


図 2.1-11 水質の鉛直分布(平成 24 年 7 月 30 日)



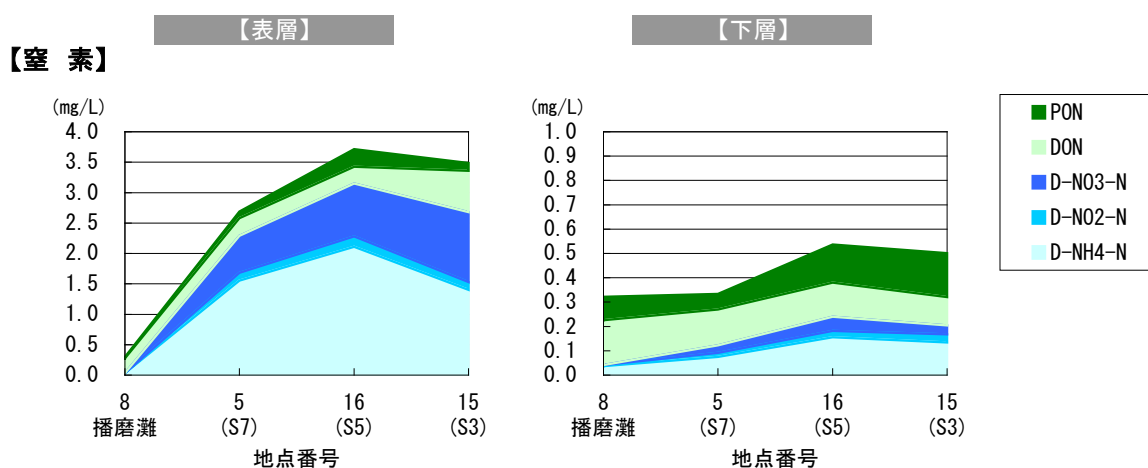
### 2.1.3 現地調査のまとめ

#### (1) 窒素関連項目の無機態組成についての過年度との比較

本検討における現地調査結果では、無機態窒素のうち硝酸性窒素が占める割合が大きかった。一方、過年度調査では、図 2.1-12 に示すとおり表層 (0.3m)、下層 (5m) とも無機態のうちアンモニア性窒素の占める割合が大きく、無機態窒素の組成が異なっていたため、違いについて整理を行った。

図 2.1-12 に示すように播磨灘 (St.8) の窒素濃度は泊川河口沖水路内に比べて表層で大幅に低い値、下層では若干低い値を示していることから、泊川河口沖水路の表層への窒素の供給源は主に陸域からの流入であると考えられる。

泊川河口沖水路における主な流入水に着目し、その特徴を表 2.1-7 に示した。それぞれの流入の特徴は、民間事業場 a の排水は塩分が高く、アンモニア性窒素が高いのに対して、加古川下流浄化センターの排水は塩分が低く、硝酸性窒素が高い傾向にあった。今回調査時には民間事業場 a における工事の関係でアンモニア性窒素を含む排水が少なかったことが確認されており、そのため、今回調査では過年度調査に比べ表層及び鉛直方向の塩分が全体的に低い傾向となり、加古川下流浄化センターからの流入水の影響が大きかったものと考えられた。



※ ( ) 内は今年度調査地点の地点番号

図 2.1-12 泊川河口沖水路における既存調査結果(平成 23 年 7 月 21 日)(表層 : 0.3m、下層 5m)

表 2.1-7 主な流入水の特徴

| 流入水             | 塩分            | 全窒素※<br>(mg/L) | アンモニア性<br>窒素※<br>(mg/L) | 亜硝酸性<br>窒素※<br>(mg/L) | 硝酸性窒素※<br>(mg/L) |
|-----------------|---------------|----------------|-------------------------|-----------------------|------------------|
| 民間事業場 a         | 高い<br>(海水+淡水) | 4.851          | 2.975                   | 0.447                 | 0.828            |
| 加古川下流浄化<br>センター | 低い<br>(淡水)    | 6.2            | <0.1                    | <0.1                  | 5.6              |

■ 網掛けは高い傾向を示した項目。

※窒素関連項目の値は、平成 23 年度調査結果 (H23.11.25) を参考として示した。

注) 加古川下流浄化センターについては加古川下流浄化センターによる分析値のため、平成 23 年度の本検討で分析を行った民間事業場 a とは下限値の扱いが異なる。

## (2) 塩分、水温との関係

水質の鉛直測定結果から窒素関連項目について塩分及び水温との関係を図 2.1-13、図 2.1-14 に示し、相関係数の一覧を表 2.1-8 に示した。

硝酸性窒素の全窒素に占める割合が大きいため、全窒素、無機態窒素、硝酸性窒素の相関係数はほぼ同じ値であった。

塩分と相関の高い項目は、全窒素、無機態窒素、硝酸性窒素と有機態窒素であった。

水温との相関は、亜硝酸性窒素が最も高く、次いで全窒素、無機態窒素、硝酸性窒素であった。

硝酸性窒素の主な陸域からの供給源は加古川下流浄化センターであり、排水は表 2.1-7 に示すとおり塩分が低いという特徴がある。この排水が海水によって希釈されることにより、硝酸性窒素濃度が下がるとともに塩分が上昇するため、塩分との負の相関が高くなったものと考えられた。

