

淀川水系流域委員会  
第2回 ダムWG

丹生ダム計画に関する  
調査検討（中間報告）

説明資料

平成16年7月18日

琵琶湖河川事務所

# 目 次

## ．丹生ダム計画に関する調査検討の全体構成

1．丹生ダム計画についての調査検討項目	-----	
2．丹生ダム計画に関する調査検討の全体構成	-----	

## ．項目ごとの中間報告内容

### 第1章 治水対策の検討

#### 姉川・高時川の治水（河道の現状と今後の考え方）

（1）高時川・姉川における治水の現状	-----	3
扇状地上の天井川	-----	3
堤防直下での人家連担	-----	3
現況流下能力	-----	4
堤防の状況	-----	5
高時川・姉川の敷地管理	-----	13
（2）高時川・姉川の治水対策に関する今後の調査検討について	-----	14
（3）現時点で考えられる治水対策案	-----	14

### 第2章 丹生ダムによる補給の効果の検討（高時川での効果の検討）

#### 2.1 魚類遡上・産卵調査

##### 2.1.1 ビワマス産卵範囲調査について

（1）目的	-----	21
（2）調査概要	-----	21
1）調査範囲		
2）調査方法		
3）調査時期		
4）平成15年の瀬切れ発生状況		
5）遡上と瀬切れ発生状況		
（3）調査結果	-----	25
1）産卵床計数、流量減少および瀬切れ発生について		
2）遡上・産卵と瀬切れ状況写真		
3）産卵床と産卵場の河川環境		
（4）ビワマスの生活史	-----	33
1）生活史区分に基づく生態特性		

2) 平成 15 年度特別採捕によるビワマス採卵・放流実績	
( 5 ) まとめ	39

### 2.1.2 アユ産卵範囲調査について

( 1 ) 目的	42
( 2 ) 調査概要	42
1) 調査範囲	
2) 調査方法	
3) 調査時期	
4) 遡上状況	
( 3 ) 調査結果	43
1) アユ卵計数について	
2) 有効産卵率と産卵場の環境	
3) 産卵調査と瀬切れ発生状況	
( 4 ) 文献による産卵環境	56
( 5 ) アユの生活史	57
( 6 ) 琵琶湖全域と高時川流域の漁獲量推移	59
( 7 ) 平成 15 年の滋賀県水産試験場による流入河川産卵量調査	59
( 8 ) まとめ	61
付録	62

### 2 . 2 農業水利の現況整理

( 1 ) 経緯	65
1) 昭和 17 ~ 44 年 ( 慣行水利権 ) の合同井堰と餅ノ井堰	65
2) 湖北地域の水争い	66
3) かんがい面積の変遷	68
4) 過去の高時川頭首工の取水量について	68
5) 現在の高時川頭首工の取水量について	68
作付け品種	
営農形態	
平成 15 年度における耕種時期の状況	
( 2 ) 国営の湖北農業水利事業および新湖北農業水利事業の事業経過	72
( 3 ) 現在の配水ネットワークについて	73
( 4 ) 高時川頭首工地点の流況について	74
( 5 ) 瀬切れ発生と高時川頭首工の取水実績	75
1) H12 年について ( 直近 10 年間の最小流出年 )	75
2) H15 年について ( 直近年 )	76
( 6 ) 配水ネットワークの運用	77
( 7 ) H8、H9、H10、H11、H12、H15 年の瀬切れ発生と高時川頭首工 の取水実績および配水ネットワークの運用	78

( 8 )	高時川の福橋地点流量と瀬切れ発生日について	81
( 9 )	非かんがい期の取水	82
( 10 )	節水について	85
1)	反覆堰・反覆ポンプの実態	85
	反覆堰の利用	
	反覆ポンプ・沈殿池の利用	
	用水の節減、水田の漏水防止など適正な水管理	
( 11 )	まとめ	90

### 第3章 丹生ダムからの補給による自然環境への影響

#### 3.1 姉川河川水の琵琶湖への流入状況調査（雪解け水について）

1.	調査・解析の概要・目的	93
2.	河川水温と琵琶湖水温の関係	94
3.	姉川河口部流動・水質現地調査	97
3.1	調査概要	97
3.2	第1回現地調査結果	102
3.3	第2回現地調査結果	119
4.	姉川河口部流動・水質数値解析（3次元水理・水質モデルによる解析）	125
4.1	数値解析条件	125
4.2	現況再現数値解析（現地調査結果における検証）	132
	まとめ（現地調査および数値解析について）	145
5.	琵琶湖溶存酸素変化と融雪期の河川流入量の関係	146
参考1	水理・水質モデルの概要	151
参考2	琵琶湖深層部の水質変化に関する近年の研究事例	155
( 参考 )	高時川流域平面図	162



# ・丹生ダム計画に関する調査検討の全体構成

## 1．丹生ダム計画についての調査検討項目

\*下線は今回の説明でふれる事項

- 1) 代替案に関して、さらに詳細な検討を行う。
- 2) 琵琶湖の水位低下抑制のための丹生ダムからの補給による効果と、その自然環境に及ぼす影響について、さらに詳細な調査検討を行う。
  - 2)-1 琵琶湖環境全般について課題の整理（大戸川ダムとあわせて説明）
  - 2)-2 琵琶湖の水陸移行帯における調査（大戸川ダムとあわせて説明）
    - ・過去における水陸移行帯での生物調査
    - ・コイ科魚類の産卵・成育実態調査
  - 2)-3 丹生ダムによる補給の効果の検討
    - ・異常渇水時の効果の検討
    - ・琵琶湖の水位低下を抑制することによる効果の検討
    - ・高時川での効果の検討
  - 2)-4 丹生ダムからの補給による自然環境への影響
    - ・姉川河川水の琵琶湖への流入状況調査(雪解け水について)
    - ・貯留水の補給が高時川・姉川および琵琶湖に与える影響の検討
- 3) 貯水池規模の見直し並びに貯水池運用の変更に伴う貯水池周辺やダム下流に与える影響をはじめ、環境等の諸調査を行う。
- 4) 土砂移動の連続性を確保する方策の検討を行う。
- 5) 利水について、水需要の精査確認を行う。

上記の他、丹生ダムに関連する事項)

治水対策の検討

## 2. 丹生ダム計画に関する調査検討の全体構成

朱字: 今回中間報告を行う項目

青字: 基礎案(前ページ参照)との対応

### 琵琶湖に関する調査検討

- 琵琶湖の水位低下時の生物の状況調査
- コイ科魚類等の産卵環境調査
- コイ科魚類等の成育環境調査
- 琵琶湖の生物環境の調査(全般)
- 姉川河川水の琵琶湖への流入状況調査

### 高時川・姉川流域に関する調査検討

- 河川流況(瀬切れ等)調査
- 農業水利状況調査
- 漁業状況調査
- 魚類遡上、産卵調査
- 河川水質調査
- 動植物、生態系調査
- 沿川の水利利用状況調査
- 人と自然のふれあいに関する予測検討
- 沿川地下水調査
- 河川周辺(堤防を含む基礎地盤)地質調査
- 水際植生の調査
- 河川の土砂移動に関する調査
- 気象変動に関する調査

### 丹生ダム周辺に関する調査検討 (高時川上流域)

- 河川流況調査
- 水質調査
- 環境基盤調査(陸域、河川域)
- 大気環境に関する調査
- 動植物、生態系調査
- 重要種の調査
- 人と自然のふれあい、景観に関する予測検討
- 森林の機能と保全に関する調査
- 土砂流出、堆砂に関する調査
- 地質、活断層、地すべり調査

### その他の地域に関する調査検討

琵琶湖水位低下抑制の対策案の検討 1)2)

- 補給可能量の検討
- 補給による効果の検討
- 補給による琵琶湖水質への影響の検討
- 貯留水の補給が高時川・姉川に与える影響の検討

琵琶湖にかかる環境全般についての検討 1)2)

- 異常渇水時の対策案の検討 1)2)
- 異常渇水時の課題の整理
- 対策案の検討

ダム下流河川の水質の予測検討 3)

瀬切れ対策(河川環境の保全再生)案の検討 1)3)

ダム以外の案も含め対策案の検討

治水対策案の検討 1)

- ダム以外の案や複合案も含め対策案の検討
- 治水のソフト対策の検討
- 堤防の安全性と強化に関する検討

土砂移動の連続性を確保する方策の検討 4)

- ダム貯水池の堆砂の検討
- 河川の土砂移動の連続性の確保の検討

土砂災害の軽減効果に関する検討 基礎案3.1.1(4)

ダム貯水池水質の予測検討 3)

ダムによる自然環境への影響と効果の検討 3)

ダム建設後の環境、景観に関する検討

ダム事業の多面的な効果と影響の検討 基礎案4.7.1(4)

ダム堤体および貯水池周辺の安全性の検討

※すでに調査を実施し一定の成果を得ています。

京阪神の水需要の精査確認 5)

- 異常渇水時の対策案の検討 1)2)
- 異常渇水時の課題の整理
- 対策案の検討

## ・ 項目ごとの中間報告内容

### 第 1 章 治水対策の検討

# 目 次

## 第 1 章 治水対策の検討

### 姉川・高時川の治水（河道の現状と今後の考え方）

（ 1 ）高時川・姉川における治水の現状	3
扇状地上の天井川	3
堤防直下での人家連担	3
現況流下能力	4
堤防の状況	5
高時川・姉川の敷地管理	13
（ 2 ）高時川・姉川の治水対策に関する今後の調査検討について	14
（ 3 ）現時点で考えられる治水対策案	14

## 姉川・高時川の治水（河道の現状と今後の考え方）

### (1) 姉川・高時川における治水の現状

#### ① 扇状地上の天井川

高時川は、高時川を含めた周辺の地形形成の結果から、中下流部においては扇状地を斜行する河川となっています。主にはそれらの地形形成の結果、また、人為的な所作の結果から、河床が周辺の土地よりも高い天井川となっています。このため、いったん破堤すると壊滅的な被害を引き起こす恐れがあります。

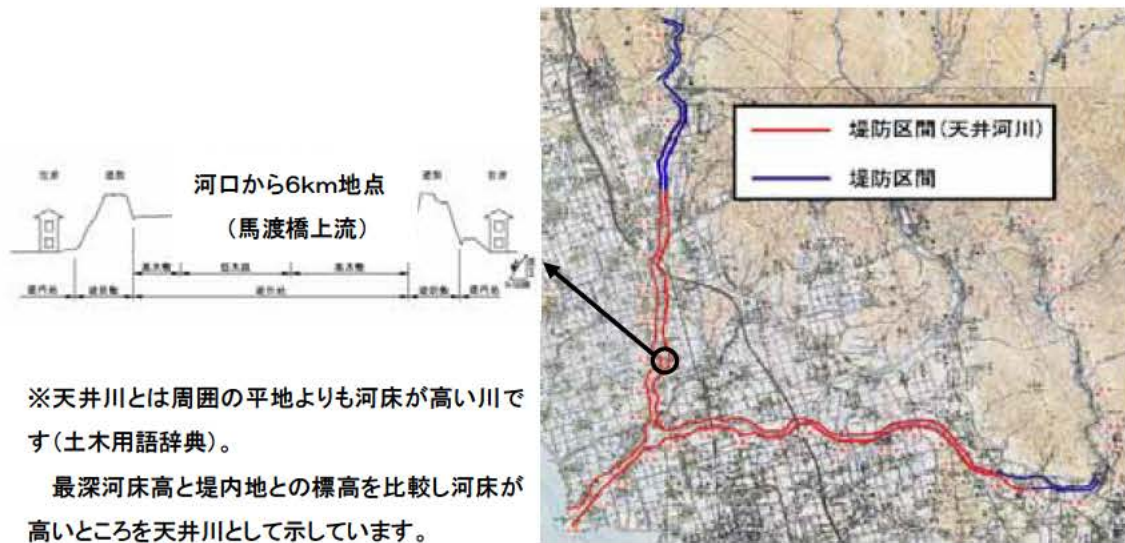


図-1 天井川区域図

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16) より)

#### ② 堤防直下での人家連担

中下流部では、堤防直下に人家の連担している場所が数多くあり、堤防に隣接して人家が密集しています。



図-2 人家連担の状況

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16) より)





図-3 人家連担地区図

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16) より)

### 現況流下能力

高時川には、河口から上流約 30 km までの区間には、河道に水を流すことのできる断面積が十分に確保されていない、極めて流下能力の小さい箇所が複数あります。このため、堤防に守られている区間でも、容易に水があふれる危険性があります。

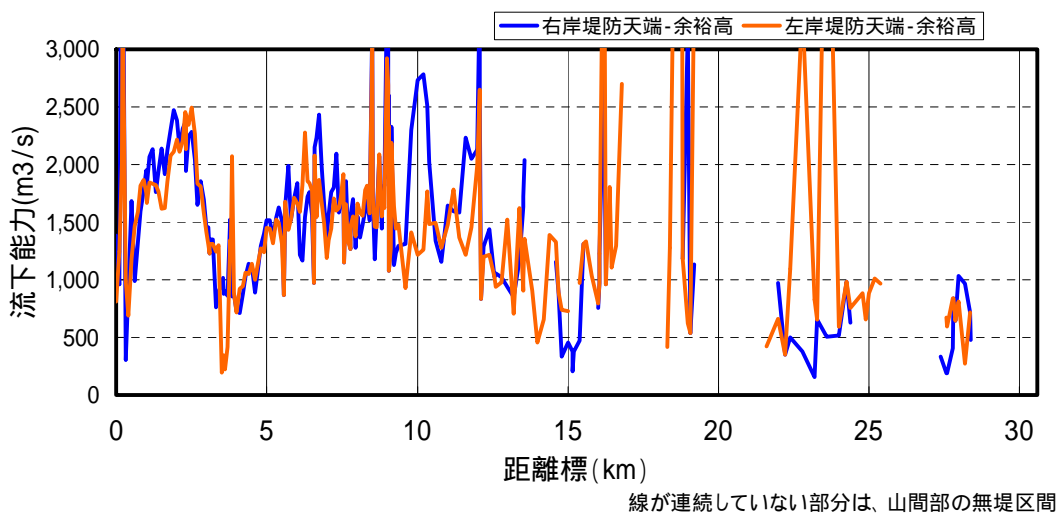


図-4 高時川の現況流下能力図

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16) より)

#### ④ 堤防の状況

堤防は、姉川・高時川の形成過程によって、また、洪水の度に運ばれてきた砂等で人為的に積み上げられ、現在の状況となっています。このような、砂等で積み上げられた堤防では、越水による破堤よりも、浸透破壊による破堤の危険性があります。

昭和50年(1975年)8月の台風6号による出水において実際に水防活動を行った方への聞き取り結果から、流量がピークに至るよりも前に堤防漏水が発生し水防活動を開始したことがわかっています。このことから浸透破壊の危険性の高いことがうかがえます。

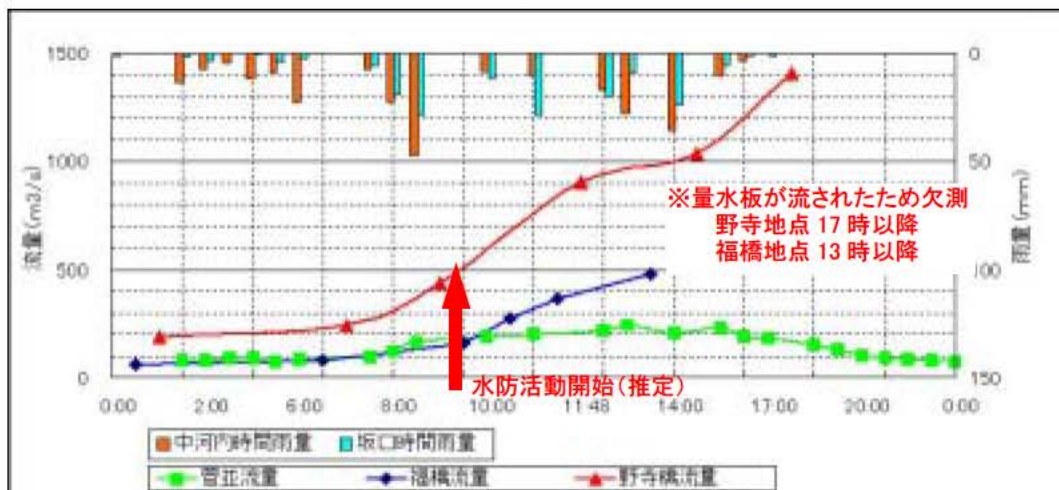


図-5 昭和50年(1975年)8月台風6号による出水の状況

出典)(独)水資源機構丹生ダム建設所資料



高時川右岸:びわ町錦織地先

高時川左岸:虎姫町唐国地先

姉川左岸:びわ町川道地先

写真は全て昭和50年8月出水

図-6 洪水時の堤防の状況

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16)より)

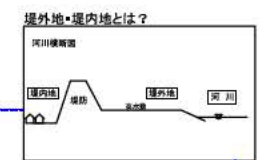
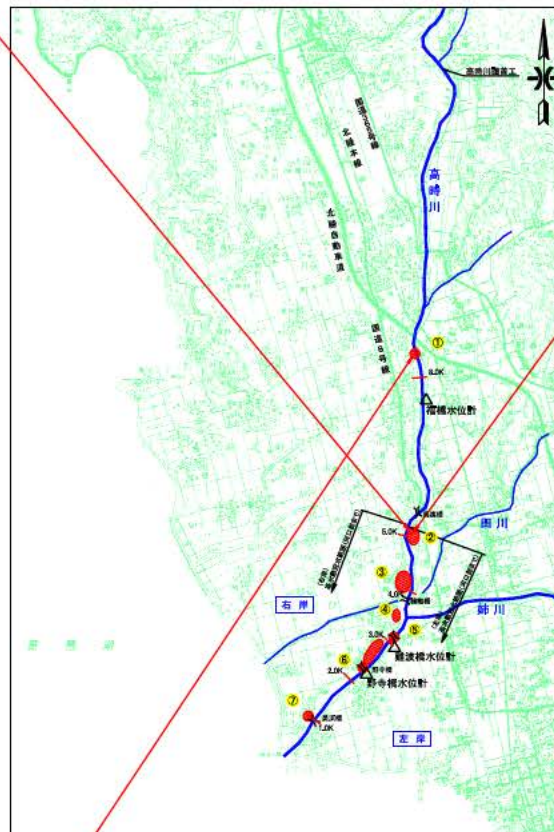
最近においても洪水被害あるいは著しい堤体漏水の発生した箇所については、河川管理者である滋賀県によって部分的な対策が行われています。しかしながら、扇状地であることから堤防基盤は透水性の高い砂礫地盤であり、抜本的な対策が困難であることから、現在も、破堤の危険性は去っていません。

平成15年8月の台風10号による出水では、水位は高水敷を越えた程度にしか上昇していませんが、各所において堤防からの漏水が確認されています。

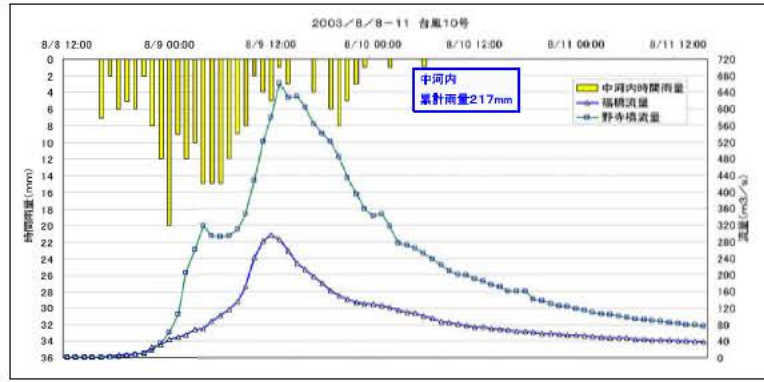


図-7(1) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

② 虎姫町唐国



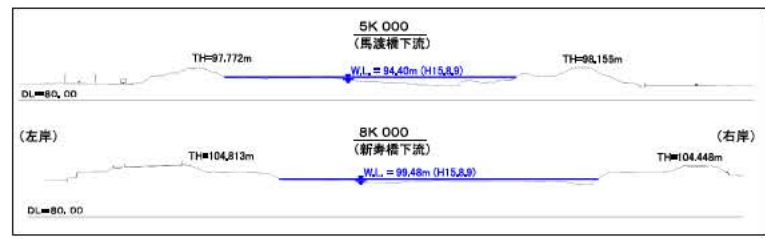
平成15年8月8日～8月11日 雨量流量



① 湖北町八日市



最高水位(洪水痕跡調査結果)



(写真提供:ひわ町、水資源機構丹生ダム建設所)



# 図-7(2) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

## ③ びわ町錦織

堤内地

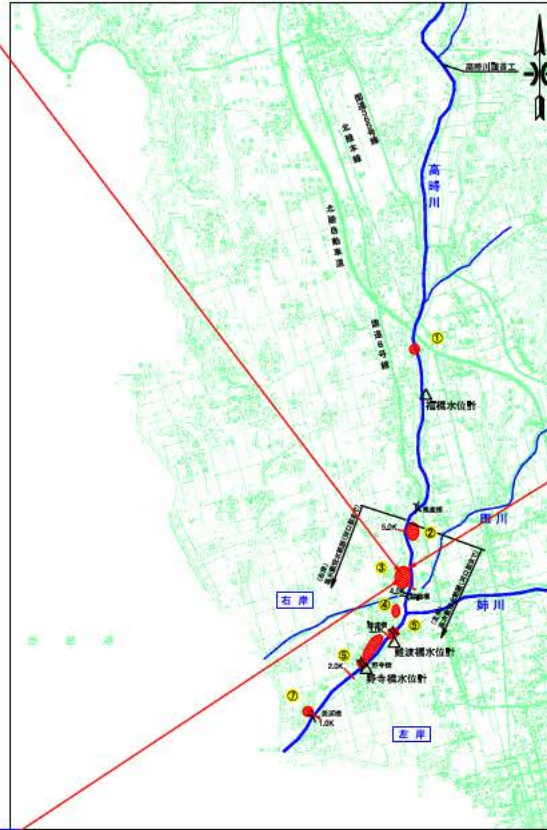
(錦織橋上流右岸)



擁壁から湧水



運動場横 湧水箇所



堤内地

(錦織橋上流右岸)



錦織区 湧水箇所(全景)

拡大



湧水箇所

堤外地

(錦織橋上流右岸)