アンモニア性窒素の陸域からの主な供給源は民間事業場 a であり、排水の塩分、水温ともに高いという特徴がある。このため、水温については正の相関が高くなることが考えられるが、今回の調査結果では水温との相関係数が低い結果となった。アンモニア性窒素濃度は昨年度調査の 2.11mg/L に比べ本調査が 0.033mg/L と大幅に低かったため、その要因を調べたところ、民間事業場 a からの排水水質が通常と異なり、アンモニア性窒素の排出量が少なかったことが明らかになった。このことから、泊川河口沖水路における水質は民間事業場 a の排水水質を明確に反映していることが確認された。

表 2.1-8 窒素関連項目と塩分・水温との相関係数 (平成 24 年 7 月 30 日)

| 項目 | 全窒素   | 有機態窒素 | 無機態窒素 | 硝酸性窒素 | 亜硝酸性窒素 | アンモニア性窒素 |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| 塩分 | -0.98 | -0.95 | -0.97 | -0.97 | -0.66  | -0.63    |
| 水温 | 0.88  | 0.74  | 0.90  | 0.90  | 0.98   | 0.45     |

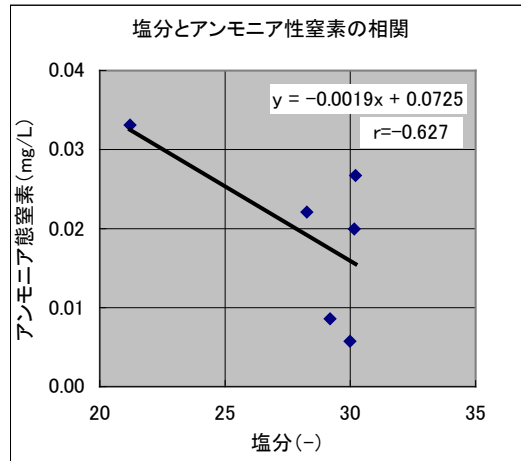
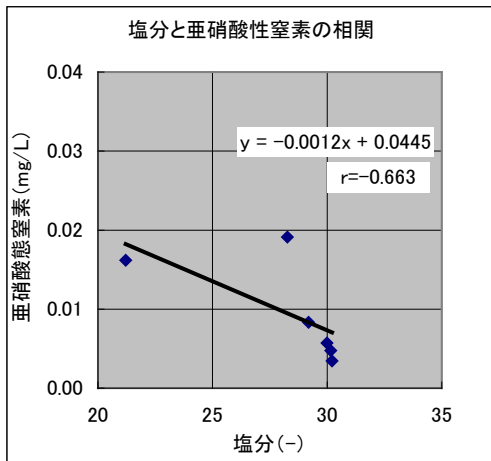
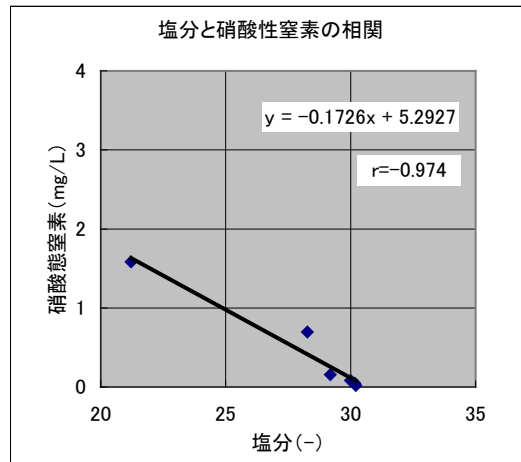
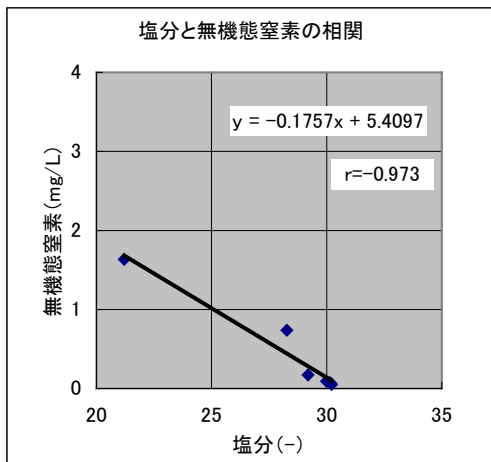
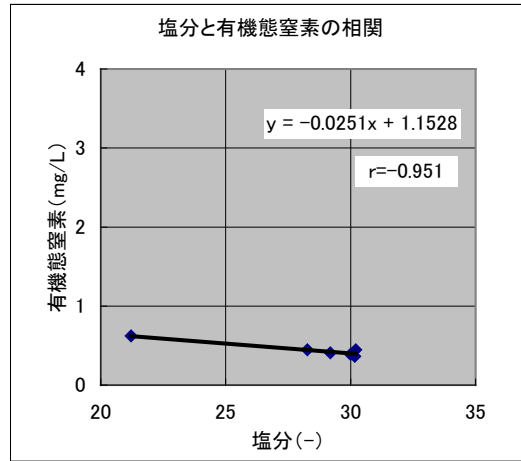
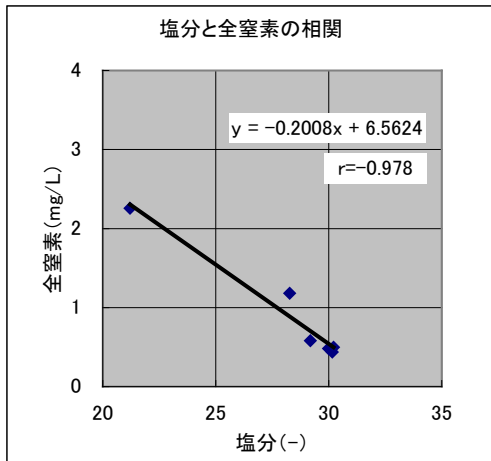


図 2.1-13 塩分と窒素関連項目の関係

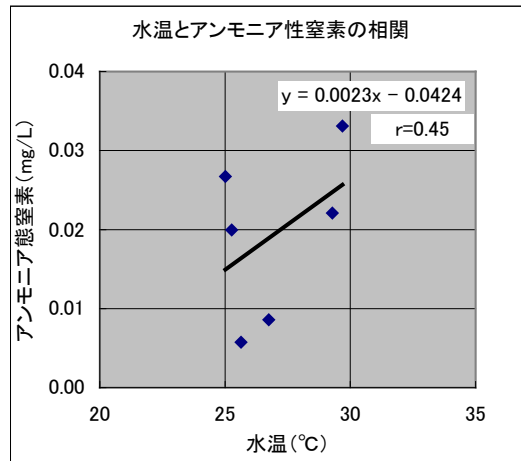
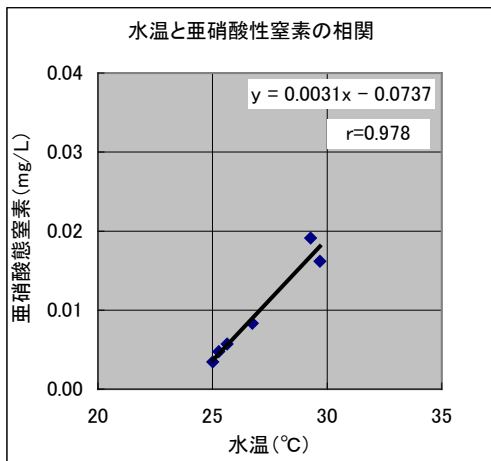
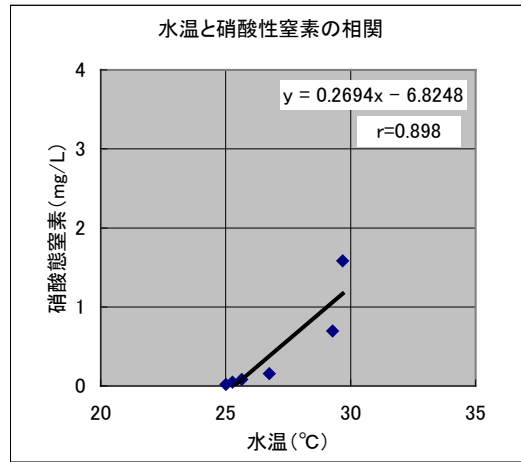
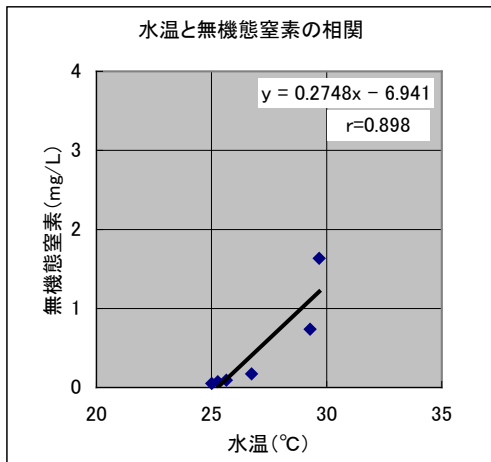
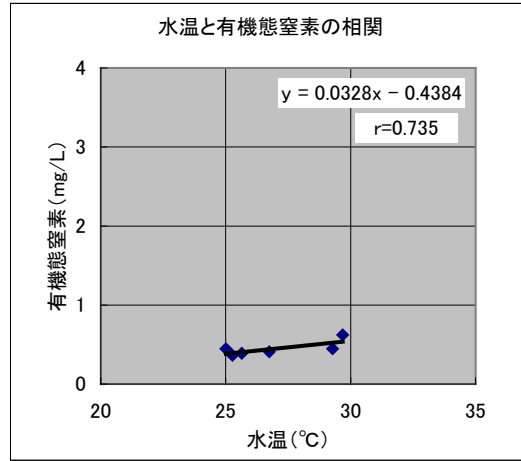
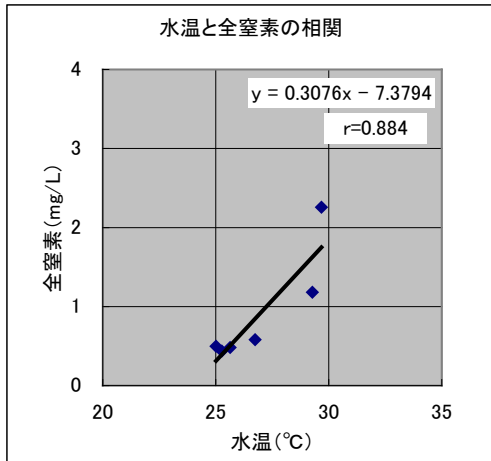