冠水状況

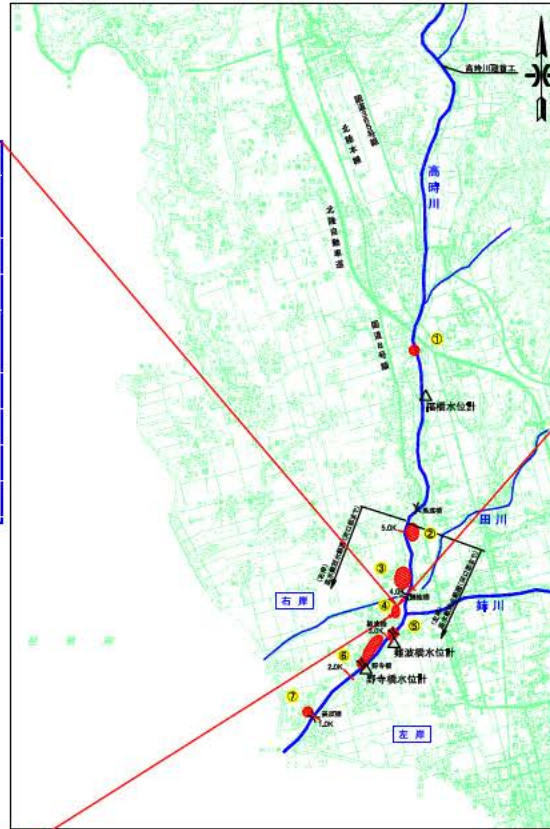
最高水位(洪水痕跡調査結果)



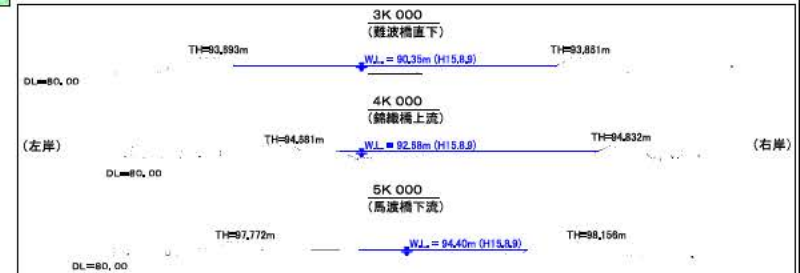
(写真提供:びわ町、水資源機構丹生ダム建設所)

図一7(3) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

④ びわ町難波



最高水位(洪水痕跡調査結果)

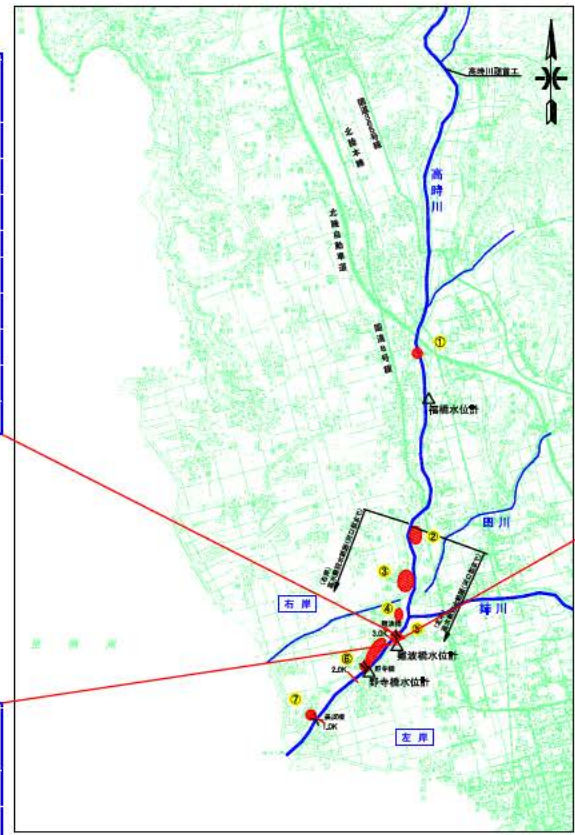


(写真提供:びわ町、水資源機構丹生ダム建設所)



図一7(4) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

⑤ びわ町難波



堤外地

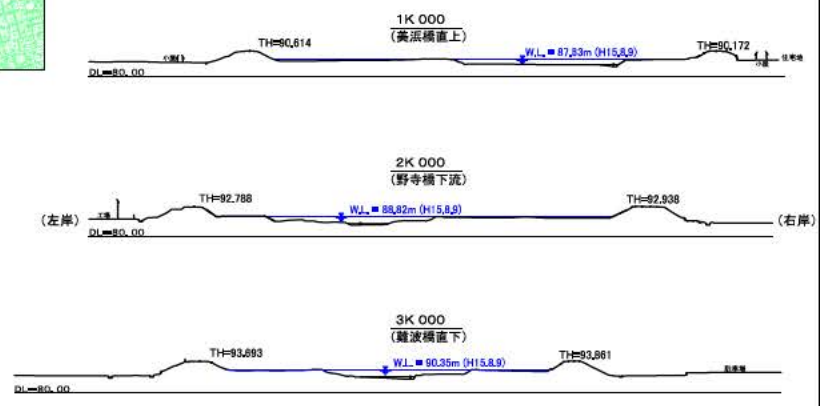
■びわ町の水防活動状況

- 9時20分 錦川難波橋の水位が警戒水位[2.7m]を超える。
- 11時00分 4班体制で町内パトロールを実施し、錦川増水により錦織から南浜までの堤外民地の冠水を確認する。
- 15時30分 びわ町警戒本部解散

防災情報システム(滋賀県)



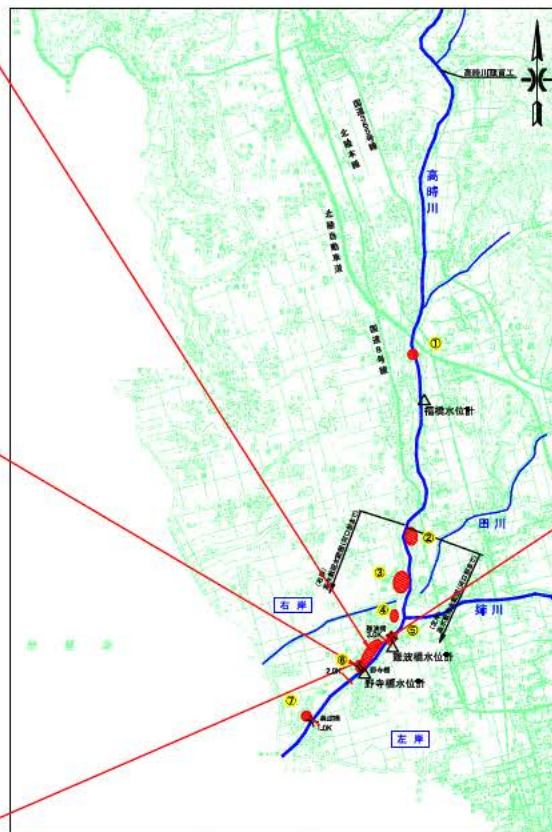
最高水位(洪水痕跡調査結果)



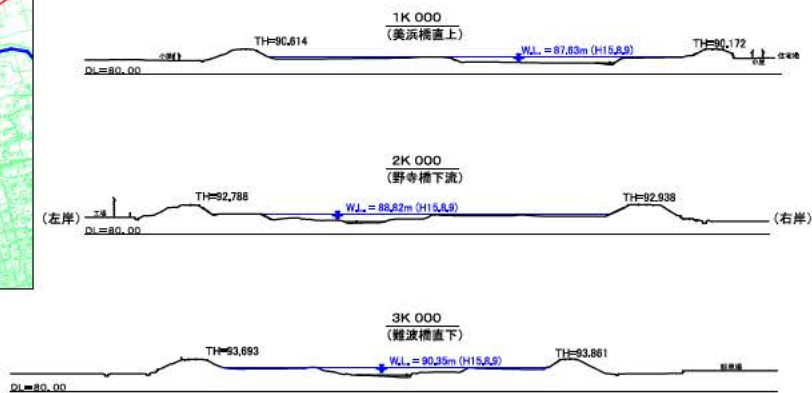
(写真提供:びわ町、水資源機構丹生ダム建設所)

図-7(5) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

⑥ びわ町野寺



最高水位(洪水痕跡調査結果)

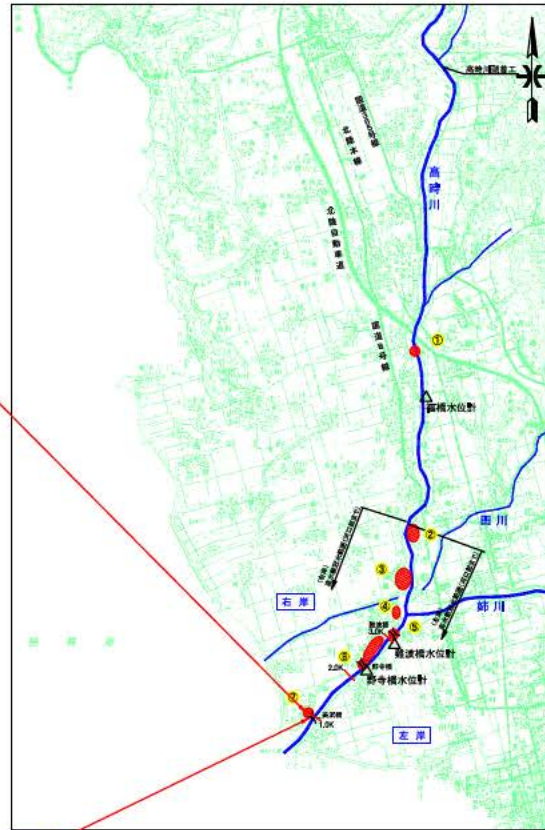


(写真提供:びわ町、水資源機構丹生ダム建設所)

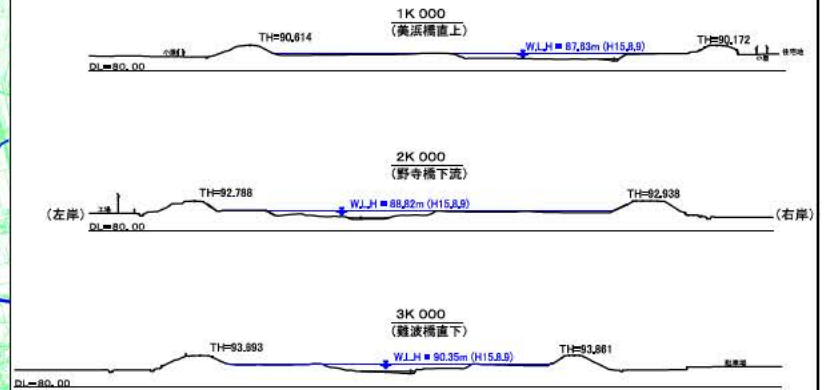


図一7(6) 平成15年8月9日台風10号 出水状況(平野部)

⑦ びわ町大浜



最高水位(洪水痕跡調査結果)



(写真提供:びわ町、水資源機構丹生ダム建設所)

堤防については、地質状況を調査することとしています。姉川・高時川周辺では、過去に建設省・滋賀県により7地点でボーリング調査が実施されています。ただし、これらは橋梁工事のためなどに実施されたもので、堤防の安全性を評価する情報が全て揃ってはいません。そのため、現在、既往調査成果などに基づいて代表的な調査地点を選定して、ボーリング調査を実施中です。



図-8 既往ボーリング調査位置図

出典)(独)水資源機構丹生ダム建設所資料

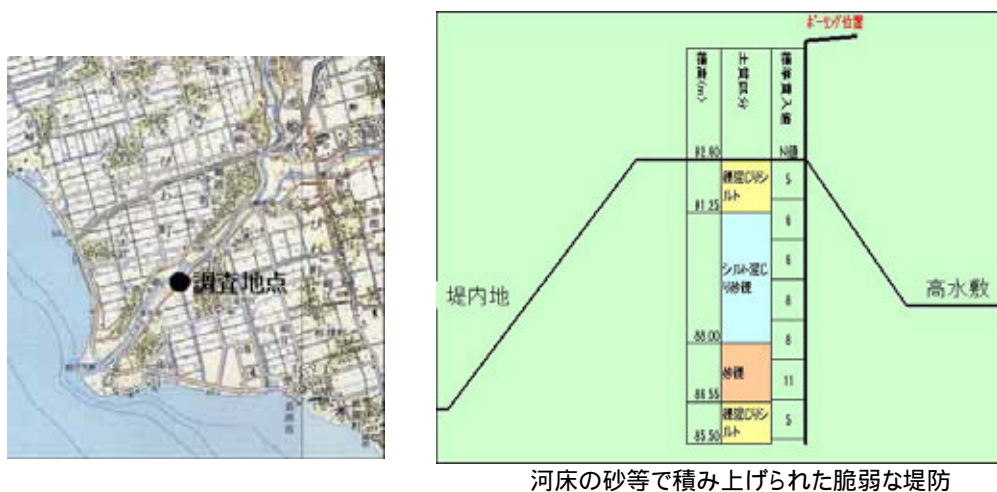


図-9 堤防の状況図

(近畿地方整備局、「丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料」(H15.5.16) より)

### 姉川・高時川の敷地管理

河川管理者である滋賀県によると、姉川・高時川の高水敷の多くは、堤外民地となっています。堤外民地となった経緯についての詳細は不明ですが、既に民地であった所を残して堤防が造られてきたこと、堤防を造る際に民地が提供されたことなど、様々な経緯があったようです。

河道内に樹木が繁茂しているところがあります。樹木による洪水阻害については、今後、より詳細な調査を行う予定となっています。

また、堤防を挟んで堤内側と堤外側の官民境界については、過去に災害復旧等で工事を実施している一部の区間を除いて、ほとんどが確定されていないとのことです。



図-10 堤外民地の状況(野寺橋付近航空写真)

出典) (独)水資源機構丹生ダム建設所資料

(2) 姉川・高時川の治水対策に関する今後の調査検討について

今後は、これまでの調査結果を踏まえて、姉川・高時川の治水対策について、河川管理者である滋賀県と調整します。

なお、姉川・高時川の河川整備計画は、滋賀県の川づくり会議および淡海の川づくり検討委員会での審議を経て策定されます。

(3) 現時点で考えられる治水対策案

破堤による被害の回避・軽減を図るための対策としては、堤防の強化や、洪水時の水位を低下させる方法があります。現在、姉川・高時川において現実的に考えられる、水位を低下させる治水対策案としては、次のようなものがあると考えています。(次ページ以降参照)



## 高時川・姉川の水位を低下させる治水対策案の例

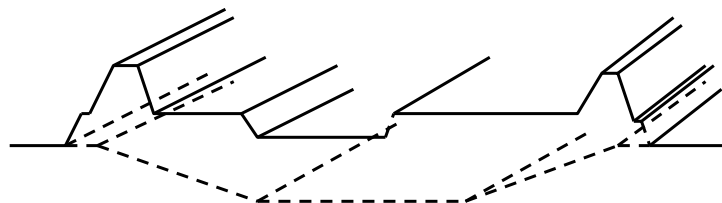
高時川・姉川において、水位を低下させる治水対策案は、次のとおりであり、これらの案についても並行して検討中です。

	治水対策案の例	概要
洪水調節施設なし	平地河川化案	天井川を解消して平地河川化し、洪水時の流下断面を確保する。
	河道改修	引堤により洪水時の流下断面を確保する。
	別川放水路	堤防区間を新たな放水路により付け替え、洪水時の流下断面を確保する。現川は廃川とする。
洪水調節施設あり	分派放水路と河道改修の組合せ	洪水時のみ流下させる放水路と現川の一部河道改修により、洪水時の流下断面を確保する。現川は平常時にも流下させる。
	遊水地と河道改修の組合せ	遊水地による洪水の貯留と、河道改修による流下断面の確保を最適に組合せる。
	ダムと河道改修の組合せ	ダムによる洪水の貯留と、河道改修による流下断面の確保を最適に組合せる。

1

## 平地河川化

- 高時川の持つ河川環境、河川の利用、河川景観を大きく損なう。
- 掘削残土の処分地の確保などが困難であり長時間を要すると共にコスト的に高価なものとなる。

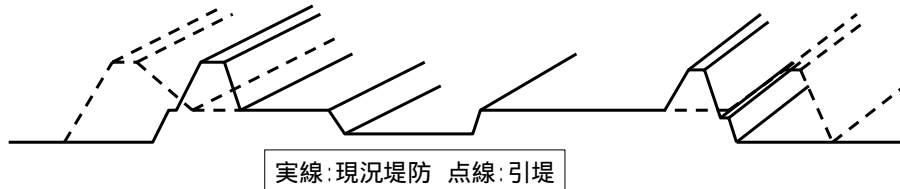


実線：現況堤防 点線：平地河川化

2

## 河道改修

- 引堤により洪水時の流下断面を確保する。

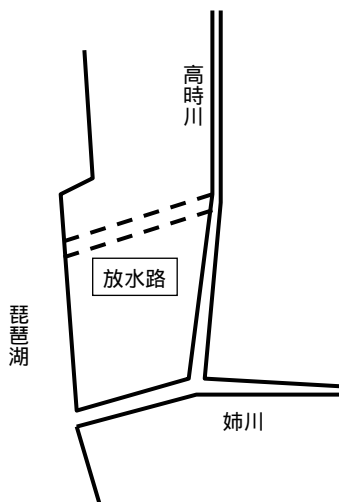


- 堤内地人家の移転、橋梁など横断構造物の改築より長時間と多額の費用を要する。
- 新堤の材料の確保、旧堤撤去の処分地の確保が重要な課題である。

3

## 別川放水路

- 洪水時の流下断面を確保した別川放水路

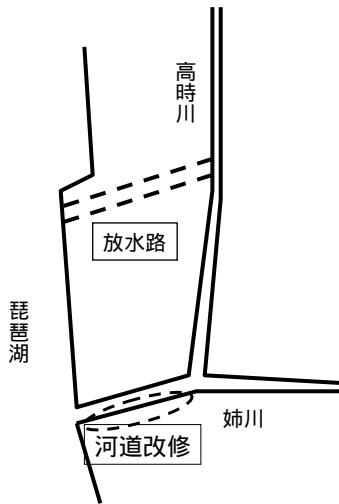


- 堤防区間を新たな放水路により付け替える。
- 現川の廃川化は、魚類の産卵・成育など環境への影響が大きい。
- 高時川の河川環境を保全再生した治水対策が必要である。

河川環境を考慮  
↓  
分派放水路を検討  
平常時は現川を、  
洪水時は放水路を流下

4

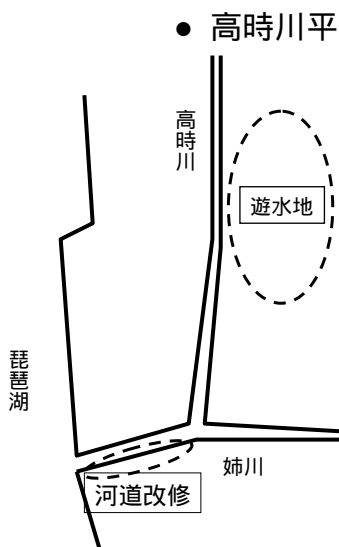
## 分派放水路 + 河道改修



- 洪水時のみ流下させる放水路と現川の一部河道改修により洪水時の流下断面を確保する。
- 現川は平常時にも流下させ、魚類の産卵・成育など環境への影響を軽減させる。

5

## 遊水地 + 河道改修

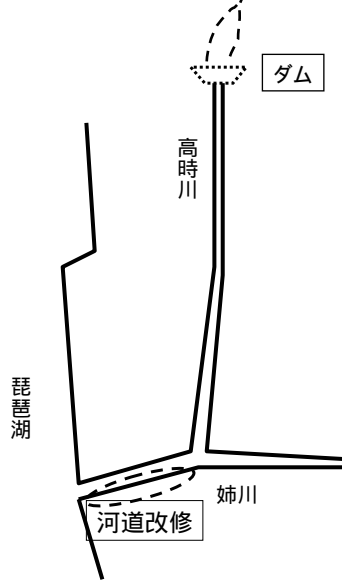


- 高時川平野部に設ける洪水貯留施設

- 遊水地による洪水の貯留と、河道改修による流下断面の確保を最適に組合せる。

6

## ダム + 河道改修



- 高時川上流部に設ける洪水貯留施設

- ダムによる洪水の貯留と、河道改修による流下断面の確保を最適に組合せる。
- ダム建設に伴う社会環境、自然環境への影響について、その軽減策も含め、他の河川事業にもまして、より慎重に検討。

## 第2章 丹生ダムによる補給の効果の検討（姉川・高時川の効果）

### 2.1 魚類遡上・産卵調査

#### 2.1.1 ビワマス産卵範囲調査について

## 2.1.1 ビワマス産卵範囲調査について

( 1 ) 目的 .....	21
( 2 ) 調査概要 .....	21
1) 調査範囲	
2) 調査方法	
3) 調査時期	
4) 平成 15 年の瀬切れ発生状況	
高時川の瀬切れ状況	
河川の流況および水温	
5) 遡上と瀬切れ発生状況	
調査前の状況	
調査時の状況	
( 3 ) 調査結果 .....	25
1) 産卵床計数、流量減少および瀬切れ発生について	
2) 遡上・産卵と瀬切れ状況写真	
3) 産卵床と産卵場の河川環境	
( 4 ) ビワマスの生活史 .....	33
1) 生活史区分に基づく生態特性	
2) 平成 15 年度特別採捕によるビワマス採卵・放流実績	
採卵量	
高時川におけるビワマス稚魚の放流	
( 5 ) まとめ .....	39

## 2.1.1 ビワマス産卵範囲調査について

### (1) 目的

ビワマスは琵琶湖の固有種である。今回の調査は、姉川・高時川でのビワマスの産卵遡上の実態を把握するものである。また、河川巡視により瀬切れの発生日およびその範囲を把握することで、瀬切れが産卵に与える影響を調査した。

### (2) 調査概要

#### 1) 調査範囲

- ・ 高時川（姉川合流点（難波橋）～高時川頭首工）
- ・ 姉川（河口～国友橋）

#### 2) 調査方法

- ・ 河川内を踏査し、目視により産卵床を計数した。(写真1)
- ・ なお、ビワマスは産卵床を掘る際に卵を産み着けない偽産卵床を作ることがある。この識別は、産卵後に被せられる砂礫の塚の盛り上がり具合によって判断した。（調査開始前に埋伏された卵の有無を見当できるように、卵が存在すると推測した産卵床を数個実際に試掘確認した。(写真2)