図 2.1-14 水温と窒素関連項目の関係

### (3) まとめ

#### ① 深浅測量調査

- ・ シミュレーションモデルの精度向上に必要な泊川河口沖水路の水深情報を把握した。

#### ② 水質の鉛直測定調査

- ・ 海面から 2m 程度までの層は 2m 以深と傾向が異なり、高濃度の窒素栄養塩類を含むことが確認された。
- ・ 海面から 2m 程度までと 2m 以深で水塊が異なる点は昨年度までの現地調査で確認された傾向と同様であったが、無機態窒素の組成が大きく異なり、昨年度までは表層、下層ともアンモニア性窒素の割合が大きかったが、今年度調査では硝酸性窒素の割合が大きかった。
- ・ 無機態窒素の組成の違いは、泊川河口沖水路への主な陸域からの流入源である民間事業場 a と加古川下流浄化センターの排水の水質の違いを反映しており、泊川河口沖水路内においては陸域からの流入水の影響が明確に現れることが明らかになった。

## 2.2 加古川からの流入負荷の整理

### 2.2.1 はじめに

播磨灘に流入する一級河川の加古川下流において、窒素、りん等の濃度および流出量変動の把握と特徴について、加古川流域の下流に位置する池尻橋において隔日以上の多頻度定期調査による採水を行い、全窒素 (TN) ・りん・TOC 等の濃度変動について検討した。また、全窒素および全りん (TP) の年流出負荷量については、定期調査により求めた流出負荷量とともに、降雨時調査結果に基づいて求めた L-Q 式を使い、降雨に伴う流量増加時の降雨時流出を評価した流出負荷量を合算した流出負荷量を計算した。

### 2.2.2 調査方法

加古川流域の概要および調査地点の池尻橋を図 2.2-1 に示す。加古川全域の流域面積は 1,730 km<sup>2</sup> であり、土地利用は山地 59%、農地 26%、宅地等 11%、その他 4% であり、農地の大部分は水田である。流域人口は約 60 万人であるが、下流の加古川市、高砂市、稲美町、播磨町の人口が多いため、池尻橋での調査に直接関わる生活排水からの負荷の多くは、加古川上流流域下水道 (処理人口約 25 万人) である。主な汚濁源としては、上流の篠山川流末付近にあるパルプ工場、中流の西脇市に立地する染色工場群、中・下流の加東市釣り針製造工場群、および三木市の金属製造工場群である。

調査は平成 22 年 4 月 1 日を調査開始日として 2 日に 1 回の頻度で採水し、平成 24 年 3 月 31 日を採水の最終日とした。これとは別に、降雨時調査を行った。分析項目は SS、全窒素、りん (全りん、りん酸性りん (PO<sub>4</sub>-P)) である。

分析方法について、SS は重量法 (ろ紙は GF/C を使用)、全窒素は TN 計法 (TN-100、三菱アナリテック社製)、全りんはペルオキシニ硫酸カリウム分解-アスコルビン酸還元モリブデン青法、りん酸性りんはアスコルビン酸還元モリブデン青法である。

流量は池尻橋上流約 1.5 km 上流にある国土交通省加古川大堰の下流放流量 (m<sup>3</sup>/s) である。

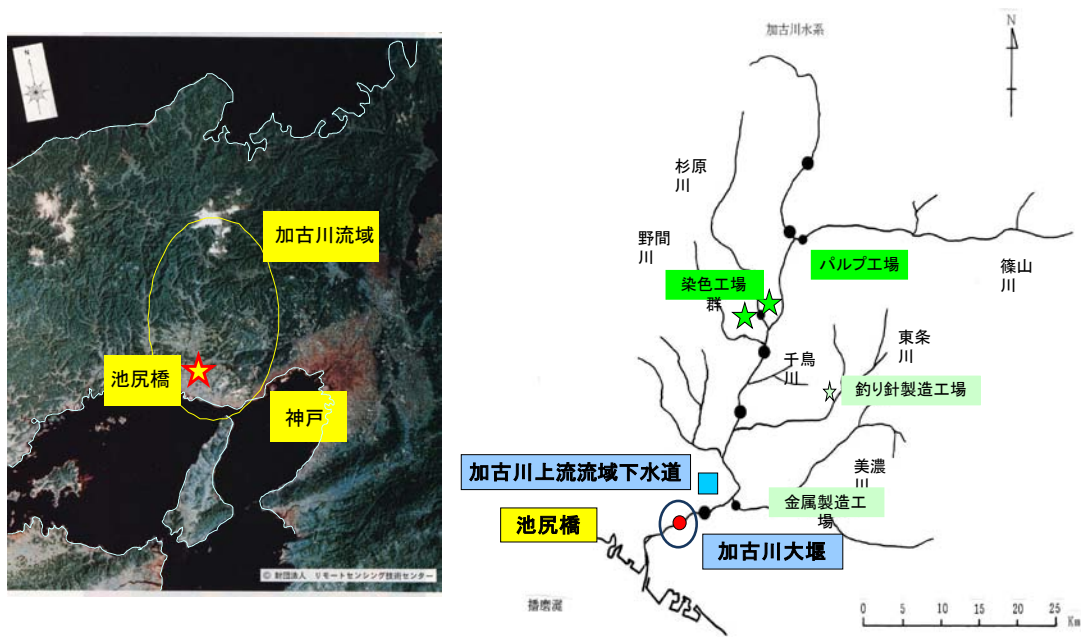


図 2.2-1 加古川流域と調査地点（池尻橋）位置図

2.2.3 結果と考察

(1) 定期調査結果

平成 22 年 4 月～平成 24 年 3 月の期間における年度毎のアメダスによる降水量（西脇）と加古川大堰からの下流への日放流量、および SS、TN、TP、PO<sub>4</sub>-P の最大値、最小値、平均値、中央値をまとめて表 2.2-1 に、経日変化を図 2.2-2 に、図 2.2-3 に流量、SS、TN、TP の相互関係を示す。

表 2.2-1 加古川下流（池尻橋）における水質調査結果のまとめ

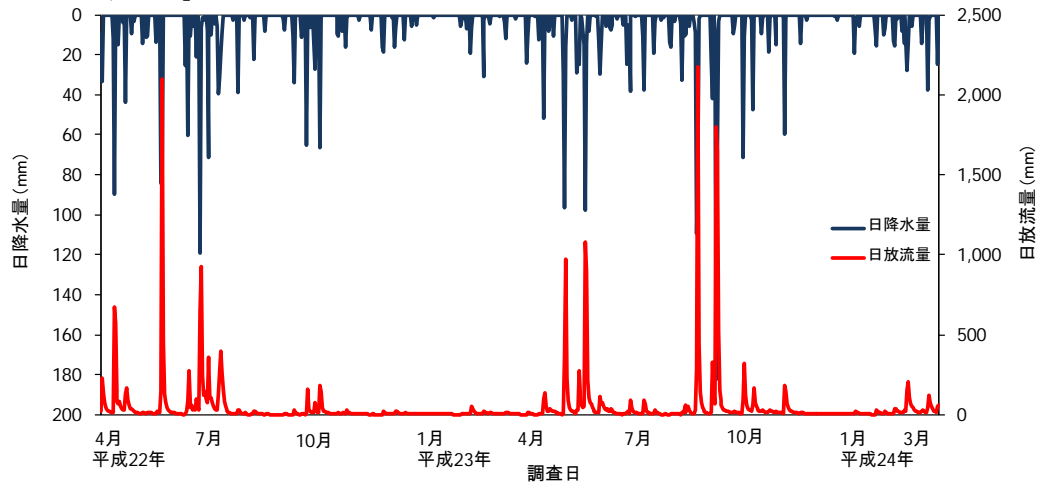
|                                 |     | 年降水量<br>(西脇)<br>mm | 流量<br>m <sup>3</sup> /s | SS<br>mg/L | TN<br>mg/L | TP<br>mg/L | PO <sub>4</sub> -P<br>mg/L |
|---------------------------------|-----|--------------------|-------------------------|------------|------------|------------|----------------------------|
| 平成 22 年度                        | 最大値 | 1,497              | 2,100                   | 75         | 1.92       | 0.903      | 0.181                      |
|                                 | 最小値 |                    | 2.6                     | 0.1        | 0.67       | 0.041      | 0.001                      |
|                                 | 平均値 |                    | 41                      | 6.8        | 1.08       | 0.100      | 0.055                      |
|                                 | 中央値 |                    | 9                       | 3.9        | 1.07       | 0.090      | 0.050                      |
| 平成 23 年度                        | 最大値 | 1,923              | 2,174                   | 1,746      | 1.67       | 0.812      | 0.128                      |
|                                 | 最小値 |                    | 2.7                     | 0.2        | 0.51       | 0.036      | 0.010                      |
|                                 | 平均値 |                    | 56                      | 18.2       | 1.04       | 0.104      | 0.062                      |
|                                 | 中央値 |                    | 15                      | 4.9        | 1.03       | 0.092      | 0.057                      |
| 平成 22 年 4 月<br>～<br>平成 24 年 3 月 | 最大値 | 1,710              | 2,174                   | 1,746      | 1.92       | 0.903      | 0.181                      |
|                                 | 最小値 |                    | 2.6                     | 0.1        | 0.51       | 0.036      | 0.001                      |
|                                 | 平均値 |                    | 48.5                    | 12.5       | 1.06       | 0.102      | 0.059                      |
|                                 | 中央値 |                    | 13.3                    | 4.5        | 1.04       | 0.091      | 0.054                      |

年降水量は平成 22 年度の 1,497mm に比べて平成 23 年度は 1,923mm と 1.3 倍多い。加古川大堰の下流への日放流量は 2.6~2,174m<sup>3</sup>/s と 1,000 倍程度の差があり、平均値の 48.5m<sup>3</sup>/s に比べて中央値は 13.3m<sup>3</sup>/s と少なく、高流量時の値に影響されていることが分かる。