写真1 目視による産卵床確認  
（産卵床は盛り上がり、周辺の河床より、白く見える。楕円径でD0.5～2.5m）

上流 → 下流

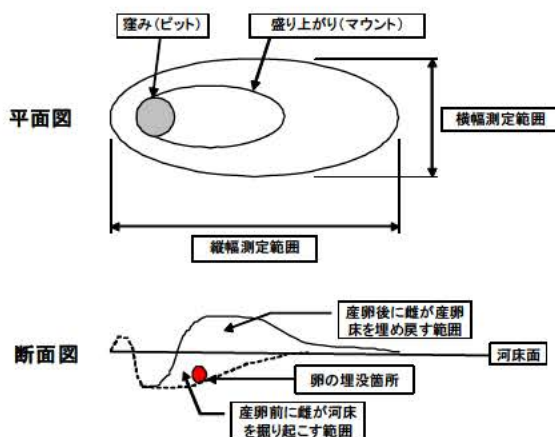


図1 産卵床模式図



写真2 産卵床のビワマス卵（生卵）  
（調査開始時に卵の存在を見当するため、一部試掘した。）

偽産卵床とは

：ビワマス（雌）が産卵床をある程度まで掘るが、卵を産み着けず、放棄してしまうものを言う。卵を産み着けた産卵床に比べ、盛り上がり小さい。

### 3) 調査時期

1 回目調査：平成 15 年 10 月 27 日～29 日

2 回目調査：平成 15 年 11 月 17 日～19 日

びわやナにおける資源維持のための特別採捕は 2 回実施された。これらの特別採捕（＝やな漁）終了後に調査を実施した。調査は合計 2 回実施した。

### 4) 平成 15 年の高時川の瀬切れ発生状況

#### 姉川・高時川の瀬切れ状況

平成 15 年 2 月～4 月中旬までの姉川・高時川における流量の安定は、降雪あるいは融雪期の出水によるものである。同年 6 月末～8 月中旬は雨量が多く、同年 8 月上旬には台風 10 号により野寺橋地点で最大流量約 660m<sup>3</sup>/s の出水があった。同年 9 月中旬からは降雨が少ないため流量が減少し、高時川筋（姉川合流点～新寿橋区間）では瀬切れが発生した。同年 11 月下旬からの降雨により流量が安定し、高時川筋の瀬切れは解消した。

平成 15 年の瀬切れ発生日は合計 62 日であった。9 月 1 日以降の瀬切れは 42 日であった。

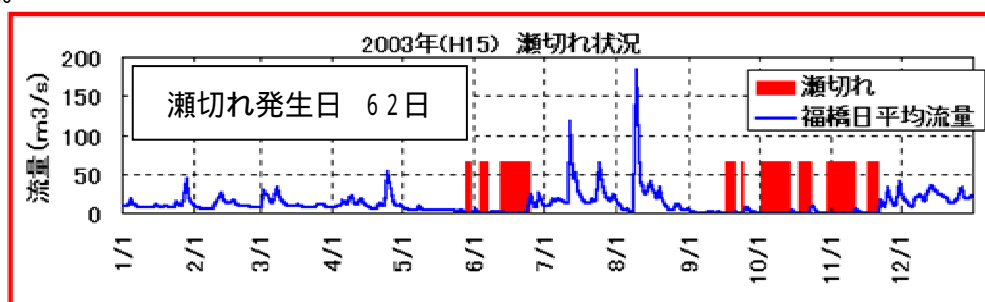
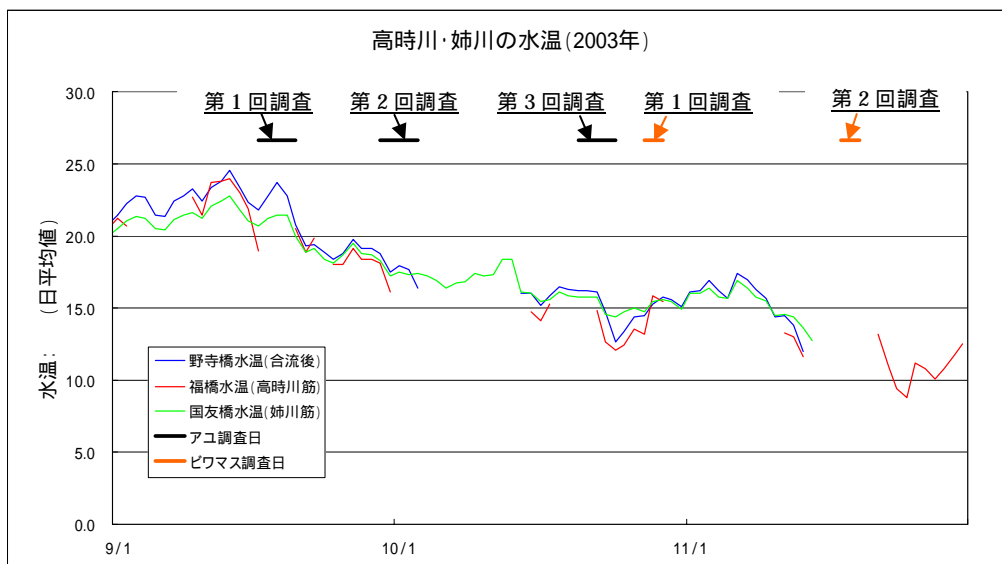


図 2 平成 15 年の高時川の平均流量と瀬切れ発生状況

#### 河川の流況および水温

河川の水温、濁度および流量は以下のとおり。





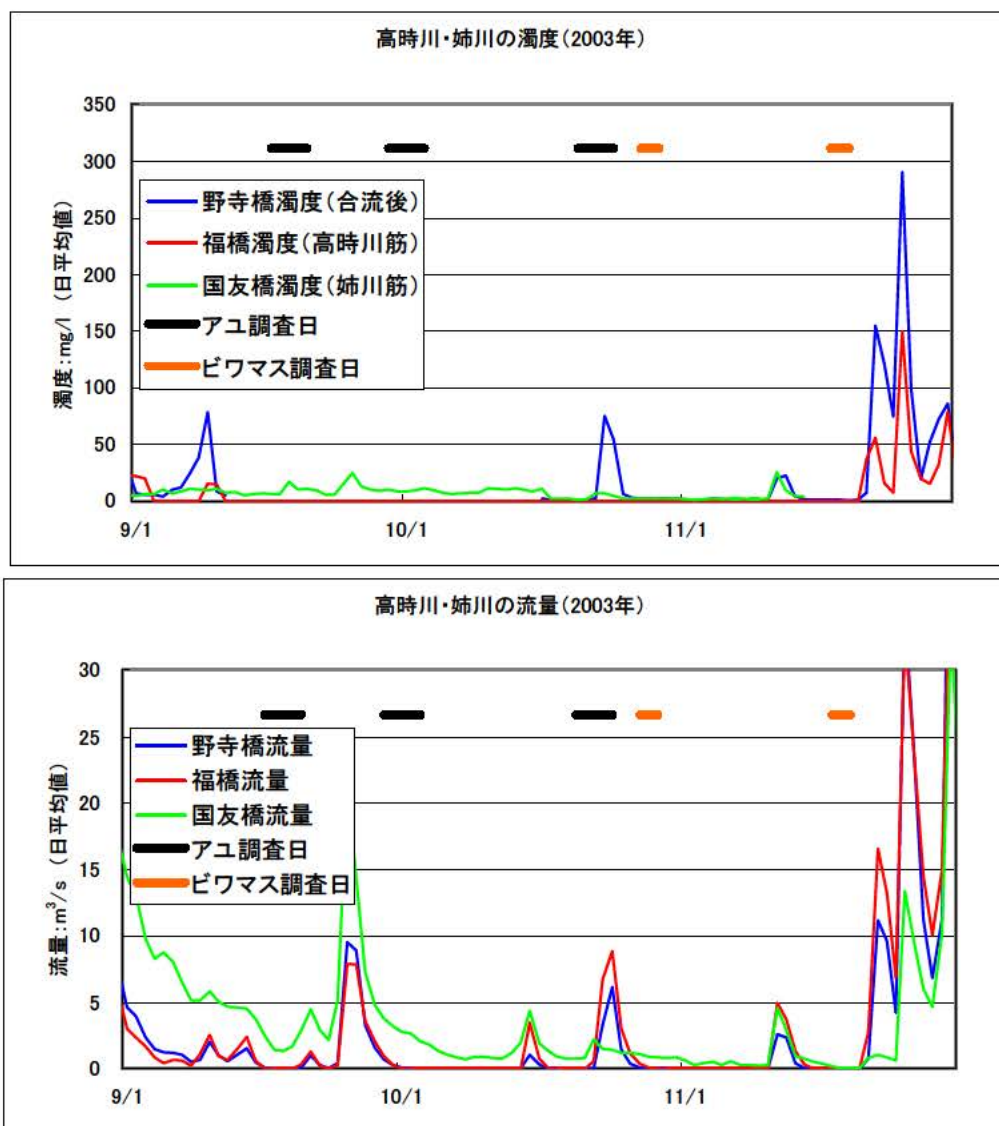


図3 姉川・高時川の水文データ(アユ・ビワマス産卵調査時)

## 5) 遡上と瀬切れ発生状況

### ①調査前の状況

平成 15 年の夏季は降水量が多く、河川流量が安定していた。そのため、産卵遡上に先立って、夏季に遡上したと推測される親魚（以下「早期遡上個体」という。）を多数確認している。これは河川巡視、アユ産卵範囲調査時によるもので、主な状況は以下のとおり。

- i) 井明神橋付近において、同年 10 月 8 日に遊泳中 4 尾を目視確認した。なお、写真撮影は、左記のうち 1 尾を撮影(写真3参照)
- ii) 錦織橋上流 (H15 年 10 月 9 日) において、瀬切れ発生により取り残され斃死したビワマスの 1 個体を確認。(写真4参照)
- iii) 難波橋 (H15 年 10 月 17 日) において、早期遡上個体の斃死を確認(写真5参照)



写真3 H15. 10. 9, 井明神橋(高時川頭首工直下)、早期遡上個体を確認



写真5 H15. 10. 17, 難波橋、早期遡上個体の斃死を確認



写真4 H15. 10. 9, 錦織橋上流(上), 瀬切れ発生で取り残され斃死したビワマス親魚(下), 早期遡上した推測される

## ②調査時の状況

1回目調査前の10月23日において、高時川上流部に日降雨量30mm(菅並地点)があり、翌日24日に高時川に出水(福橋地点最大流量約 $9\text{m}^3/\text{s}$ )があった。この出水でビワマスの遡上が認められた。姉川・高時川の上ヤナ、びわヤナ等では、資源維持のための特別採捕によるビワマスのヤナ漁が行われた。河川の水温は $15^\circ\text{C}$ 前後であった。(図3参照)

1回目調査後の10月30日以降、河川流量は減少し、びわヤナ付近～賀村橋(馬渡橋上流)の区間で瀬切れが発生し、上流へ範囲は広がった。(図3参照)

11月10～11日の2日降雨量34mmによる出水(福橋地点最大流量約 $5\text{m}^3/\text{s}$ )があり、瀬切れは解消した。この出水によりビワマスの遡上が見られた。姉川・高時川の一口ヤナ、びわヤナ等において、資源維持のための特別採捕のヤナ漁は行われた。びわヤナのヤナ漁は2回目である。この特別採捕のヤナ漁等により目標の採卵量は達したので、平成15年度の特別採捕は終了した。

2回目調査はこのヤナ漁の終了後に実施した。調査開始からびわヤナから上流付近は、既に瀬切れが発生していた。

### (3) 調査結果

#### 1) ビワマス産卵床計数、流量減少および瀬切れ発生について

ビワマスの産卵床の数および確認位置を図4、5に示す。

1回目調査時に産卵床が多く確認された場所は、美浜橋の上流部(6床)、野寺橋付近(3床)、姉川筋では虎姫ヤナの下流部(4床)であった。高時川筋ではほとんど産卵床は確認されなかった。高時川筋では合流点の上流にびわヤナが設置されており、遡上する親魚がここで特別採捕され、上流へ遡上した親魚が少なかったため産卵床の確認数は少なかったものと考えられる。

2回目調査時の高時川筋において、産卵床が多く確認された場所はJR北陸本線鉄橋直下の床固め工下流部にある北陸自動車道の高架下付近(9床)、姉川筋においては虎姫ヤナ～国友橋(4床)であった。高時川筋で確認された要因は、前記(2)5)のとおり、短期間ではあるが、びわヤナ撤去後にびわヤナの部分の遡上が可能な流量があったためと考えられる。ただし、2回目調査時の新寿橋～寿橋間で確認した産卵床は、平成15年11月20日の流量減少により、その産卵床の上流と下流で瀬切れが発生し、卵への影響を懸念する。

高時川筋の1回目および2回目調査結果を総括すると、びわヤナより上流で産卵床がまとめて確認した場所は、JR北陸線鉄橋直下(床固め工下流)の北陸自動車道の高架下付近(9床)であった。また、遡上の上限は高時川頭首工であった。なお、姉川・高時川水系の1回目および2回目調査の総括では、産卵床が多かった範囲は合流点下流部および姉川筋であった。

高時川筋は姉川筋と比べて産卵床が少なかった要因は、遡上期の流量減少と瀬切れが発生すること、流量減少と瀬切れに伴い床固め工等(河川横断工作物)の部分の遡上が容易でない状況、特別採捕による遡上魚の減少などが考えられる。

聞き取り調査によると、高時川筋では平成10年出水では高時川頭首工上流まで遡上している。また、近縁種のサツキマスなどは河口から100km近く遡上することから(中野ほか,1989)、ビワマスについても現在の遡上範囲より上流部に遡上する能力は十分あると考えられる。

現在の高時川は高時川頭首工から下流部で瀬切れが発生している。このため、高時川頭首工までのビワマス遡上および自然産卵を保全するためには、高時川頭首工下流の流量の安定が重要であると考えられる。



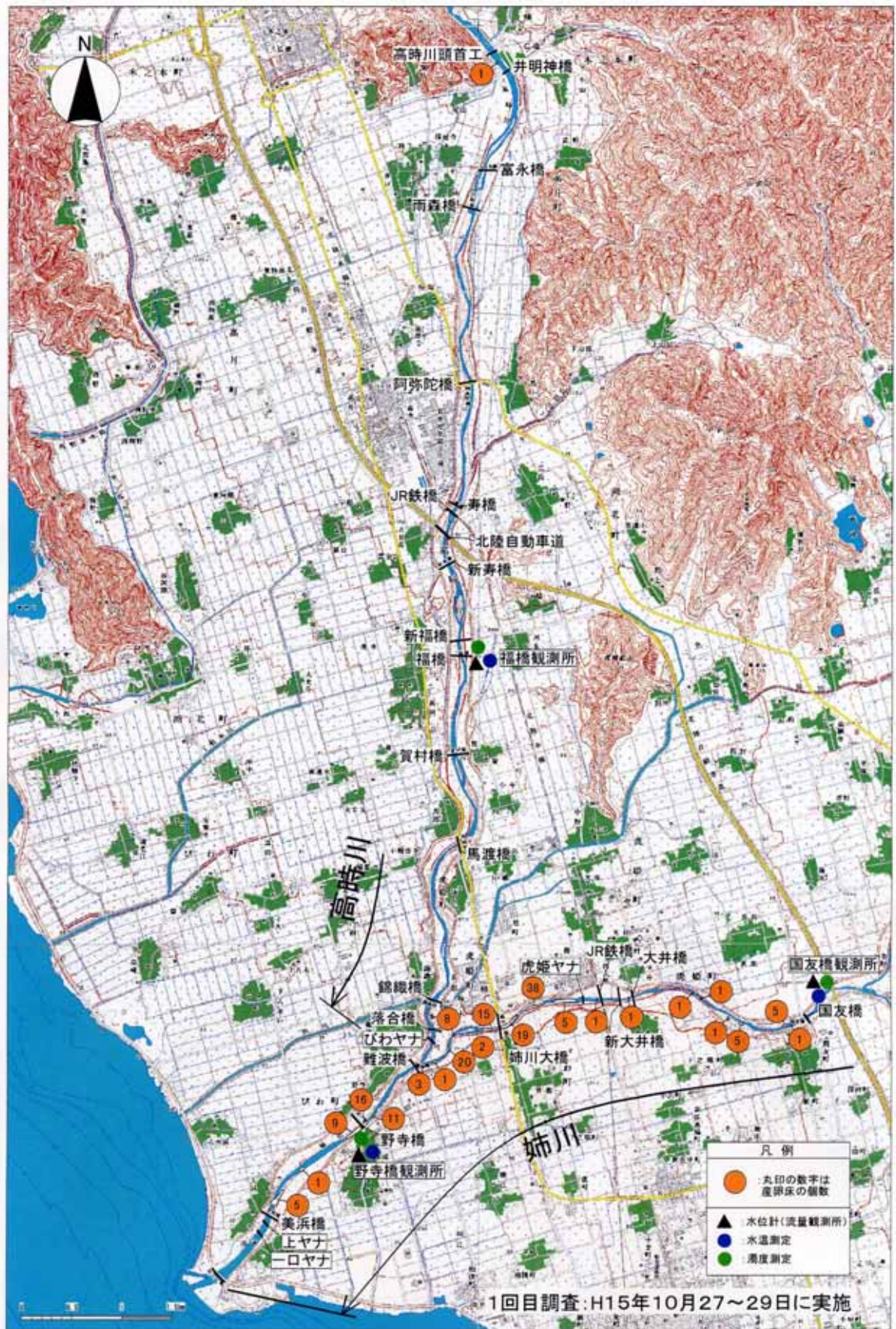


図 - 4 ビワマス産卵床確認位置図(1回目調査)



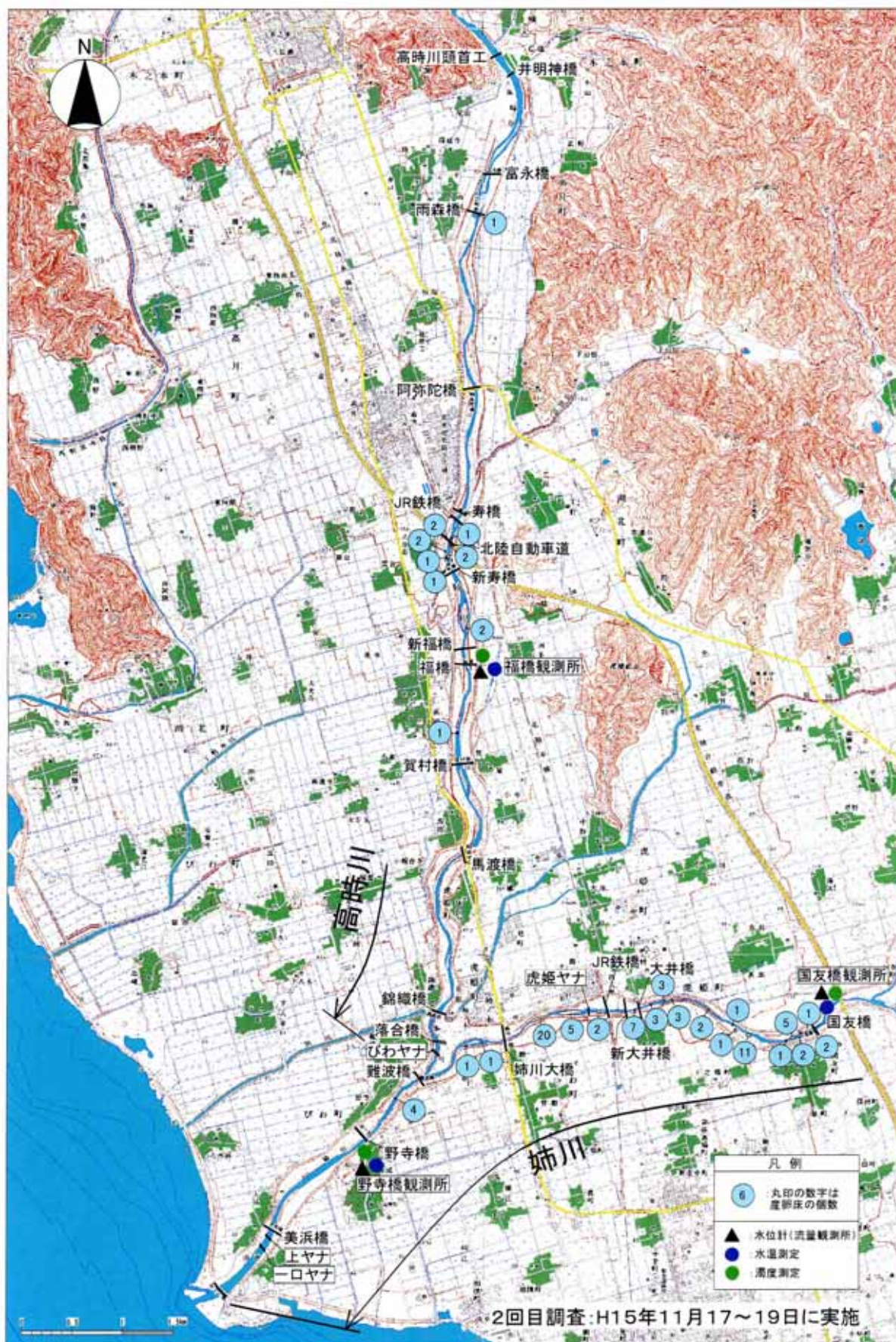


図 - 5 ビワマス産卵床確認位置図 ( 2 回目調査 )



図. ビワマス産卵範囲調査結果 と 瀬切れ状況

▶ ビワマス産卵床数を示す。  
 C内数字 「高時川のビワマス遡上・産卵と瀬切れ状況」の写真番号

凡例  
 未調査 or 未確認  
 通水  
 水面が不連続  
 水面がない  
 情報なし

びわやな設置(10月24~25日)

びわやな設置(11月11~12日)

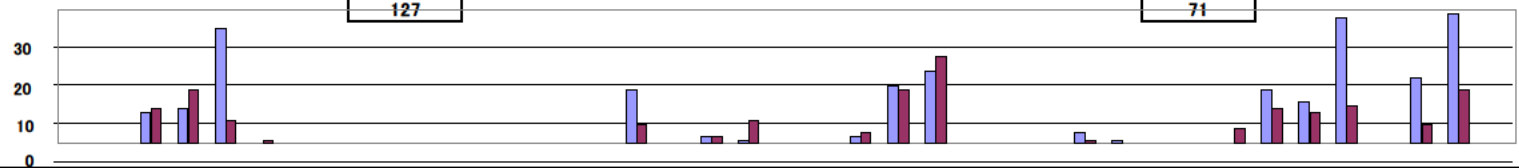
1回目調査

2回目調査

		10月										11月																														
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
		日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水		
諸量	福橋地点 日平均流量(m <sup>3</sup> /s)	0.0	0.0	0.0	1.3	7.4	10.4	4.5	2.4	1.3	0.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	5.3	2.6	1.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	17.7	14.7	8.5	32.7	24.0		
高時川	合流点(上流)																																									
	井明神橋																																									
	富永橋																																									
	寿橋																																									
	新寿橋																																									
	新福橋																																									
	福橋																																									
	馬渡橋																																									
	錦織橋																																									
	落合橋																																									
	びわやな																																									
	難波橋																																									
	姉川	合流点(下流)																																								
		難波橋																																								
野寺橋																																										
美浜橋																																										
姉川大橋																																										
合計		43										17																														

姉川	合流点(上流)																																								
	国友橋																																								
	旧大井橋																																								
	虎姫ヤナ																																								
難波橋																																									
合計		127										71																													

降雨量(mm)  
 ■ 菅並地点日雨量  
 ■ 吉槻地点日雨量



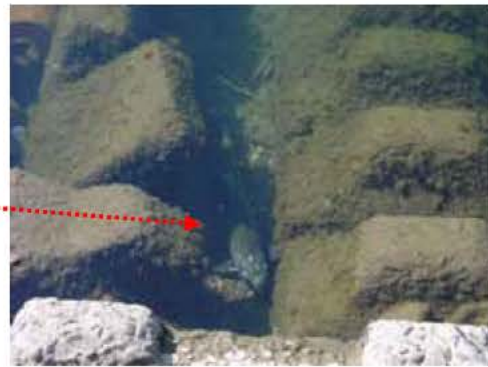
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		10月										11月																												

## 2) ビワマス遡上・産卵と瀬切れ状況写真

以下写真は、図6「ビワマス産卵範囲調査結果と瀬切れ状況」中の口内数字と整合している。



写真①, H15.10.30、難波橋上流、  
高時川では瀬切れ発生(不連続)、姉川は  
瀬切れ無し



写真② H15. 10. 20、びわヤナ、  
瀬切れ発生状況(上)と取り残されたビワマス(下)



写真③ H15. 10. 24、びわヤナ、  
ヤナをとび越えようとしている状況(左上、  
右上、左下)



写真 H15.10.29、美浜橋、  
産卵床を作っている状況



写真 H15.10.27、びわヤナ、  
流量減少



写真 H15.10.30、びわヤナ、  
瀬切れ発生より遡上阻害発生



写真 H15.10.30、びわヤナ下流  
びわヤナ上流の瀬切れにより、流量減少。  
ビワマス親魚



写真 H15.11.7、JR北陸本線直下  
の落差工、瀬切れ発生状況





写真⑨ H15. 11. 12、 JR北陸本線直下の床止め工、河川流量減少より床固め工の遡上が容易でない状況。なお、この落差工の両端の魚道では、ジャンプでとび越えていった親魚もいた。(目視確認)



写真⑩ H15. 11. 13、 JR北陸本線直下の落差工、流量減少より、遡上しにくい状況



河床砂礫白く見える  
ところが産卵床



写真⑪ H15. 11. 20、 JH北陸縦貫道直下産卵床の上流(左上写真)と下流(右上写真)で瀬切れ発生、わずかな流水は伏流水による。

### 3) 産卵床と産卵場の河川環境

産卵床が確認された河床型を図7に示す。ビワマスの産卵床は平瀬および淵尻に多く形成されていた。産卵床の模式図を図8に示す。

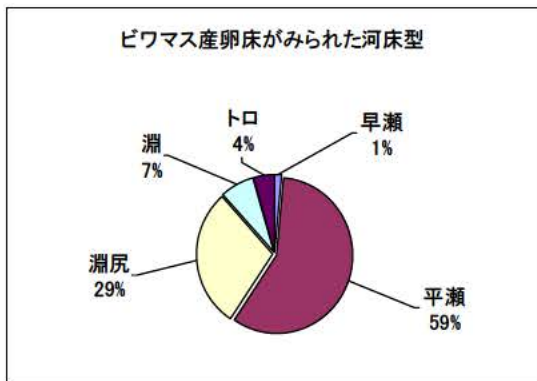


図7 産卵床が確認された河床型の割合

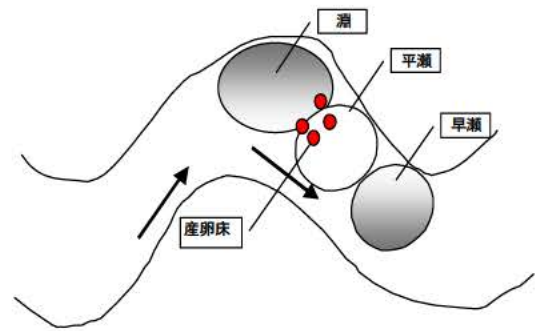


図8 産卵床の河床型別の頻度について



写真6 H15.10.28, 野寺橋下流,  
平瀬で産卵床を作っている状況



写真7 H15.10.28, 野寺橋下流,  
親魚メスが産卵床を尾ビレで掘っている状況  
(奥はオス)

#### (4) ビワマスの生活史

##### 1) 生活史区分に基づく生態特性

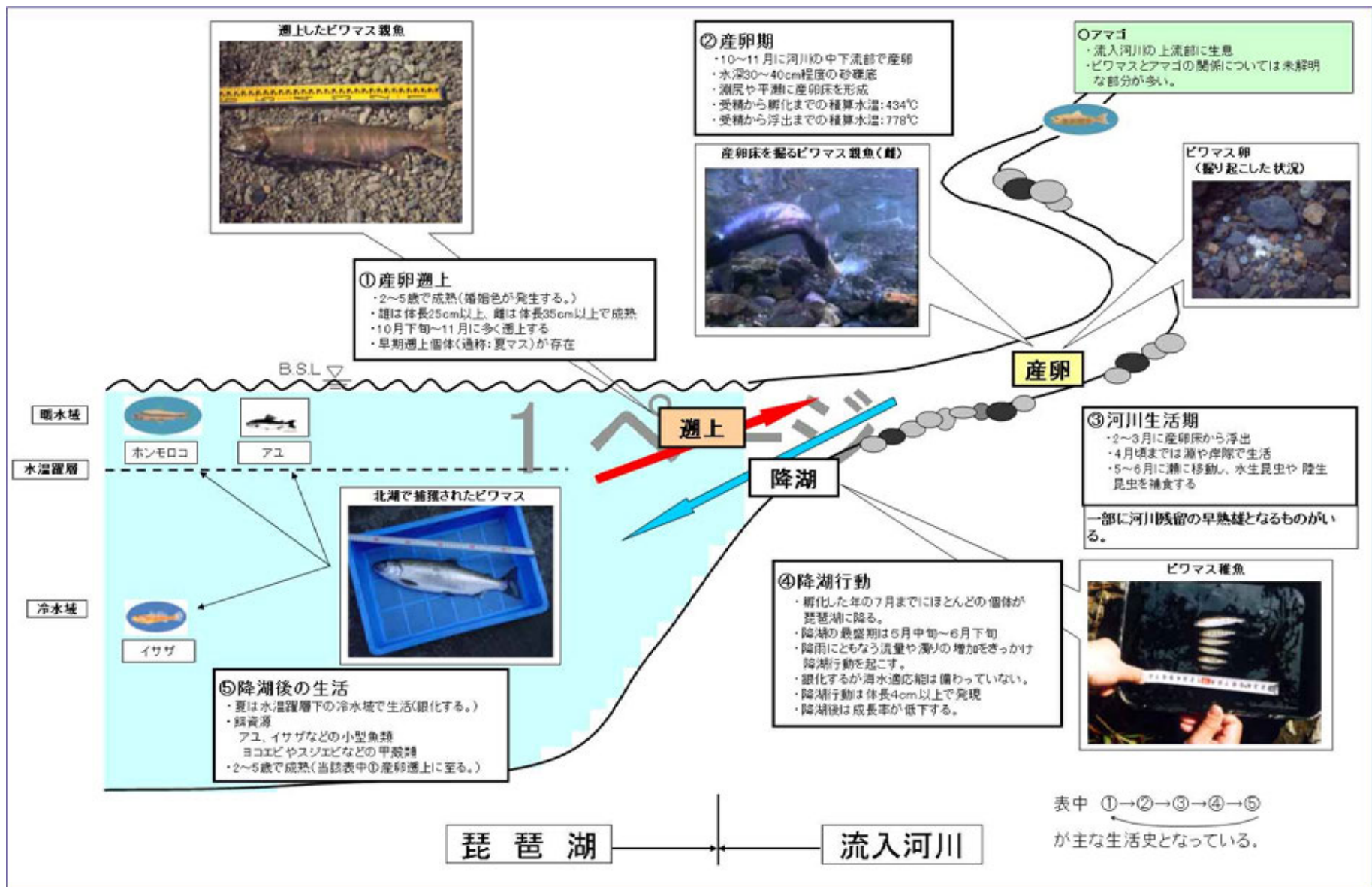
文献及び本調査から各生活史別の生態特性をとりまとめた。

生活史区分	生態的特性	文献
受精卵～浮出期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受精から孵化までの積算水温：434</li> <li>・受精から産卵床の河床レキの空隙から浮出までの積算水温：778</li> <li>・浮出：孵化後の仔魚が卵黄を消費しつくし、遊泳力がついて餌を求めて水面近くまで浮かび上がるようになること。</li> <li>・産卵床からの稚魚の浮出：2月下旬～3月</li> </ul>	
稚魚期 (河川生活期)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川生活期は6～7月</li> <li>・4月下旬までは淵や岸よりの緩流部で生活</li> <li>・5月上旬から瀬の流心や淵頭に定位する。</li> <li>・水生昆虫や落下昆虫を補食するが、落下昆虫の比率が高い。</li> <li>・体色の銀白化は河川への降河前に始まる。</li> <li>・降雨に伴う流量や濁りの増大をきっかけに降河行動を起こす。</li> <li>・降河期の体長4.5～7cm</li> <li>・早熟雄への分化は体長7cm以上でおこる。</li> <li>・ほとんどの個体が降河するが、一部の早熟雄は河川に残留。</li> </ul>	、
未成魚～成魚期 (湖沼生活期)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・夏季は水温20以下の水温躍層下で生活</li> <li>・体長20cmを超えると朱点を失う</li> <li>・降河後、2～3ヶ月でパ・マ・クは消失</li> <li>・降河後は成長率が低下</li> <li>・海水適応能は既に消失</li> <li>・降湖直後はアナンデ・ルヨコエビを主に捕食</li> <li>・成長に伴いアユなどの魚類を捕食</li> <li>・主に刺し網(マス小糸網)で漁獲される</li> </ul>	
産卵期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成熟年齢は2～5歳</li> <li>・成熟体長25～60cm</li> <li>・雌では、8～9月にGSI(=生殖腺重量(g)/魚体重(g)×100)が1以上の個体はその年に成熟し、0.2以下の個体は未成熟群となる。</li> <li>・雄でも8～9月にGSIが1以上を示す個体は、その年に成熟する。</li> <li>・卵数：EN(個)と標準体長：S(cm)の関係 EN = 66.87S - 1315.76 (r = 0.85)</li> <li>・産卵期(2003年、高時川・姉川)：10月下旬～11月</li> <li>・産卵環境：流速10～40cm/s、底質は小礫が主体、水深20～40cm。</li> <li>・産卵床は淵尻～瀬頭にかけて形成される。</li> </ul>	

##### 文献

- 藤岡康弘・伏木省三．1988．ビワマス幼魚の降河と銀毛化．日本水産学会誌，54(11)．1889-1897．
- 藤岡康弘．1991．ビワマスの形態ならびに生理・生態に関する研究．醒井養鱒場研報(3)．1-112．
- 古川哲夫．1989．ビワマス．日本の淡水魚，川那部浩哉・水野信彦編，180-185．山と溪谷社，東京．
- 加藤文夫．1973．伊勢湾で獲れたアマゴの降海型について．魚類学雑誌，20．107-112
- 桑原雅之・井口恵一郎．1994．ビワマスにおける河川残留型成熟雄の存在．魚類学雑誌，40(4)．495-497．
- 水資源機構丹生ダム建設所．2004．ダム下流河川環境等調査業務報告書．
- 上西実・藤岡康弘．1998．ビワマスの稚魚期における食性の変化．魚類自然史研究会会報ボテジャコ，24-25．
- 魚類自然史研究会．大阪．





図．ピワマスの生活史模式図

サクラマス群		生息域	当歳魚(0 <sup>+</sup> )					1歳魚(1 <sup>+</sup> )					2歳魚(2 <sup>+</sup> )				3~5歳魚(3 <sup>+</sup> ~5 <sup>+</sup> )			
亜種名			秋季	冬季	春季	初夏	夏季	秋季	冬季	春季	初夏	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季
サクラマス	河川	産卵期		浮出			早熟個体 (ヤマメと なる)		銀毛化	一部の未 熟個体は 翌春降海					河川生活 へ		産卵期			
分布域	北海道から日本 海側流出河川	海							降河						遡上					
サクラマス群			当歳魚(0 <sup>+</sup> )					1歳魚(1 <sup>+</sup> )					2歳魚(2 <sup>+</sup> )				3~5歳魚(3 <sup>+</sup> ~5 <sup>+</sup> )			
サツキマス	河川	産卵期		浮出			銀毛化	銀毛化	銀毛化	河川生活 へ			産卵期							
分布域	主として太平洋 側流出河川	海					降河	降河	降河(一 部遡上: もどりシラ メ)	遡上										
サクラマス群			当歳魚(0 <sup>+</sup> )					1歳魚(1 <sup>+</sup> )					2歳魚(2 <sup>+</sup> )				3~5歳魚(3 <sup>+</sup> ~5 <sup>+</sup> )			
ビワマス	河川	産卵期		浮出			一部の早 熟雄が残 留	早熟雄は 産卵に加 わる						産卵期						産卵期
分布域	琵琶湖	琵琶湖				降河								遡上						遡上

出典・日本の淡水魚(1989)山沢カラー名鑑より編集

別図 10 サクラマス群各亜種の生活史

## 2) 平成 15 年度 特別採捕によるピワマス採卵・放流実績

滋賀県は沿岸漁場整備開発法およびその施行令により、水産動植物の種苗の生産および放流ならびに水産動物の育成に関する基本計画（以下「基本計画」という。）を立案している。その中で、ピワマスを70万尾（全長おおむね60mm）の放流目標を定めている。

その基本計画に基づき、琵琶湖固有種のピワマス資源維持のために、滋賀県漁業協同組合連合会は特別採捕で捕獲された親魚から採卵受精を行い、稚魚まで育てて各河川に放流している。なお、滋賀県は滋賀県漁業協同組合連合会に対して、基本計画に基づく種苗放流事業、栽培効率化技術開発事業の委託、技術指導および施設貸与を行っている。

### 採卵量

平成15年度は、姉川・高時川で26万1500粒であり、滋賀県全体の採卵量に占める割合は14%である。

表1 平成15年(秋季)のピワマス採卵実績

No.	河川名	採卵場所	採卵数(粒)	全体に占める割合(%)
1	姉川高時川	ヤナ等	261,500	14.1%
2	その他河川		1,599,700	85.9%
	合計		1,861,200	100.0%

出典) 滋賀県漁業協同組合連合会高島事業場



写真9 びわやナのヤナ漁によるピワマス親魚の特別採捕状況(左)、採卵状況(右)



写真10 稚魚の飼育状況  
(醒ヶ井養鱒場の屋内稚魚飼育池)



### 高時川におけるビワマス稚魚の放流

平成16年3月12日、高時川中流域の井明神橋（高時川頭首工直下）において、ビワマスの稚魚6万5000尾の放流が行われた。また、姉川、草野川では合わせて5万5000尾が放流された。（表2参照）

放流は滋賀県漁業協同組合連合会の高島事業場が行っており、この放流は、ビワマスの資源維持を目的として毎年行われているが、高時川の稚魚放流は初めてである。滋賀県下の河川放流は安曇川、知内川等の合計17河川である。

放流されたビワマスの稚魚は、平成15年秋季に各河川に遡上した親魚から採卵・授精、そして孵化させて成育したものである。体長は6cm前後、体重は2g前後である。

放流された稚魚は、しばらくの間を川で水生昆虫などを食べて過ごした後、梅雨による川の増水をきっかけに降湖を始め、7月にはほとんどの個体が琵琶湖に下ることが知られている。琵琶湖でアユやエビを食べて40～50cm程に育ったビワマスは、2～3年後、産卵のために放流された川に戻ってくる母川回帰を有していると言われている。



写真10 放流されるビワマスの稚魚(左上),その拡大(右上)  
ビワマス放流の状況 (左下、右下)

表2 平成16年(早春季)ピワマス稚魚放流実績

No.	河川名	放流数 (匹)	全体に占める 割合(%)
1	野洲川	60,000	6.2%
2	日野川	30,000	3.1%
3	犬上川	40,000	4.1%
4	愛知川	60,000	6.2%
5	天野川	60,000	6.2%
6	姉川・高時川	120,000	12.3%
6-1	高時川	65,000	6.7%
6-2	姉川	30,000	3.1%
6-3	草野川	25,000	2.6%
7	芹川	20,000	2.1%
8	塩津大川	40,000	4.1%
9	大浦川	10,000	1.0%
10	知内川	123,000	12.7%
11	石田川	60,000	6.2%
12	百瀬川	11,700	1.2%
13	安曇川	297,580	30.6%
14	鴨川	30,000	3.1%
15	鵜川	10,000	1.0%
計		<b>972,280</b>	<b>100%</b>

出典) 滋賀県漁業協同組合連合会高島事業場



(5) まとめ

1) 高時川・姉川水系の産卵状況

高時川で確認された産卵床数は姉川と比較すると少ないものだった。

2) 高時川での産卵範囲

今回調査では、高時川は頭首工直下で産卵床を確認した。このことより、ビワマスはここまでの遡上は可能であり、産卵環境としても利用できることがわかった。

3) 瀬切れ等の影響

高時川の産卵床数が少なかった理由として、産卵期間中、姉川は比較的安定した流量に対し、高時川では瀬切れの発生と流量減少に伴い床固め工等の部分の遡上が容易でない状況となったことや、資源維持のための特別採捕で遡上魚が少なかった等の理由が考えられる。

また、第2回調査時（平成15年11月17日～19日）の新寿橋～寿橋間で確認した産卵床は、平成15年11月20日の流量減少より産卵床の上流と下流で瀬切れが発生し、卵への影響が懸念される。

姉川・高時川のビワマス遡上産卵状況写真（平成15年秋）



10月24日撮影

10月24日をピークにビワマスの遡上を確認



10月24日撮影

ヤナに向かってジャンプするビワマス



10月29日撮影

産卵床を作っている状況（橋上より撮影）



10月28日撮影

平瀬で産卵床を作っている状況（水中撮影）



10月28日撮影

親魚（メス）が産卵床を尾ビレで掘っている状況（水中撮影）



産卵床のビワマス卵（生卵）

## 第2章 丹生ダムによる補給の効果の検討（姉川・高時川の効果）

### 2.1 魚類遡上・産卵調査

#### 2.1.2 アユ産卵範囲調査について

## 2.1.2 アユ産卵範囲調査について

( 1 ) 目的 .....	42
( 2 ) 調査概要 .....	42
1) 調査範囲	
2) 調査方法	
3) 調査時期	
4) 遡上状況	
( 3 ) 調査結果 .....	43
1) アユ卵計数について	
第 1 回調査	
第 2 回調査	
第 3 回調査	
2) 有効産卵率と産卵場の環境	
水深	
表層流速	
底質流径	
調査結果による産卵環境について	
3) 産卵調査と瀬切れ発生状況	
調査前後の河川状況写真 ( 瀬切れによる影響 )	
( 4 ) 文献による産卵環境 .....	56
( 5 ) アユの生活史 .....	57
( 6 ) 琵琶湖全域と高時川流域の漁獲量推移 .....	59
( 7 ) 平成 1 5 年の滋賀県水産試験場による流入河川産卵量調査 .....	59
( 8 ) まとめ .....	61
付録 .....	62

## 2.1.2 アユ産卵範囲調査について

### (1) 目的

湖産アユは琵琶湖および流入河川に広く生息する典型種である。今回の調査は、姉川・高時川でのアユの産卵遡上の実態を把握するものである。また、河川巡視により瀬切れの発生日およびその範囲を把握し、産卵に与える影響を調査した。

### (2) 調査概要

#### 1) 調査範囲

- ・高時川（姉川合流点（難波橋）～高時川頭首工）
- ・姉川（河口～国友橋）

#### 2) 調査方法

河川内を踏査し、産着卵の有無を確認した。さらに、産着卵が確認された場合、円形コドラートによって産着卵された川砂利を採取し、その産着卵を生卵、発眼卵、死卵別に計数した。(下写真参照)

#### 3) 調査時期

第1回調査（9/16～20）：産卵初期

第2回調査（9/29～10/3）：1回目から1週間程度空け、1回目卵孵化後の状況を調査

第3回調査（10/20～24）：産卵後期

1回目調査は、河川巡視による遡上確認および滋賀県水産試験場のアユ資源量調査結果の速報を把握して開始した。



写真・円形コドラートによる産着卵された川砂利の採取状況



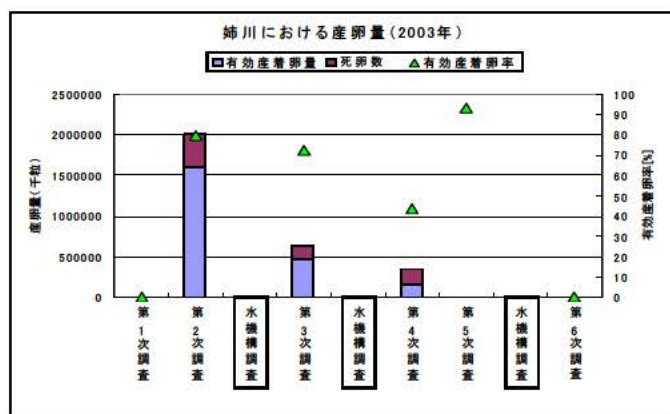
写真・アユの産着卵(生卵)



写真・成熟したアユ親魚(背中が黒くなる。), H15.9.18 姉川(国友橋)

#### 4) 遡上状況

河川巡視（難波橋からの目視）では産卵遡上開始は9月3日であった。その後、遡上親魚は徐々に増加し川を覆うほどであった。また、滋賀水産試験場のアユ資源量調査結果では、産卵ピーク時は第2次調査（9月8～10日）であった。（下表参照）