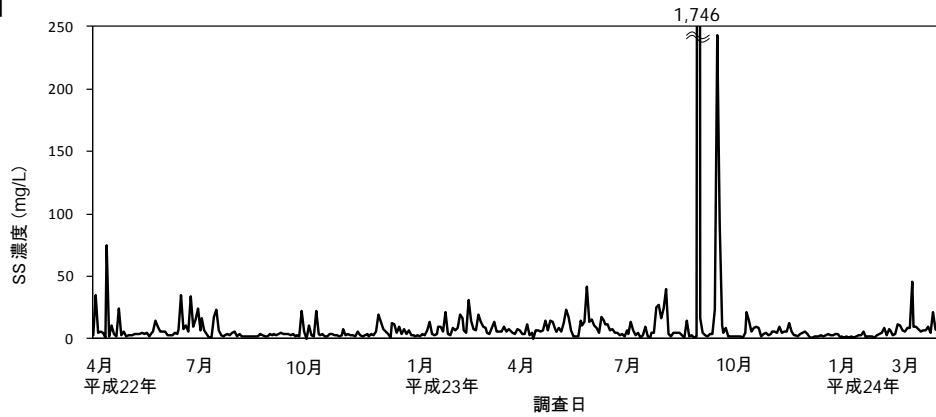
図 2.2-2 から分かるように、いずれの項目も経日変化は流量増加時に大きい濃度変化があり、特に SS が顕著である。最大値と最小値の差は流量、SS、PO<sub>4</sub>-P については 10~10<sup>4</sup> 倍のオーダーであり、TN、TP、TOC は 10~10<sup>2</sup> 倍の差である。2 ヶ年の平均値は大きな違いがなかった。

図 2.2-2 および図 2.2-3 に示すように、水質のうち SS は流量の増加率よりも大きいですが、これは晴天時には 1mg/L 以下と濁りが無いが洪水時には濁水となり SS が急増するためである。また、TN は降雨時に増加するとはいえ、TP に比べて小さく SS との関係が薄いことを示唆しており、TP が TN に比べて濃度の増加が大きいのはりんが SS の成分として含まれていることに関わっている。