- 有効産着卵率 (%)  
= 有効産着卵 / 総産着卵 \* 100
- 有効産着卵 = 未発眼卵 + 発眼卵
- 総産着卵 = 有効産着卵 + 死卵

図. 滋賀県水産試験場のアユ資源量調査結果について



写真. 姉川合流点付近のアユ遡上状況 H15.9.11, 黒筋状に見えるのが遡上アユ



写真. 左記拡大

#### (3) 調査結果

##### 1) アユ卵計数について

第1回～第3回調査で産卵が確認された範囲を図に示す。

地点 (s t) 別に、未発眼卵、発眼卵、死卵、孵化仔魚の別に整理した。

##### ① 第1回調査

- 内水面保護区間（河口～馬渡橋）に集中して産卵していた。
- 内水面保護区間から上流にある新寿橋付近でも産卵を確認した。
- 総産着卵数に対して、発眼卵は2.3%、未発眼卵は75.0%、死卵は22.7%である。
- 発眼卵は姉川合流点上流～びわヤナで確認した。
- 全範囲を通して、有効産着卵率は50～100%であった。

## 第2回調査

- ・ 1回目と同様、産卵は内水面保護区間に集中している。
- ・ 織橋上流～馬渡橋下流において、産卵を確認した。また、発眼卵を確認した。
- ・ さらに、漁業調整区域から上流にある新寿橋付近で産卵を確認した。
- ・ 総産着卵数に対して、発眼卵は6.2%、未発眼卵は52.6%、死卵は41.2%である。
- ・ 発眼卵はびわやナ～賀村橋で確認した。
- ・ 有効産着卵率は0～100%とバラツキが生じている。

## 第3回調査

- ・ 本産卵盛期が終了しており、産卵の確認はわずかであった。なお、滋賀県水産試験場の資源量調査からも産卵の盛期を過ぎている。

## 2) 有効産卵率と産卵場の環境

総産着卵数が100個/78.5 cm<sup>2</sup>以上を対象に整理した。

### 水深

- ・ 水深は30 cm以下が多かった。これは、コアユが産卵主体となっていることが考えられる。

### 流速

- ・ 産卵場の流速は0～1.2 m/sであった。特に0.4～0.6 m/sの範囲に産卵場が多い傾向であった。

### 底質粒径

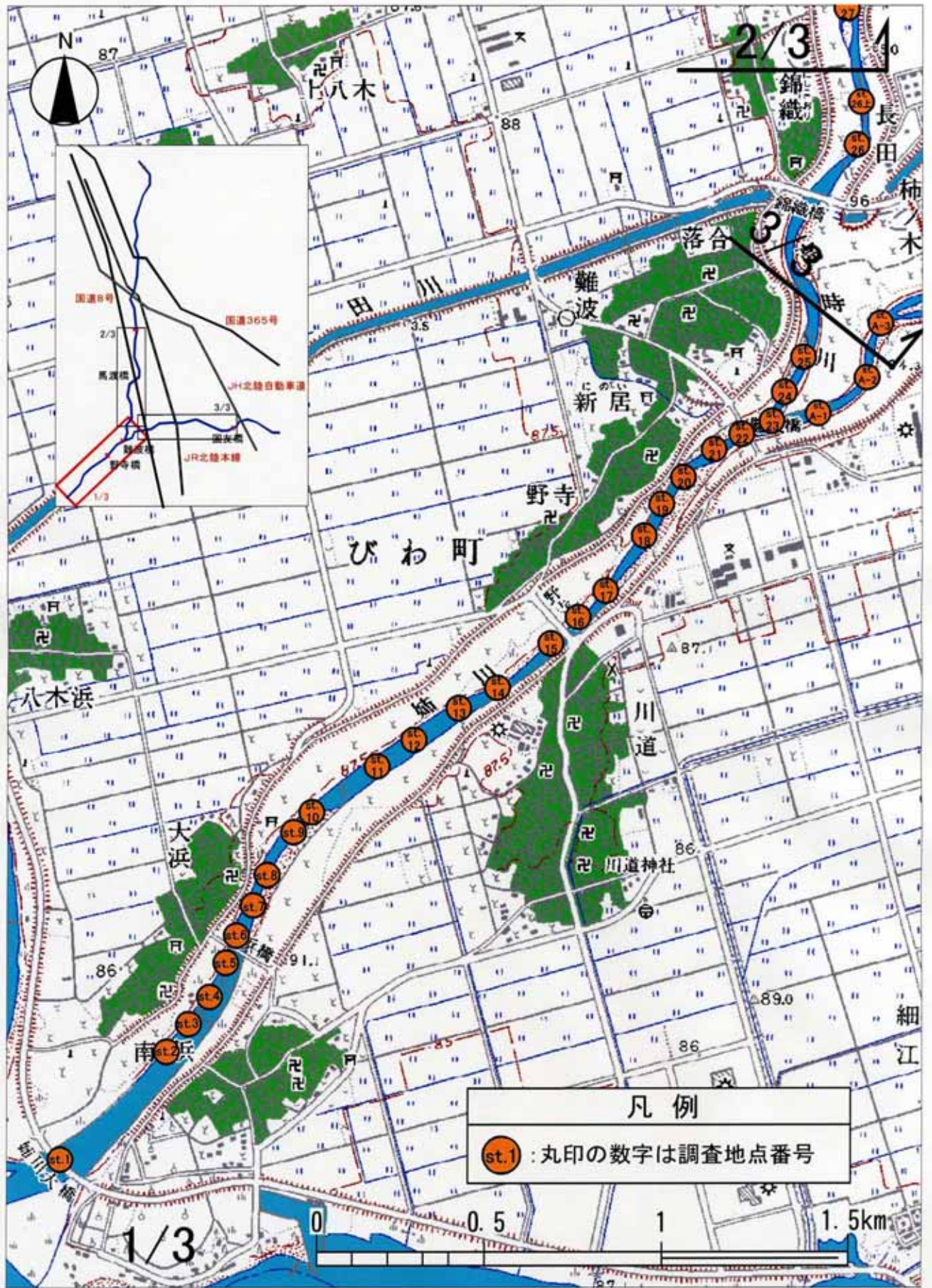
- ・ 底質粒径D-6～-2（小礫～砂）に集中して産卵していた。
- ・ 底質粒径D-6～-2（小礫～砂）であっても固く締まっている場合、産卵はあまり確認されなかった。
- ・ 泥化した底質ではほとんど産卵していなかった。
- ・ 底質粒度が細かく、柔らかい場所（踏み込むと足が沈み込むような場所）に産卵量が多かった。



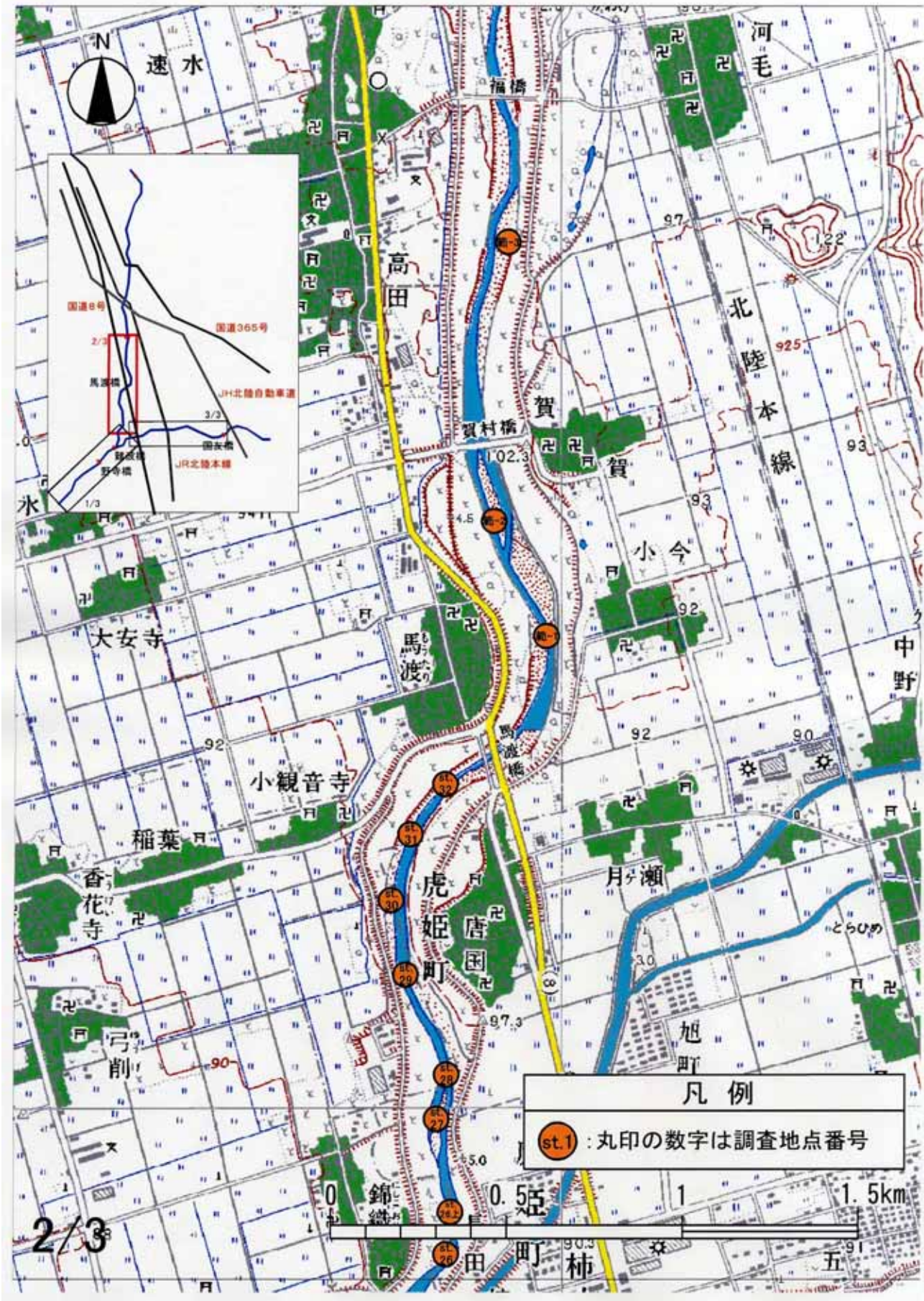
# アユ産卵範囲



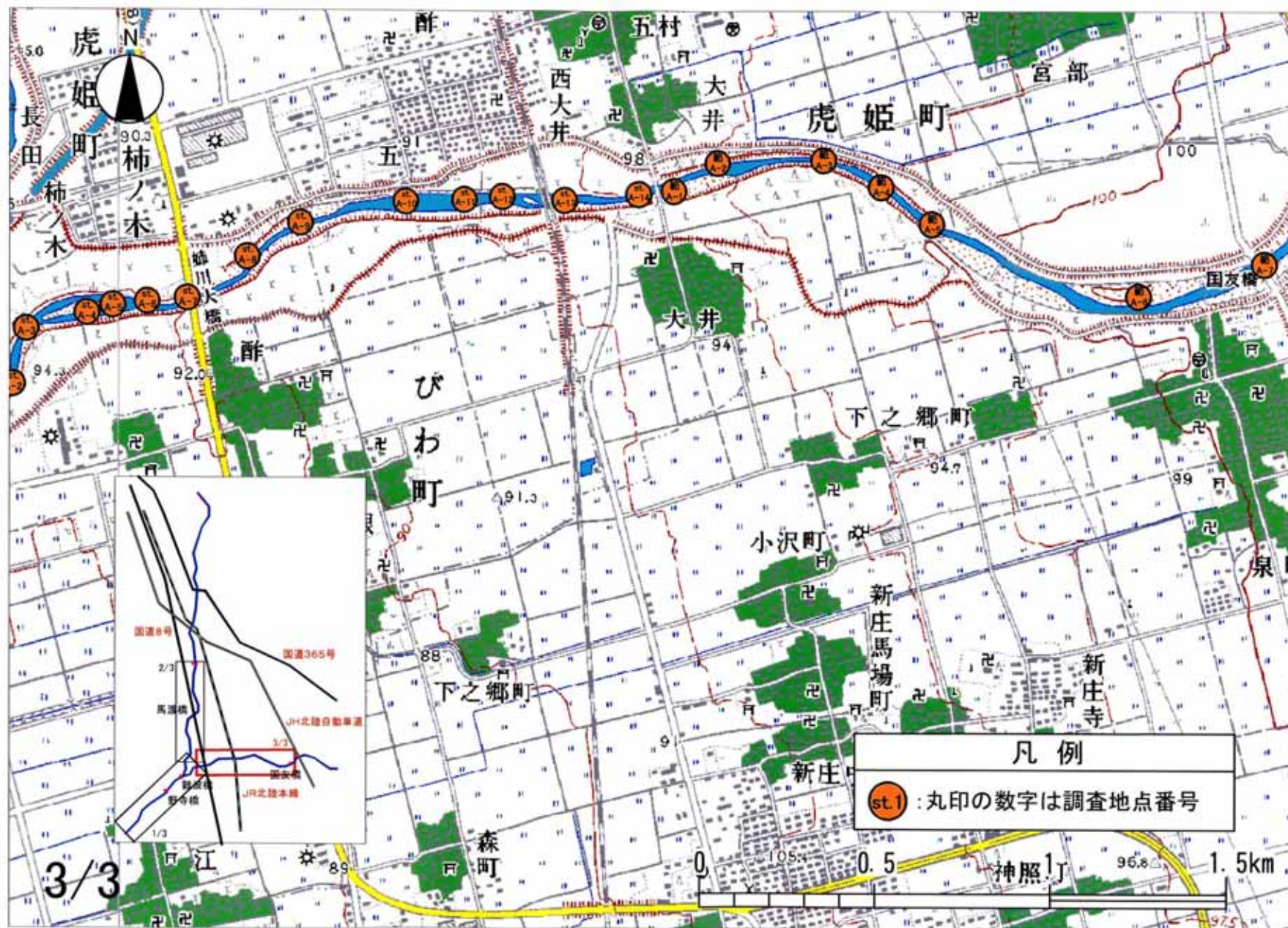














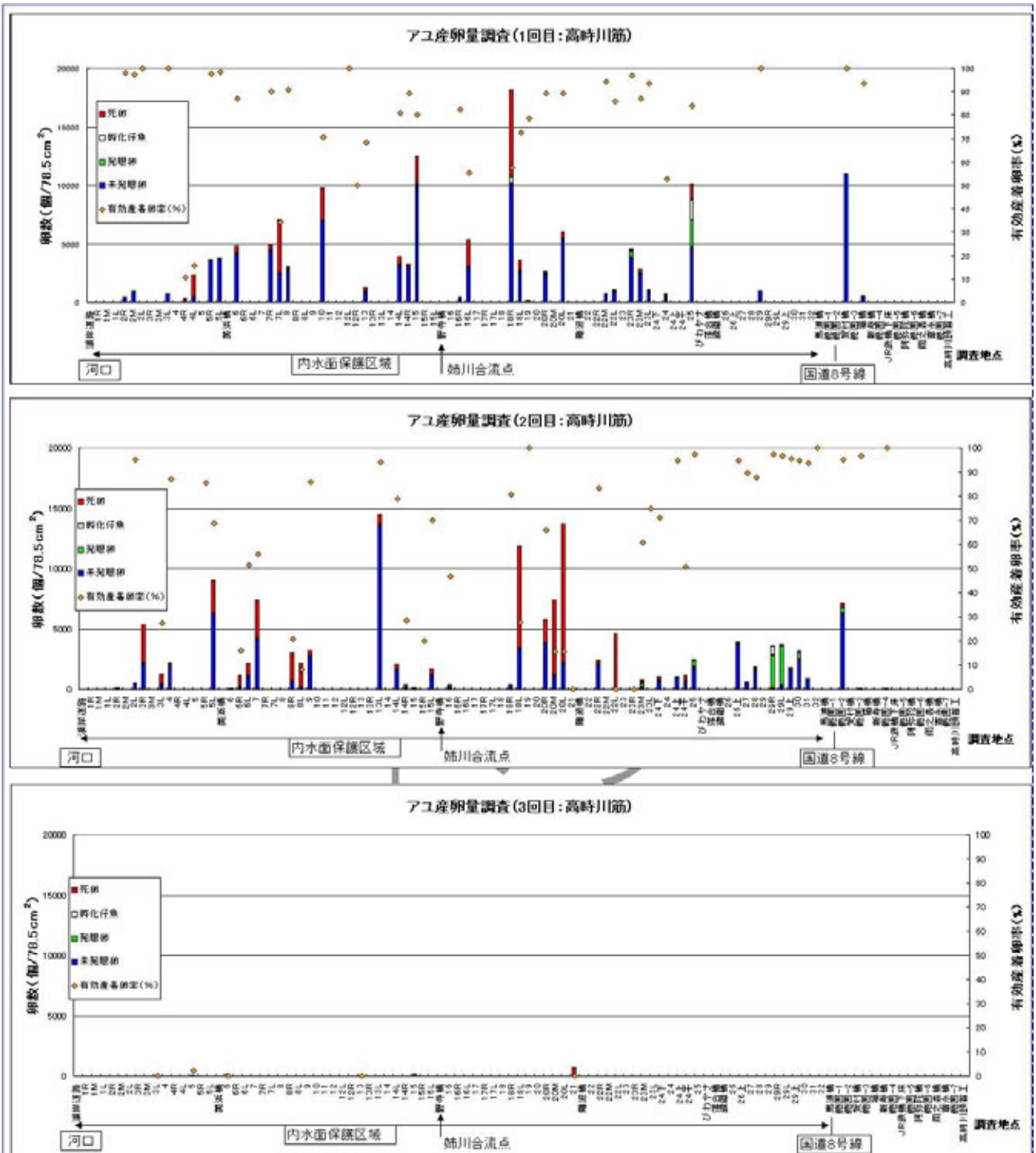


図. 姉川河口～高時川頭首工までのアユ卵計数について

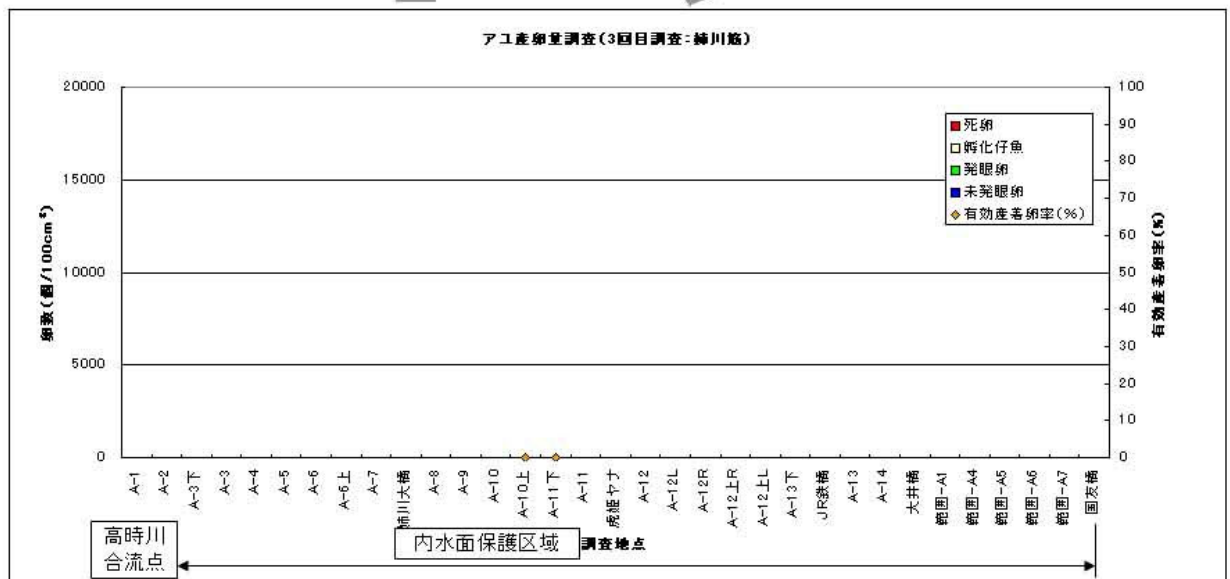
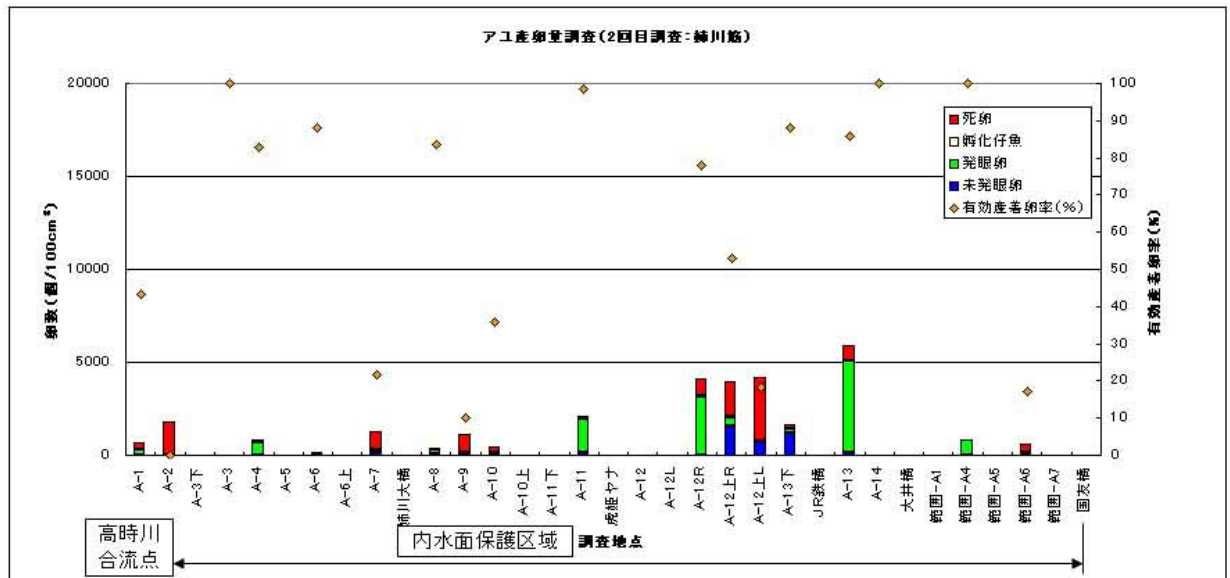
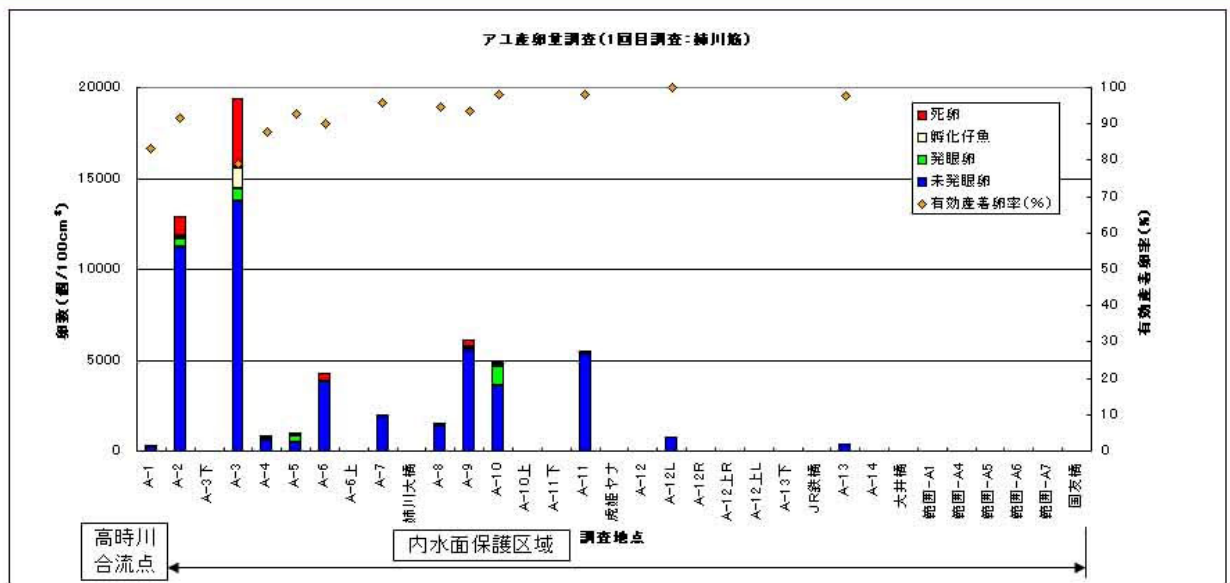


図. 姉川筋のアユ卵計数について

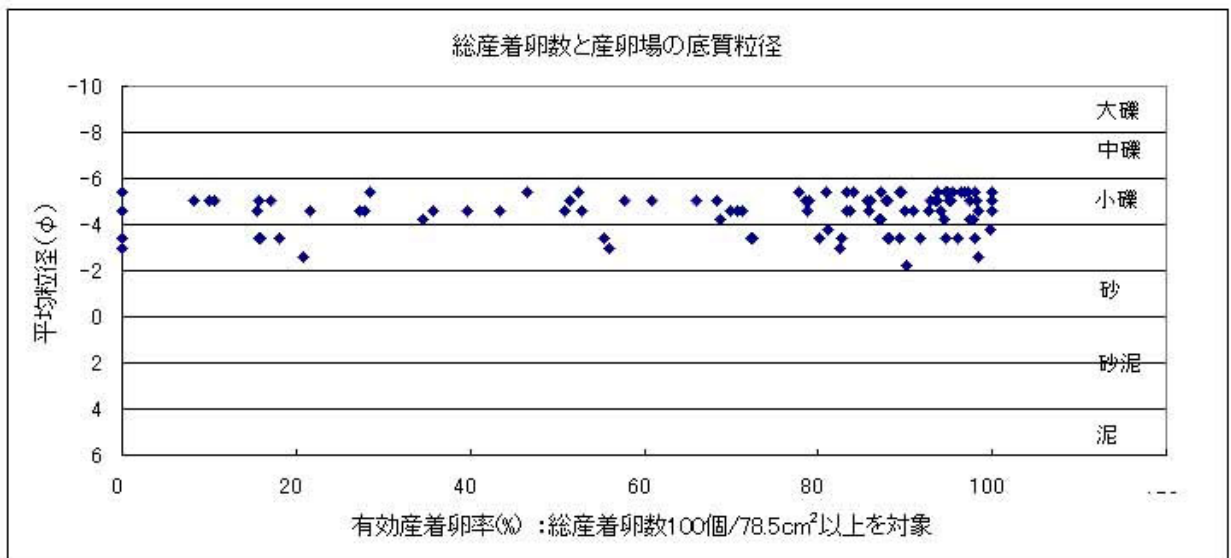
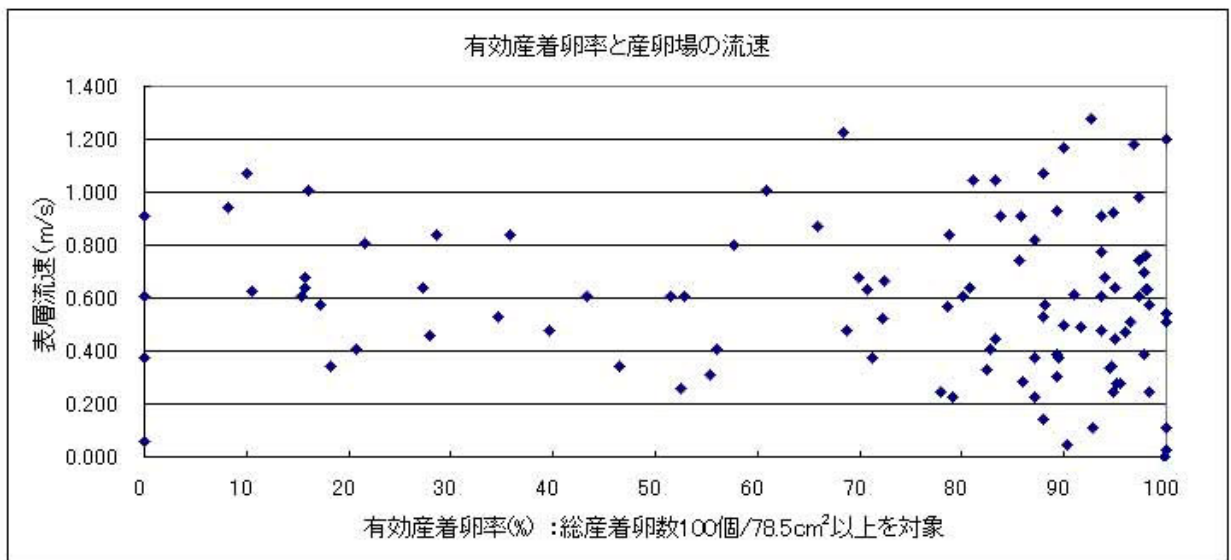
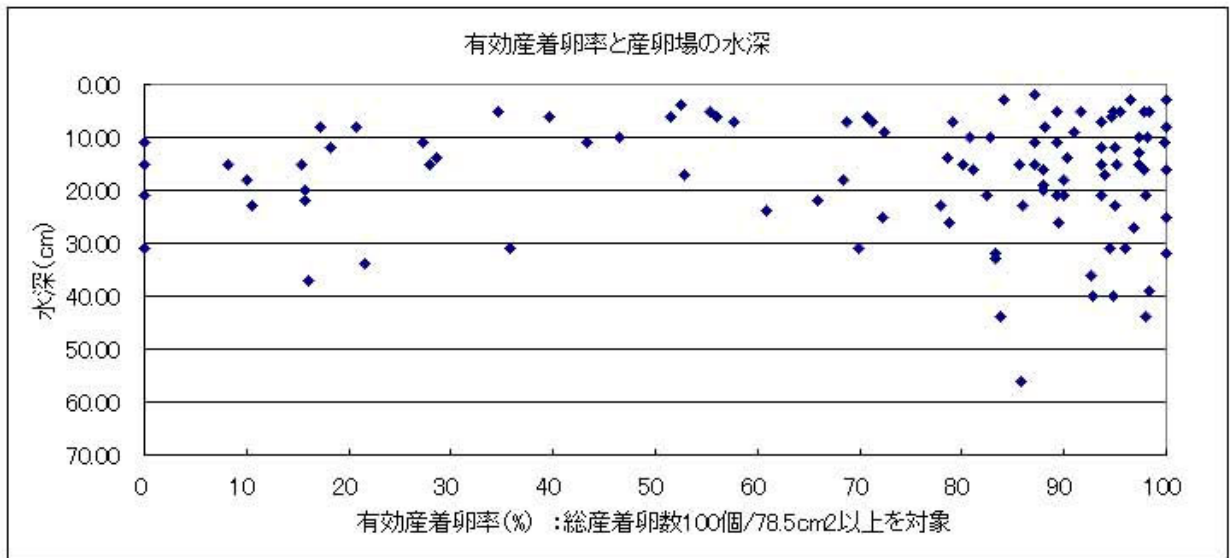


図. 有効産着卵数と産卵場の環境

④ 調査結果によるアユの産卵環境について

今回の調査結果より、アユ産卵が多く行われた河川状況は以下のとおり。（下図参照）

- ・ 湍から平瀬、平瀬から早瀬の変化点に集中している。
- ・ 水深はほぼ 30cm 以下である。
- ・ 流速は 1. 2m/s 以下である。
- ・ 底質は小レキ～砂の軟らかい場所である。

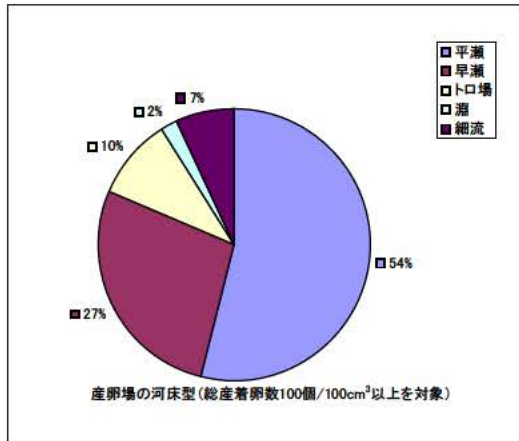


図. アユ産卵場の河床型の割合

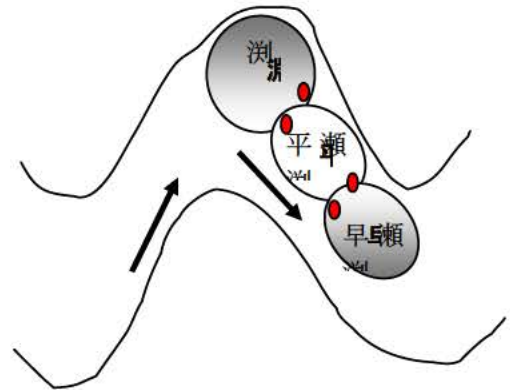


図. アユ産卵場の河床型の割合





①調査前後の河川状況写真(瀬切れによる影響)



写真① 1回目調査時 H15.9.18, 落合橋付近の様子(左), アユの斃死状況 (右)



写真② H15.9.19 馬渡橋下流, 瀬切れ発生(左), 賀村橋下流, 瀬切れ発生(不連続)(右)



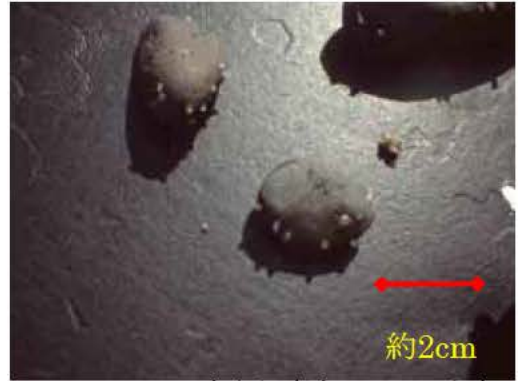
写真③ H15.9.19 びわやナ下流は不連続(左上), H15.9.18 びわやナは瀬切れ発生 (右上)  
H15.9.18 びわやナ下流でアユ仔魚の斃死(左下), 左記(右下)



写真④ 2回目調査時 H15.9.30, 野寺橋下流(左),  
流量減少による産着卵の干出直後状況  
(左下),  
干出直後の産着卵(右下)



上記○内の調査状況



左記写真中のバレット内  
約2cm



写真⑤ H15.10.4 難波橋上流  
、高時川筋で瀬切れ発生。姉川筋では瀬切れ無し。

(4) 文献による産卵環境

文献によりアユの産卵環境を整理したものは以下のとおり。

環境の要素	特徴	文献
地形	<ul style="list-style-type: none"> <li>産卵場は河川の合流点、湾曲部、砂州、構造物（橋）などの周りによくみられ、これらの地形条件は二つ以上複合することが多い。</li> <li>卵は平瀬から早瀬にかけて産み付けられるが、特に早瀬から平瀬にかけての変化点“通称カタ”と呼ばれる場所に多く産み付けられる。</li> <li>琵琶湖のアユは一部の個体が湖岸で産卵する。特に向かい風を受けて波立ちやすい砂礫底に産卵する。</li> <li>産卵場は、掃流力の働く限界付近の大きさの砂礫をもつ瀬に形成される。</li> </ul>	
河床材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>河床が“浮き石状態”すなわちザクザクしていること。</li> <li>流速 0.11～0.5m/s の範囲では、流速が大きいほど、砂礫のサイズが大きいほど死卵発生率は低くなる。</li> <li>産卵に適した砂礫のサイズは 10～25mm。</li> <li>卵の産卵床における付着深度：小礫（流速 0.35～0.4m/s では表面から 40mm まで）中礫（表層から 60～80mm まで）</li> <li>浮泥の堆積や付着藻類の繁茂は、死卵の発生を高める。</li> </ul>	
流速	<ul style="list-style-type: none"> <li>流速 0.11～0.5m/s の範囲では、流速が大きいほど、砂礫のサイズが大きいほど死卵発生率は低くなる。</li> <li>産卵に適した流速は 50～70cm/s（人工河川の知見）</li> <li>産卵場の流速は 40～60cm/s の範囲にはいることが多い（天然河川の知見）</li> <li>浮泥が堆積する流速は好ましくない。</li> </ul>	
溶存酸素量	<ul style="list-style-type: none"> <li>卵が斃死しはじめる溶存酸素量：2.61cc/l（未発眼卵）、2.31cc/l（発眼卵）</li> <li>大部分の卵が斃死する溶存酸素量：0.14cc/l（未発眼卵）、1.88cc/l（発眼卵）</li> <li>用水が流通せず酸素補給されないと、約 2 時間後に死卵が発生しはじめる。</li> </ul>	
産卵水深	<ul style="list-style-type: none"> <li>小さなアユは主として浅いところで産卵するが、大きなアユは浅いところでも深いところでも産卵する。</li> <li>琵琶湖のコアユでは水深 10～20cm のところに産着卵が分布している場合が多い。</li> </ul>	

文 献

石田力三・1993・アユの産卵生態・アユの産卵場づくりの手引き - 魚類生産技術開発調査報告書 - . 全国内水面漁業共同組合連合会 , 19-28 .

大野喜弘・伏木省三・1974・実験人工河川におけるアユの産卵環境に関する研究 - [1].滋賀県水産試験場研究報告第 25 号 , 20-25 . 滋賀 .

西田睦・伏木省三・中賢治・水谷英志・田沢茂・1974・びわ湖のアユの天然産卵場および産卵群について . 滋賀県水産試験場研究報告第 25 号 , 31-45 . 滋賀 .

田沢茂・水谷英志・大野喜弘・1978・アユ卵の酸素消費量と致死限界溶存酸素量について . 滋賀県水産試験場研究報告第 30 号 , 20-25 . 滋賀 .



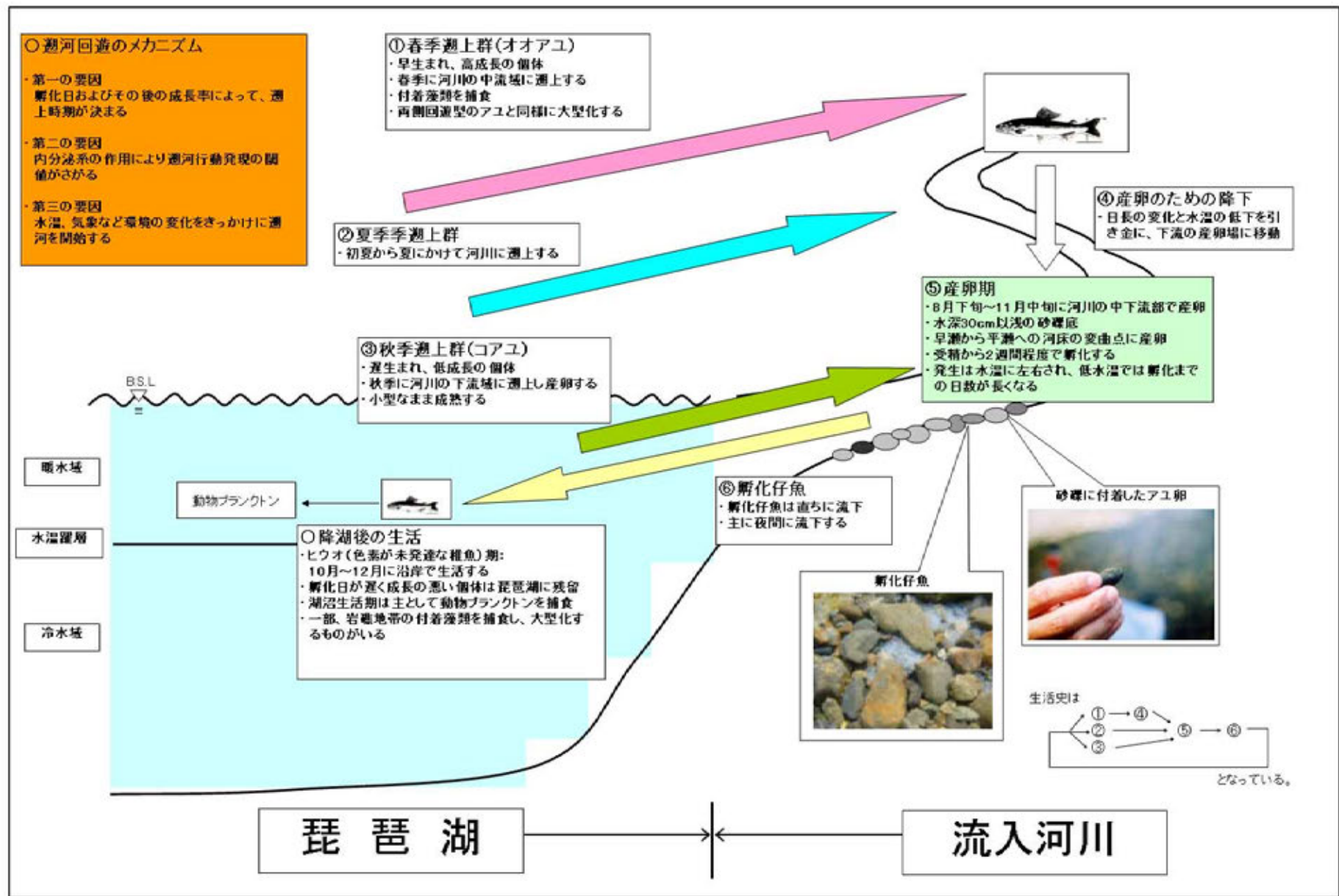
(5) アユの生活史

1) 生活史区分に基づく生態特性

生活史区分	生態特性	文献
卵	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孵化までの水温と日数の関係 水温 10 で 30 日 水温 15 で 20 日 水温 18 で 15 日</li> <li>・ 産卵に適した水温：15～20 (水温の急変は孵化仔魚の小型化、斃死率、奇形率が高まる。)</li> <li>・ 卵が斃死しはじめる溶存酸素量 2.61cc/l (未発眼卵)、2.31cc/l (発眼卵)</li> <li>・ 大部分の卵が斃死する溶存酸素量 0.14cc/l (未発眼卵)、1.88cc/l (発眼卵) (用水が流通せず酸素補給されないと、約 2 時間後に死卵が発生しはじめる。)</li> </ul>	
仔魚期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 仔魚の成育に適した水温：13～18</li> <li>・ 必要な溶存酸素濃度：4cc/l 以上</li> <li>・ 仔魚の浮出時期 日没以降に浮出、全体の 8 割以上が夜間に浮出</li> <li>・ 仔魚の絶食寿命 孵化後 3～4 日では 10% 前後、5～6 日では 50% 前後の死亡率に達する。</li> </ul>	
稚魚期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 春遡河群 (オオアユ)：早生まれで、高成長率の個体が春に遡上。 夏遡河群：春遡河群に遅れて夏に遡上。 秋遡河群：孵化後の成長率が低かった個体は一生の大部分を琵琶湖で過ごし、秋に河川下流部で産卵。</li> <li>・ 河川水温が 14 を超えると遡上を開始する。</li> </ul>	
成魚期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 食性 春遡河群は付着藻類を餌とし、湖中で大部分を過ごす秋遡河群は動物プランクトンを餌としている。</li> <li>・ 母川回帰能：母川回帰能は有していない。</li> </ul>	
産卵期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 性成熟 日長の短日化と水温の低下が引き金となる。</li> <li>・ 産卵期 琵琶湖のアユは 8 月上旬～11 月中旬までの約 3 ヶ月間。コアユは海産アユと比べて産卵期が早い。</li> <li>・ 産卵環境 水深 30cm 以浅で、流速 1.2m/s 以下。河床は柔らかい砂礫底が好まれ、河床型の変化点に産卵場が形成される。</li> <li>・ 高時川の産卵範囲 新寿橋 (河口から 8.5km) から下流部</li> </ul>	

文献

- 伏木省三・田沢茂・中賢治．1978．人工河川における春期から夏期にかけてのアユの遡上について．滋賀県水産試験場研究報告第 30 号，15-19．彦根．
- 石田力三．1988．アユ その生態と釣り．つり人社．東京．
- 石田力三．1993．アユの産卵生態．アユの産卵場づくりの手引き - 魚類生産技術開発調査報告書 - ．全国内水面漁業共同組合連合会，19-28．
- 木曾三川河口資源調査団 (KST)．1968．木曾三川河口資源調査結果報告．54-85
- 水資源機構丹生ダム建設所．2003．ダム下流河川環境等調査業務．
- 西田 睦．1989．アユ．日本の淡水魚，川那部浩哉・水野信彦編，66-79．山と溪谷社，東京．
- 塚本勝巳．1988．アユの回遊メカニズムと行動特性．現代の魚類学，上野輝彌・沖山宗雄編，100-133．朝倉書店．東京．