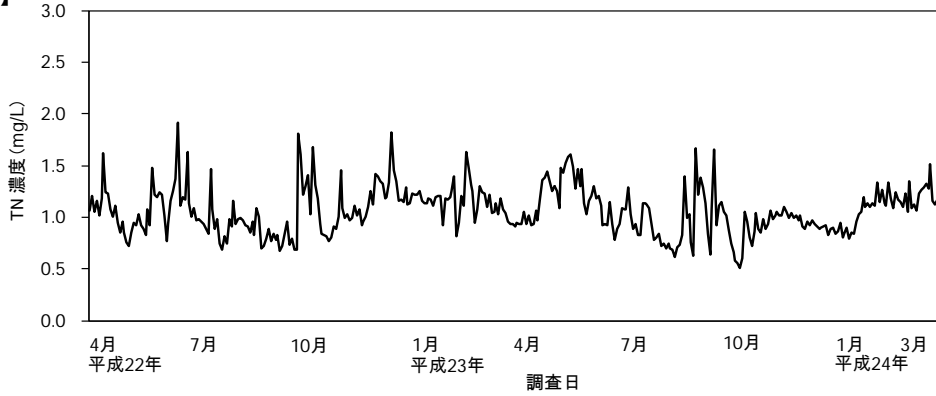
【降水量と日放水量】



【SS】



【TN】



【TP と PO<sub>4</sub>-P】

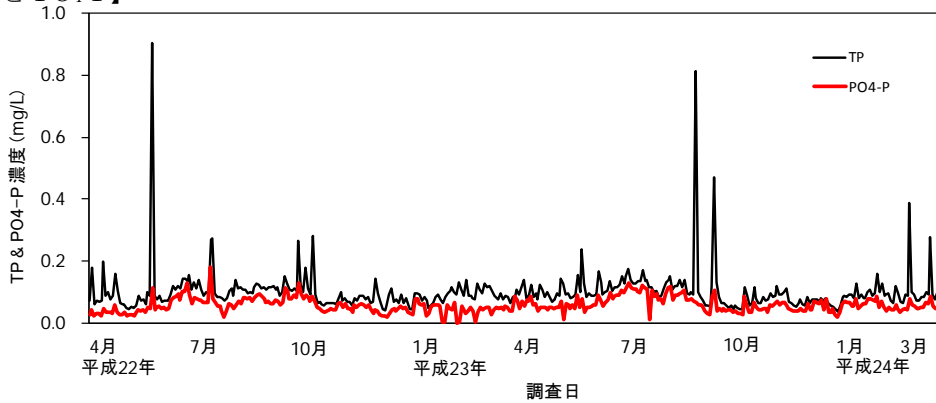


図 2.2-2 日降水量、日流量、SS、TN、および TP の経日変化



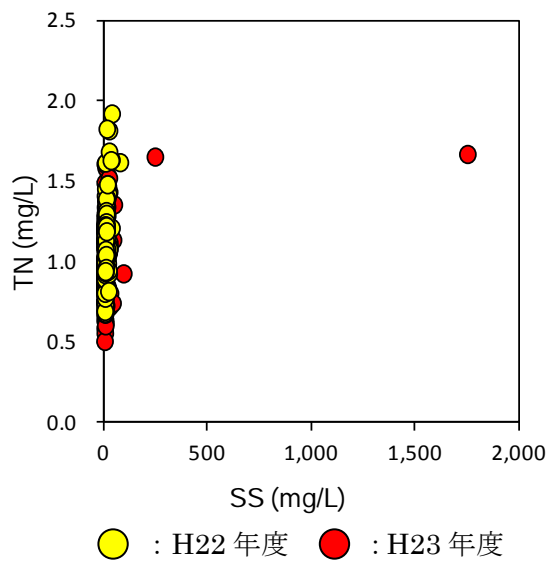
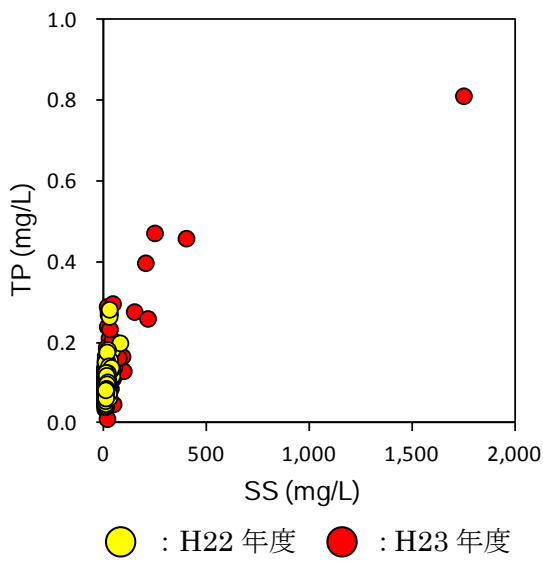
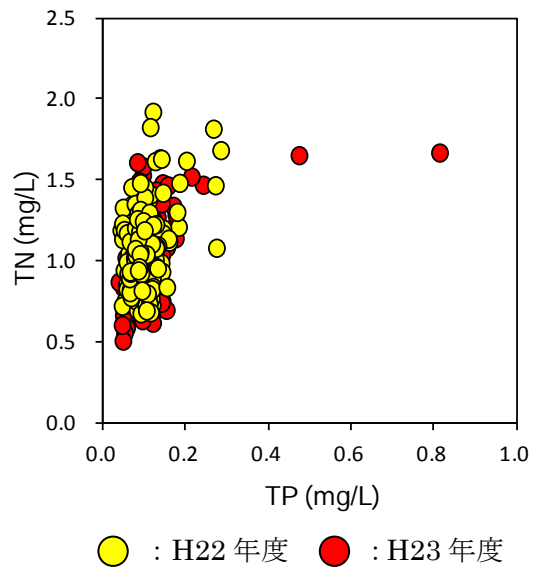
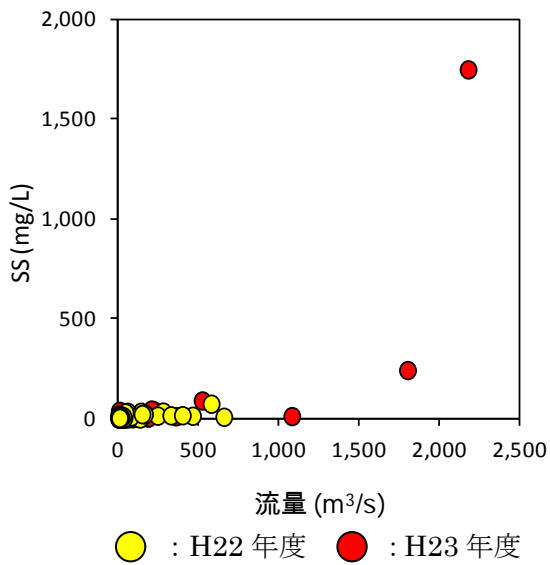
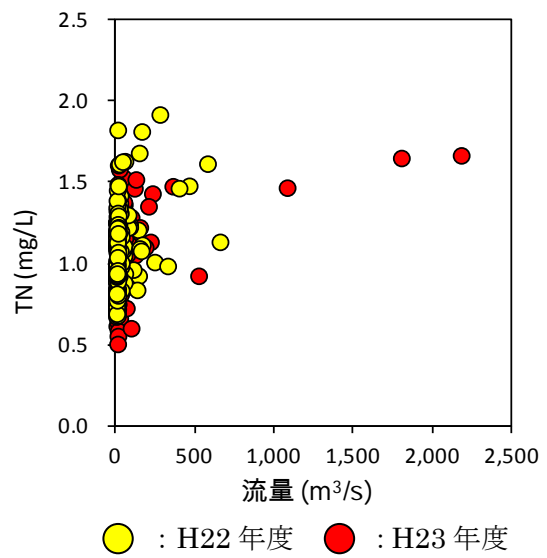
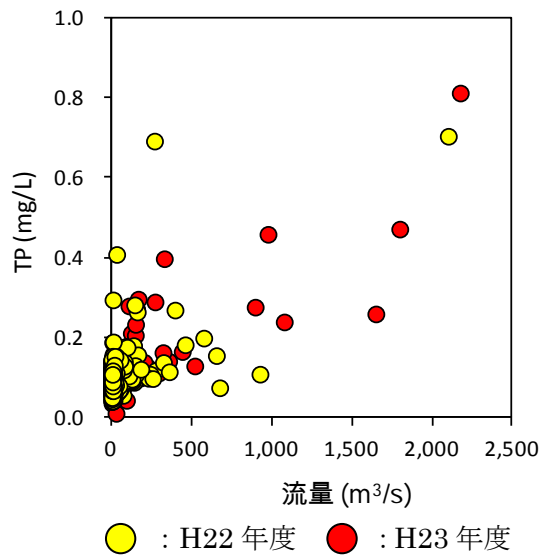