図．琵琶湖のアユの生活史模式図

(6) 琵琶湖全域と高時川流域の漁獲高推移  
アユの産卵量

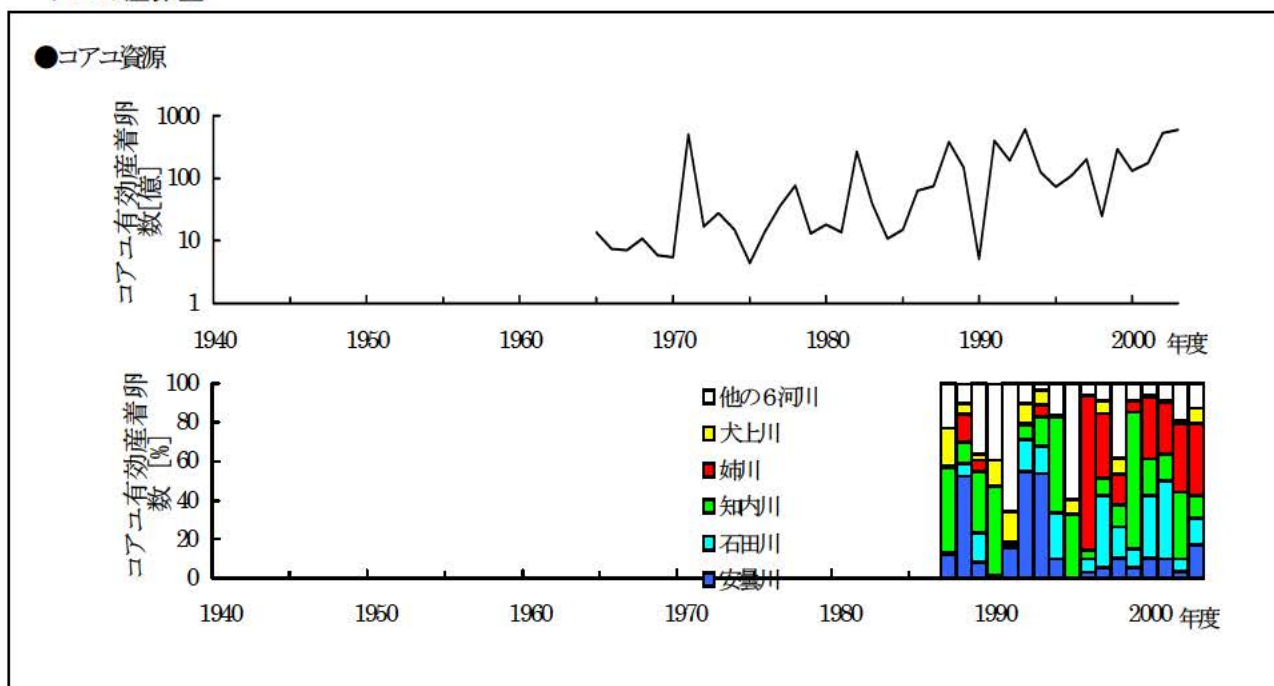


図. アユの産卵量

出典)滋賀県水産試験場、「滋賀県水産試験場事業報告」

河川別のコアユ有効産着卵数の比率を図に示す。姉川は琵琶湖流入河川のなかでもコアユの産卵量が多く、重要な産卵母川となっている。姉川の他に産卵量の多い河川は、犬上川、知内川、石田川、安曇川などがある。

(7) 平成15年の滋賀県水産試験場による流入河川産卵量調査

滋賀県水産試験場では、コアユ資源予測調査の一環として主要河川におけるアユ産卵状況調査を毎年実施している。調査は、主な流入河川（11河川）を対象に、8月下旬から11月上旬にかけてほぼ2週間おきに6回実施されている。

調査方法は、各河川において例年産着卵のみられる上流部（姉川筋：虎姫ヤナ付近、高時川筋：びわヤナ付近）から徒渉して、砂礫を素手で採集しながら下流に進む。産着卵を確認したときは、まず産卵場の範囲を確定して面積を測量する。産卵場の広狭に応じて10～30m<sup>2</sup>当たり1ヶ所の割合でφ10cm、深さ10cmの円筒形コドラートを砂礫中に打ち込み、バットに円筒中の砂礫を採集して未発眼卵・発眼卵・死卵別に現場で計数する。

2003年調査の速報を下表に示す。



河川名	有効産着卵量						計
	第1次調査 8月 25,26	第2次調査 9月 8~10日	第3次調査 9月 22,24,25,29日	第4次調査 10月 6~9日	第5次調査 10月 20~22日	第6次調査 11月 4,5日	
安曇川南流	0	60,219	971,983	25,037	1,773	濁水	1,059,012
安曇川北流	濁水	濁水	濁水	濁水	濁水	濁水	0
石田川	0	172,098	521,745	98,087	11,025	0	802,955
知内川	0	7,822	672,842	60,141	3,066	8	743,879
塩津大川	0	0	91,425	156,736	5,589	351	254,101
姉川	0	1,605,149	460,776	148,293	1,036	0	2,215,254
天野川	0	0	97,187	54,437	0	0	151,624
芹川	0	0	55,473	134,152	589	0	190,214
犬上川	0	340	380,766	63,042	470	0	444,618
愛知川	0	87	4,601	16,974	0	0	21,662
野洲川	0	0	5,068	48,528	1,911	50	55,557
和瀬川	0	0	908	17,568	12	0	18,488
計	0	1,845,715	3,262,774	822,995	25,471	409	5,957,364
単位:千粒							
総産着卵量							
安曇川南流	0	66,097	1,186,712	44,044	1,977	濁水	1,298,830
安曇川北流	濁水	濁水	濁水	濁水	濁水	濁水	0
石田川	0	179,693	636,638	165,120	14,624	0	996,075
知内川	0	7,884	772,197	137,440	4,416	23	921,960
塩津大川	0	0	97,369	183,644	6,129	367	287,509
姉川	0	2,016,636	634,272	339,494	1,111	0	2,991,513
天野川	0	0	104,031	79,857	0	0	183,888
芹川	0	0	63,219	156,935	678	0	220,832
犬上川	0	343	428,847	84,651	511	0	514,352
愛知川	0	118	4,806	17,674	0	0	22,598
野洲川	0	0	5,540	49,546	2,140	62	57,288
和瀬川	0	0	1,143	18,926	269	0	20,338
計	0	2,270,771	3,934,774	1,277,331	31,855	452	7,515,183

表. 滋賀県水産試験場によるアユ産卵量調査(2003年度速報)

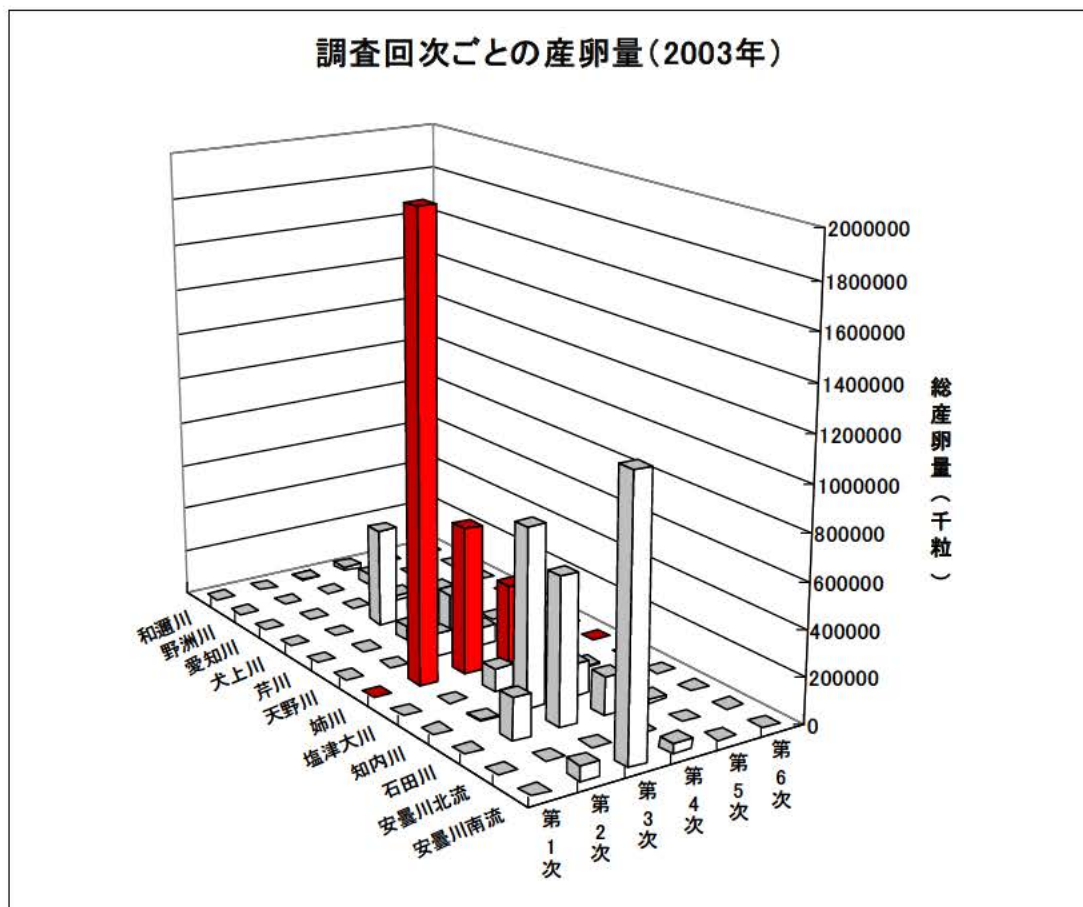


図. 調査回次ごとの産卵量



## (8)まとめ

### 1) 姉川・高時川の産卵状況

高時川・姉川水系全体では、美浜橋、野寺橋、難波橋周辺を中心とした下流の地域で産卵量が多い特徴が見られた。下流部はアユの産卵場に適した砂礫底が広がっており、下流域の全域が産卵場として機能していると考えられる。

### 2) 高時川の産卵範囲

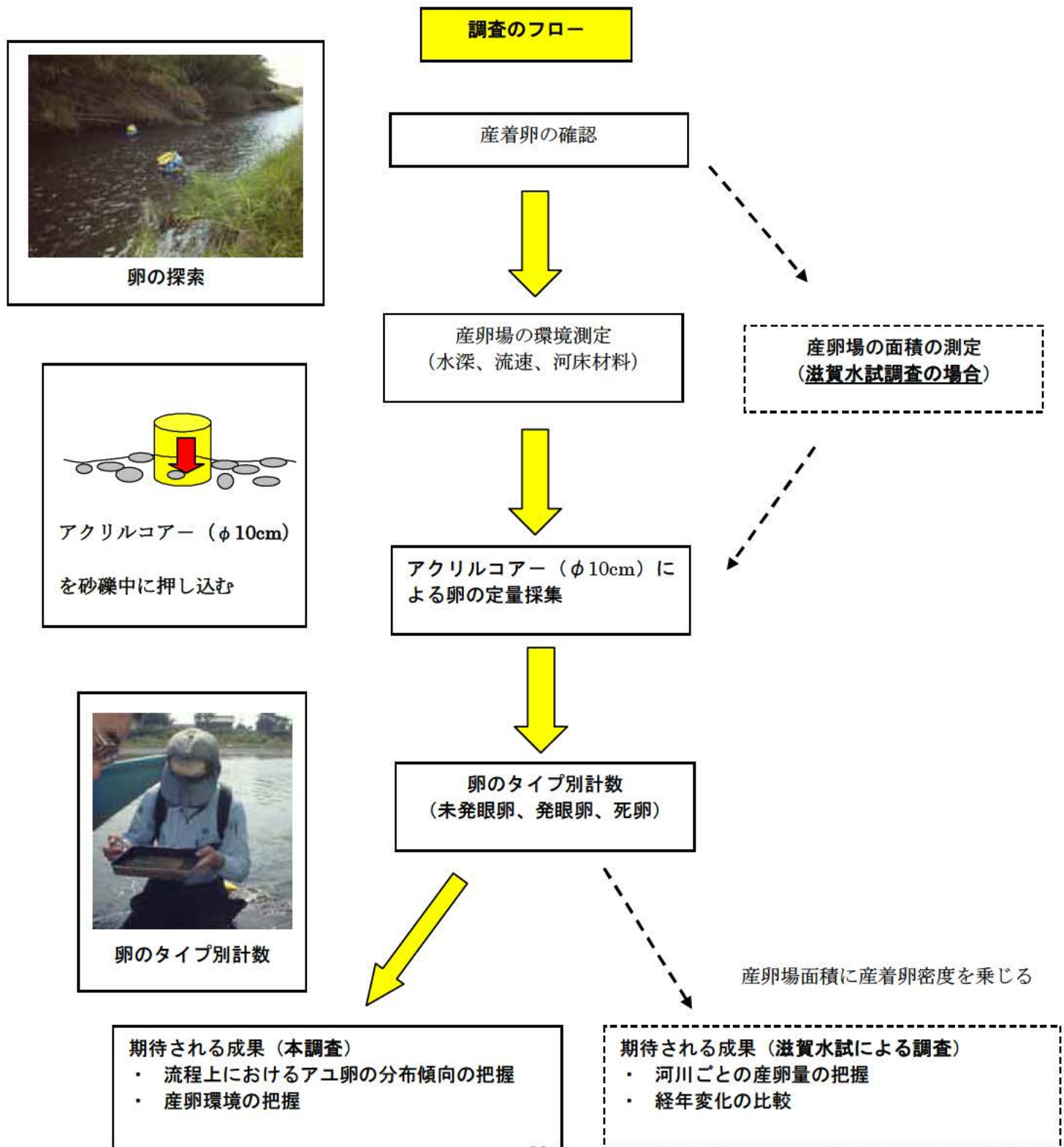
産卵範囲調査の結果、高時川筋の産卵範囲は河口付近から新寿橋付近まで確認した。福橋より上流においては、アユ親魚の遡上は確認しましたが、産着卵はほとんど確認できなかった。これは、新寿橋より上流では大きなレキが多くなり、アユ産卵に適した河川状況が少なかったことによると考えられる。

### 3) 瀬切れの影響

産卵盛期にあたる1回目調査では、美浜橋～びわヤナ区間、賀村橋付近で多くの産着卵が確認した。しかし、これらの地域は瀬切れ頻度の高い区域であり、実際に1回目調査中にもびわヤナ付近から上流へ瀬切れが始まり、寿橋付近まで発生した。アユは30cm以浅の瀬を好んで産卵することから、瀬切れによる干出の影響が大きいことが考えられる。(写真参照)

### アユ産卵範囲調査について

姉川・高時川におけるアユ産卵場の分布傾向を把握するために、平成15年秋にアユ産卵量調査を実施した。また、本調査は滋賀県水産試験場で行われているアユ産卵量調査の手法を参考としている。



## 第2章 丹生ダムによる補給の効果の検討

### 2.2 農業水利の現況整理

## 2.2 農業水利の現況整理

( 1 ) 経緯	65
1) 昭和 17～44 年(慣行水利権)の合同井堰と餅ノ井堰	65
2) 湖北地域の水争い	66
3) かんがい面積の変遷	68
4) 過去の高時川頭首工の取水量について	68
5) 現在の高時川頭首工の取水量について	68
作付け品種	
営農形態	
平成 15 年度における耕種時期の状況	
( 2 ) 国営の湖北農業水利事業および新湖北農業水利事業の事業経過	72
( 3 ) 現在の配水ネットワークについて	73
( 4 ) 高時川頭首工地点の流況について	74
( 5 ) 瀬切れ発生と高時川頭首工の取水実績	75
1) H12 年について(直近 10 年間の最小流出年)	75
2) H15 年について(直近年)	76
( 6 ) 配水ネットワークの運用	77
( 7 ) H8、H9、H10、H11、H12、H15 年の瀬切れ発生と高時川頭首工	78
の取水実績および配水ネットワークの運用	
( 8 ) 高時川の福橋地点流量と瀬切れ発生日について	81
( 9 ) 非かんがい期の取水	82
( 10 ) 節水について	85
1) 反覆堰・反覆ポンプの実態	86
反覆堰の利用	
反覆ポンプ・沈殿池の利用	
用水の節減、水田の漏水防止など適正な水管理	
( 11 ) まとめ	90



## (1) 経緯

湖北地方は、琵琶湖の北端東部に位置し、姉川北部の草野川、高時川および余呉川に展開する通称湖北平野一帯の長浜市他7町に跨る地域である。

本地域は、古くから稲作農業を中心に発展してきた。かんがい用水の主たる水源は高時川の表流水が大部分を占め、一部は、ため池、湧水などに依存していた。

高時川と杉野川が合流する木之本町古橋地先は、川が山間部から平野部に移行する絶好の取水地点である。

昭和17年(1942)に合同井堰が新設されるまでは、時の権力関係によりいくつかの井堰が設置されていた。

旧来、上水井、大井、下井の3井堰で取水していたが、昭和12年春の大雪害により井堰が全部流出し、さらに河川改修の結果、河床が著しく低下したため、これらの井堰による取水が困難となった。

このため、関係井堰間の協議の上、現在の高時川頭首工の下流に県営による合同井堰が建設された。この時、上流の餅の井、松田井は、合同井堰と関係なく、旧来どおりの取水を続けた。

合同井堰ができた後、水争いは解決したように見えたが、取水口が統合なされなかったことで高時川右岸(餅の井)と左岸(上井)の対立は続いた。抜本的な解決を見るのは、昭和44(1969)年、国営湖北土地改良事業の高時川頭首工が完成した後となる。

### 1) 昭和17～44年(慣行水利権)の合同井堰と餅ノ井堰



写真・合同井堰



写真・餅ノ井堰

施設	構造	かんがい面積 (ha)	取水量(m <sup>3</sup> /s)	
			最大	最小
高時川合同井堰	コンクリート堰	878	4.160	0.060
餅ノ井堰	そだ 粗朶堰	410	1.878	0.806

出典・国営湖北土地改良事業計画書，S38年，近畿農政局

## 2) 湖北地域の水争い

### 井落し

高時川と杉野川が合流する木之本町古橋地先は、川が山間部から平野部に移行する絶好の取水地点である。

昭和17年(1942)に合同井堰が新設されるまでは、時の権力関係によりいくつかの井堰が設置されていた。

その最上流部に位置する「餅の井」堰では、昭和初期までの400年間受け継がれてきた「餅の井落し」と呼ばれる取水儀式がある。

これは、高時川が干ばつに見舞われたとき、下流井堰組の者が白装束姿で餅の井堰の一部を切り落として下流に流し、餅の井組の者が紺の装束で切り落とされた井堰をもとに直したことに由来しており、昔の流血の水争いを変形し、集落間の義理・人情を加え、先人の水利に対する苦難を伝える慣習的行事である。

(資料:「琵琶湖流域を読む 上」(琵琶湖研究会編 2003))



役員の挨拶 左：右岸代表  
右：餅ノ井代表



開始前 対峙の瞬間



井落しの開始  
左の陣笠は大井組上六役員



井落しのクライマックス



引き上げる白装束の隊列

### 写真 餅ノ井落し

出典) 近畿農政局, 湖北農業水利事業誌, 1987

こうした歴史的慣行による緊迫した分水作業に終止符がうたれたのは昭和 17(1942)年の合同井堰の建設以降であった。現在は高時川頭首工により水争いは完全に姿を消した。

井堰がその歴史的使命を終え、その水利権者餅井組は湖北総合開発事業に参加することとなり、それを記念して昭和 51(1976)年に、餅井堰跡に石碑が建設された。



写真 4-1-2 餅井堰跡の石碑  
(撮影：平成 16 年 2 月 10 日)

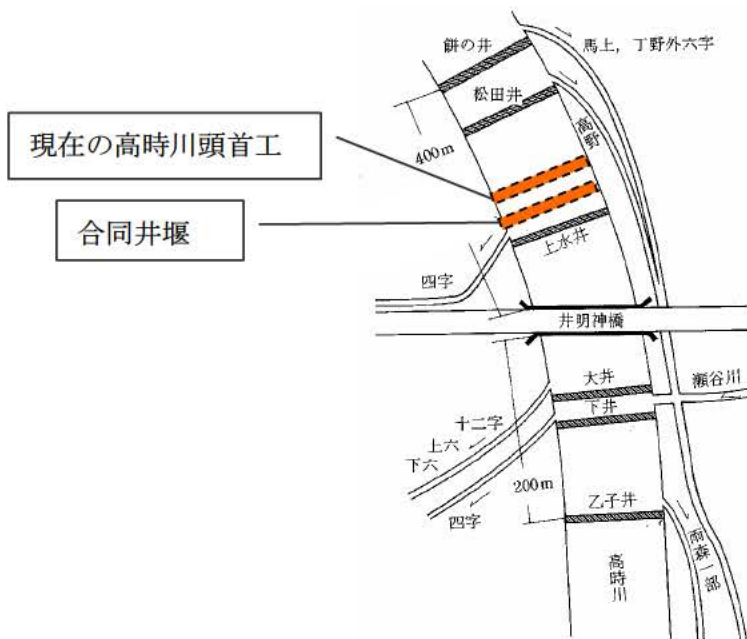


図 昭和 17 年頃の高時川にあったいくつもの井堰  
出典) 滋賀県伊香郡教育委員会, ふるさと伊香, 1981

### 3) かんがい面積の変遷

	かんがい面積
昭和51年9月30日	5,009ha
平成4年3月31日	5,050ha
平成14年7月5日	4,717ha

### 4) 過去の高時川頭首工の取水量について

水利使用規則 昭和 51 年 9 月 30 日

区分	期 間	最大取水量(m <sup>3</sup> /s)		
		かんがい期		非かんがい期
		代かき期	普通期	
		5/1 ~ 6/14	6/15 ~ 9/22	9/23 ~ 翌年4/30
高時川頭首工		11.440	10.370	1.150

水利使用規則 平成 4 年 3 月 31 日

区分	期 間	最大取水量(m <sup>3</sup> /s)				
		かんがい期		非かんがい期		
		代かき期	普通期			
		4/16 ~ 5/5	5/6 ~ 9/7	9/8 ~ 12/15	12/16 ~ 翌年3/31	4/1 ~ 4/15
高時川頭首工		11.440	11.434	2.490	3.200	2.490

### 5) 現在の高時川頭首工の取水量について

水利使用規則 平成 14 年 7 月 5 日

区分	期 間	最大取水量(m <sup>3</sup> /s)				
		かんがい期			非かんがい期	
		早期作の苗代田への代かき期	本田への代かき期	普通期		
		3/27 ~ 4/10	4/11 ~ 4/30	5/1 ~ 9/15	9/16 ~ 12/15	12/16 ~ 翌年3/26
高時川頭首工		4.223	10.189	11.276	2.490	3.200



写真・高時川頭首工 ( H15.6.3 )