図 2.2-3 流量、SS、TN、TP の相互関係

## (2) 降雨時流出時のL-Q式

本調査は定期調査であるため晴天時のみならず降雨の影響を受けた日にも採水を行っており、月1回程度の水質調査に比べて精度の高い結果が得られている。大雨の場合、1日の間に流量と水質のいずれも大きく変化することを考慮すれば、年間流出量の評価のためには多頻度の定期調査に加えて、降雨時調査が不可欠になることは本調査結果からも明らかである。

平成22年4月～平成24年3月の間に実施された降雨時調査は10回であった。採水時の流量とTNおよびTP濃度から採水時点の流出負荷量を求め、流量と負荷量の関係式であるL-Q式を計算で求めた。流量と負荷量の両対数のグラフを図2.2-4に示す。TNのL-Q式は、 $L = 0.894Q^{1.073}$ 、TPのL-Q式は、 $L = 0.042Q^{1.283}$ となった。図から分かるように、TNについては両対数グラフでは直線関係が認められる。TPについては例えば1,000m<sup>3</sup>/s以上では傾きが変わっているが、今回は求めたL-Q式を使うこととした。

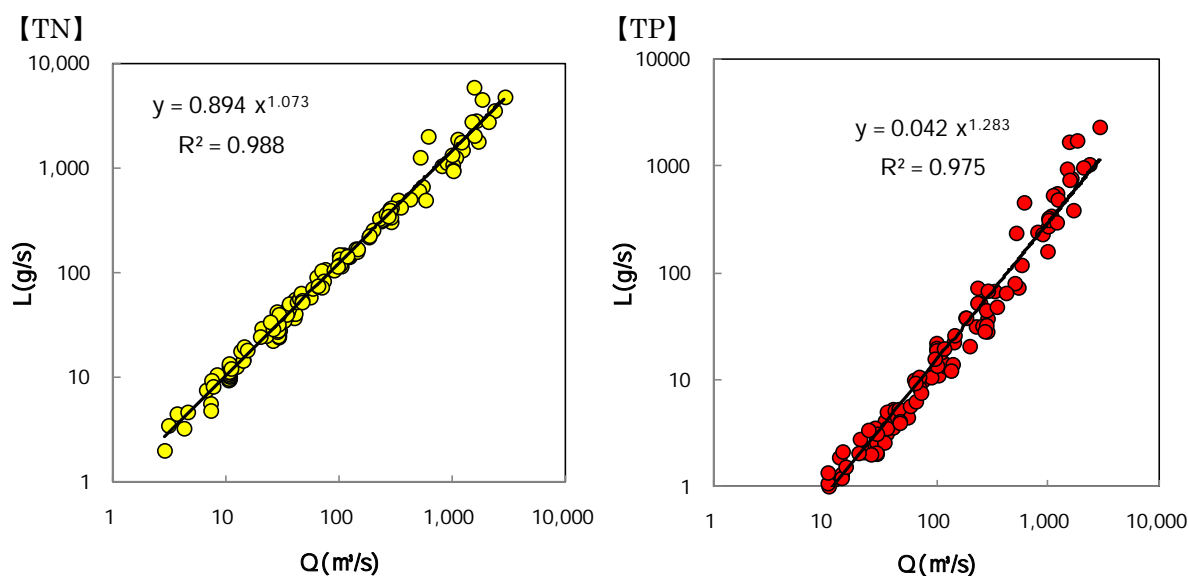


図 2.2-4 降雨時調査に基づく L-Q 式 (左図：TN 右図：TP)

年間流出負荷量については以下の二つの方法で求めた。一つは、隔日の定期調査による TN、TP 濃度と加古川大堰の下流放流量から区間代表法（國松ら、2000）により日流出負荷量を計算し積算した。調査をしていない間の水質は、隔日調査の前後の濃度の平均値を使い、日下流放流量はその日の結果を使った。もう一つの方法としては、定期調査を基本として、日下流放流量が 20 m<sup>3</sup>/s 以上の日については、降雨時調査から求めた L-Q 式と日下流放流量から日流出負荷量を計算し、合計して年流出負荷量を求めた。

## (3) 流出負荷量

定期調査および定期調査と L-Q 式を使って求めた TN および TP の流出負荷の結果を表 2.2-2 に示す。

定期調査から求めた TN および TP 流出負荷量は、それぞれ 1,562～2,043ton/year (平均値：1,803ton/year)、277～318 ton/year (平均値：298ton/year) であり、降雨時を考慮した場合は 1,702～2,376ton/year (平均値：2,039ton/year)、265～403ton/year (平均値：334ton/year)