① 作付け品種

需要により、早植作（日本晴）よりも早期作（コシヒカリ）を推進している。

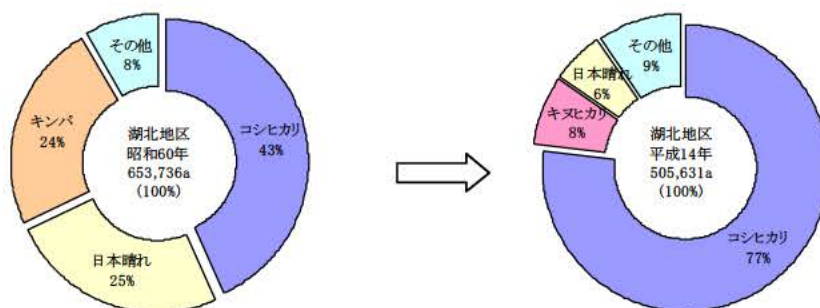
主要品種別作付面積(平成 14 年度産米)

湖北地区では、平成 14 年度において、コシヒカリ、キヌヒカリ、日本晴の 3 品種で全作付面積(水稻うち)の約 91%を占めている。産地間の競争が激化しており、均質かつ良食味米の高付加価値生産が急務となっている。

本地区の作付け動向を見ると、昭和 60 年には、早植作にあたる日本晴れ、キンパが約 50%を占めていたが、消費者ニーズに即してコシヒカリ、キヌヒカリが年々増加し、平成 14 年度には、コシヒカリが 77%を占めるまでとなっている。

<昭和 60 年>

<平成 14 年>



- ② 営農形態専業農家よりも第二種兼業農家の占める割合が高い。そのため、代かき期の取水は3月下旬頃から始まり、田植えは、5月連休期間に集中しているが、近年、稲の高温障害から、平成15年度より遅植（5月中旬以降に田植え）の試行が一部の範囲で始まっている。

専兼業別農家数

－ 総農家数は4,511戸で、引き続き減少 －

平成 12 年の湖北地区（1 市 7 町：長浜市、浅井町、虎姫町、びわ町、木之本町、余呉町）における(販売)農家数は 4,511 戸で、平成 7 年に比べ 798 戸(15%)減少した。専兼業別農家数の構成比をみると、専業農家が 8.0%、第 1 種兼業農家が 5.3%、第 2 種兼業農家が 86.7%となっており、県と比較すると専業農家、第 1 種兼業農家の割合がやや高くなっている。後継者不足、農業従事者の高齢化による離農および都市化による他産業への流出により、全体的には減少しているが、専業農家は増加傾向にある。

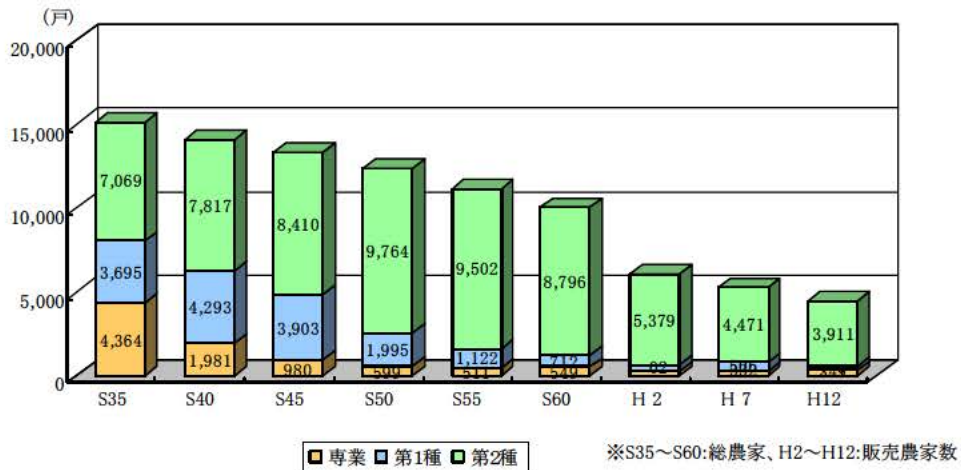


図 湖北地区(1市7町 集計)の専兼業別農家数の推移(総農家、販売農家)

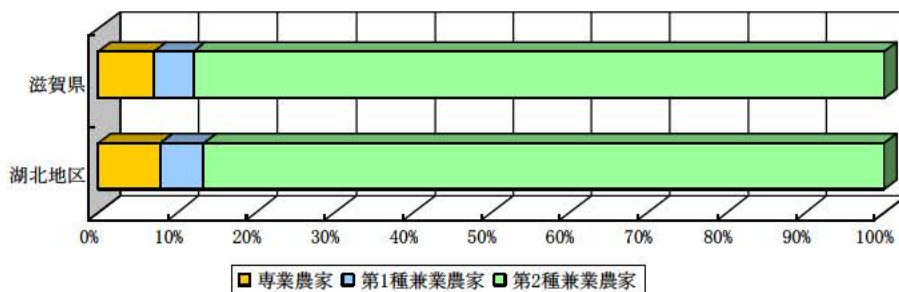


図 平成12年 専兼業別農家構成比の比較(販売農家)

資料) 農林水産省, 農業センサス

※農家：2000年世界農林業センサスでは、経営耕地面積が10a以上の農業を営む世帯及び経営耕地面積がこの規定に達しないか全くないものでも、調査期日前1年間における農産物販売金額が15万円以上あった世帯(これを「例外規定農家」という)。

※販売農家：経営耕地面積30a以上又は農産物販売金額50万円以上の農家。

※専業農家：世帯員の中に兼業従事者がいない農家。

※兼業農家：世帯員の中に兼業従事者が1人以上いる農家。第1種兼業農家とは農業を主とする兼業農家、第2種兼業農家とは農業を従とする兼業農家をいう。この場合の主従は家としていずれの所得が多いかによって定める。

平成15年における耕種時期の状況

1) 苗代期

播種（種まき）の最盛期は、平年より12日おそい4月16日となっている。

2) 田植期

田植最盛期は、連休植えの定着により5月4日ごろが平年となっている。また、田植えの終期は5月14日（平成12、13年の平均）になっている。

ただし、登熟期の高夜温による登熟不良、品質低下(乳白米)回避のため、遅植指導がなされたこともあって、田植の終期は平年（H12～13年の平均：5/14）に比べ12日遅い5月26日となり、田植え期間が長くなっている。

さらに、湖北土地改良区は田植え時期をGW以降に実施させるために以下対策を行っている。

- ・ GW以降の方がJAの苗販売価格を低く設定。
- ・ 田植えの受委託。

表 近年における湖北地方の水稻の耕種期日について

	は種期		田植期			出穂期			刈取期		
	最盛期	始期	最盛期	終期	(日数)	始期	最盛期	終期	始期	最盛期	終期
平成12年	4.3	4.30	5.5	5.12	14日間	7.21	7.27	8.15	8.28	9.6	9.25
平成13年	4.4	4.30	5.4	5.15	17日間	7.19	7.24	8.15	8.24	9.2	9.27
平成14年	4.6	5.1	5.6	5.21	21日間	7.22	7.30	8.17	8.30	9.9	9.29
平成15年	4.16	5.3	5.14	5.26	24日間	8.3	8.11	8.23	9.7	9.18	10.6

## ( 2 ) 国営の湖北農業水利事業および新湖北農業水利事業の事業経過

1960 年代

- 昭和 38 年 4 月 国営湖北地区直轄調査着手
- 39 年 4 月 国営湖北地区全体実施設計着手
- 40 年 5 月 湖北土地改良区設立
  - 10 月 近畿農政局湖北農業水利事業所開所
- 41 年 5 月 事業計画の確定 ( 土地改良法第 87 条 )
- 41 年 11 月 事業起工式 ( 余呉川頭首工に着手 )
- 41 年 11 月 余呉川頭首工着手
- 42 年 8 月 高時川頭首工着手
- 43 年 8 月 余呉湖補給揚水機場着手
- 43 年 10 月 高時川頭首工完成

1970 年代

- 46 年 7 月 県営ほ場整備事業着手
- 51 年 9 月 河川法協議成立

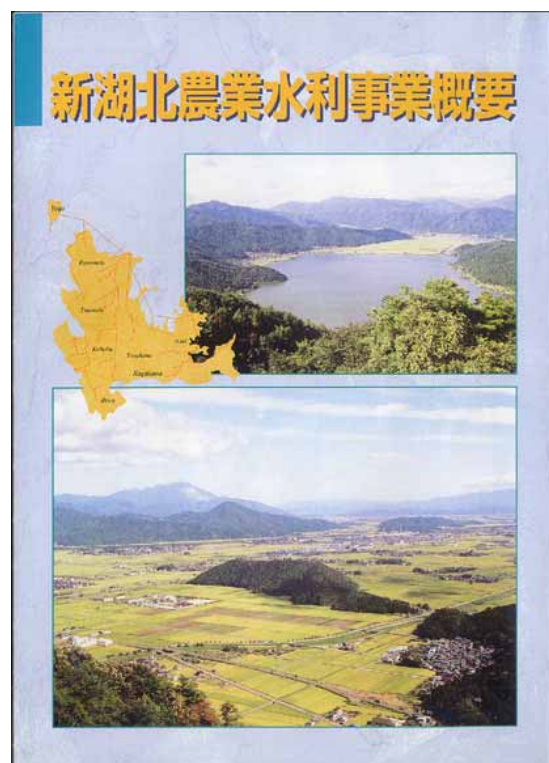
1980 年代

- 56 年 10 月 事業変更計画の確定 ( 土地改良法第 87 条 )
- 57 年 11 月 草野川頭首工着手
- 62 年 3 月 事業完了 ( 近畿農政局湖北農業水利事業所閉所 )

1990 年代

- 平成 8 年 4 月 国営新湖北地区直轄調査着手
- 10 年 4 月 国営新湖北地区全体実施設計着手
- 11 年 3 月 近畿農政局新愛知川農業水利事業所新湖北支所開所
  - 4 月 近畿農政局新湖北農業水利事業建設所開所

昭和 40 年度から国営湖北土地改良事業が実施され、草野川、高時川、余呉川の頭首工および琵琶湖から余呉湖への補給揚水機場が整備された。しかし、近年、営農形態の変化により用水量が増加していることから、用水の安定的な供給を図り、併せて地域用水機能の維持増進に資するため、平成 10 年度より新湖北農業水利事業が実施されている。





(3) 現在の配水ネットワークについて

余呉川、高時川および草野川の各頭首工ならびに余呉湖から取水し、配水するネットワークが形成されている。

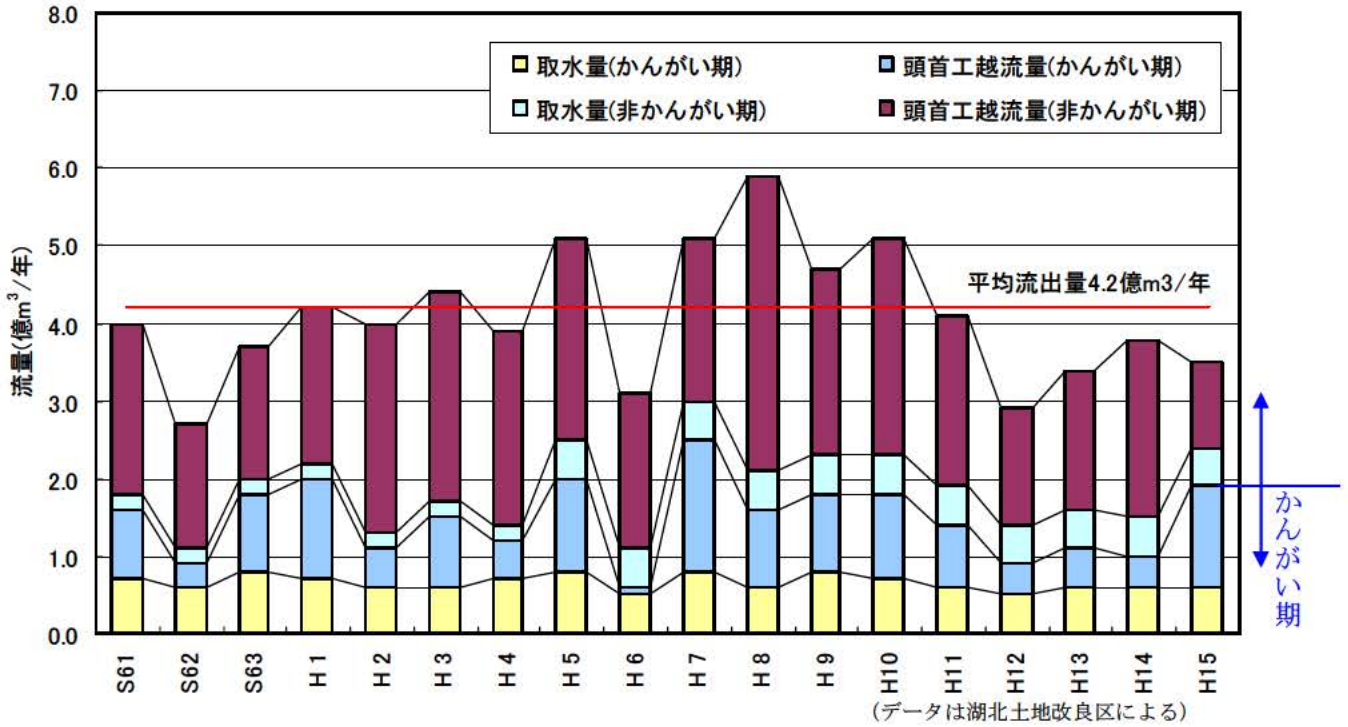
水不足が生じた場合、琵琶湖から揚水し導水している。



新湖北農業水利事業概要パンフレットから作成

(4) 高時川頭首工地点の流況について

S61年以降の年流出量は、平均4.2億m<sup>3</sup>/年、最大5.9億m<sup>3</sup>/年(H8年)、最小2.7億m<sup>3</sup>/年(S62年)である。



## (5) 瀬切れ発生と高時川頭首工の取水実績

### 1) H12年について(直近10年間の最小流出年)

#### ①かんがい期

農業利水の実態および下流河川環境に配慮し、4月11日～7月21日は下流放流を行っている。

河川水の全量を取水した日は、7月22～24日、7月28日～8月13日、8月15～16日、8月20～31日、9月3日の34日間である。瀬切れは7月14日から発生し、8月中は連続して発生した。これは河川流量が減少したことによるものである。

#### ②非かんがい期

高時川から水利権に基づく一定量を取水しており、河川流量が減少した日(9月中～下旬、10月中旬)には瀬切れが発生した。

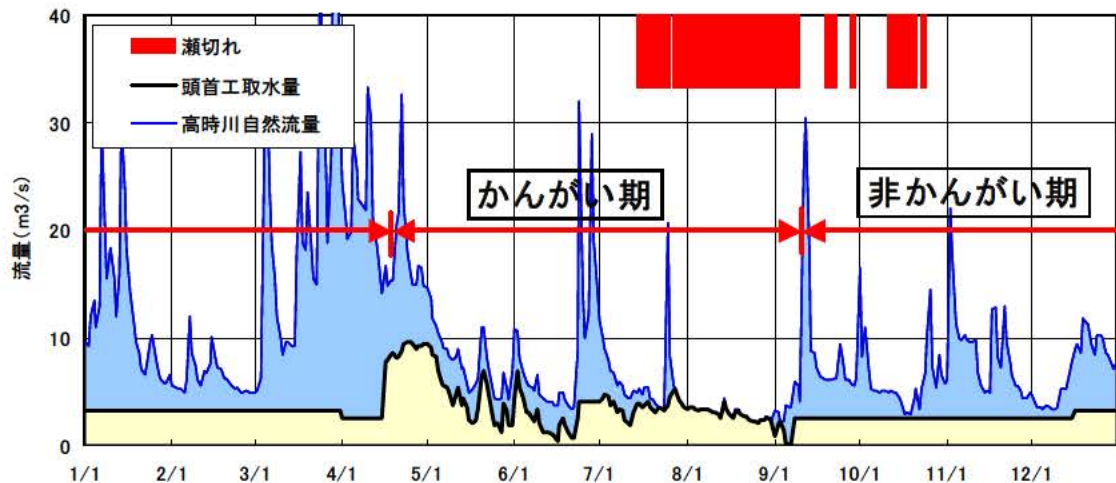


図 H12年(2000年)高時川頭首工の取水量と自然流量(湖北土地改良区データ)

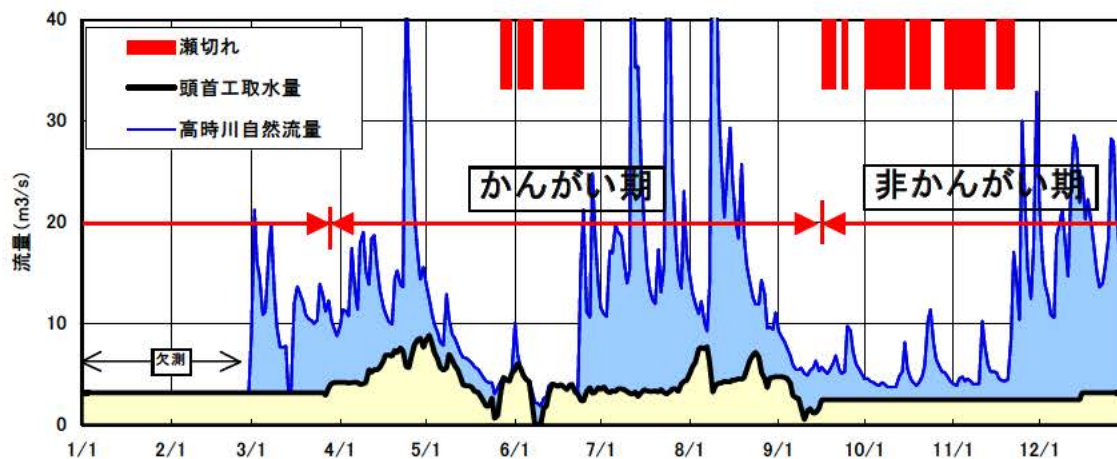


## 2) H15年について

### ①かんがい期

農業利水の実態および下流河川環境に配慮し、概ね次に示す全量取水日を除き、下流放流を行っている。河川水の全量を取水した日は5月28～31日、6月3～6日、6月14～23日の18日間である。

瀬切れは、5月28日～6月23日の間、6月初旬の一時期を除き発生した。これは河川流量が減少したことによるものである。



### ②非かんがい期

水利権に基づく一定量を取水している。河川流量が減少すると瀬切れが発生し、11月21日まで発生した。

図 H15年（2003年）高時川頭首工の取水量と自然流量（湖北土地改良区データ）

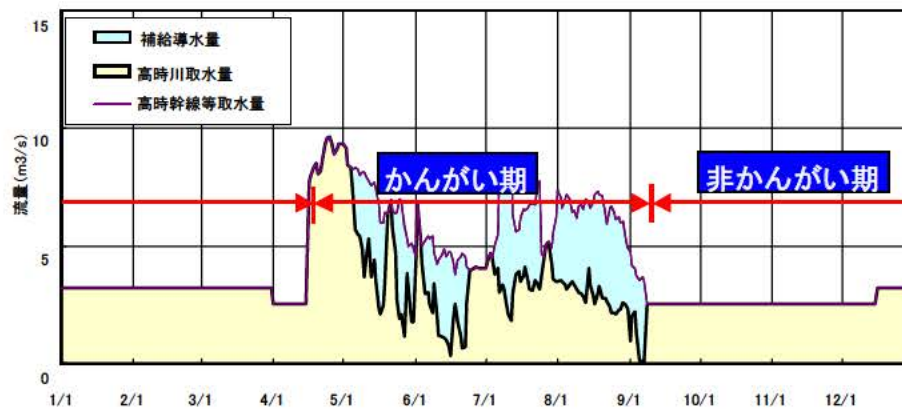
## (6) 配水ネットワークの運用

### ①かんがい期

高時川沿川の不足した水分の供給は高時川以外の水源（余呉川、草野川、余呉湖および琵琶湖）からの配水ネットワークで補っている。

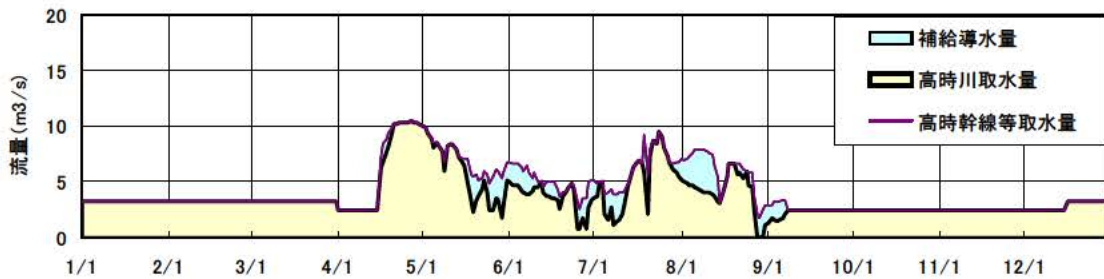
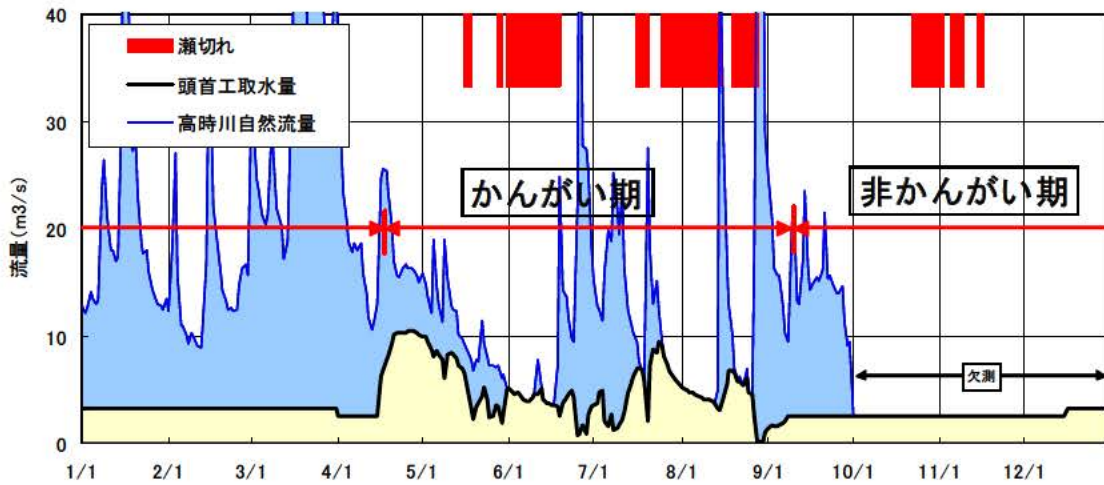
### ②非かんがい期

農業用水路の維持用水として取水され、結果として地域の環境的な機能（防火用水、消流雪用水等）を発揮している。

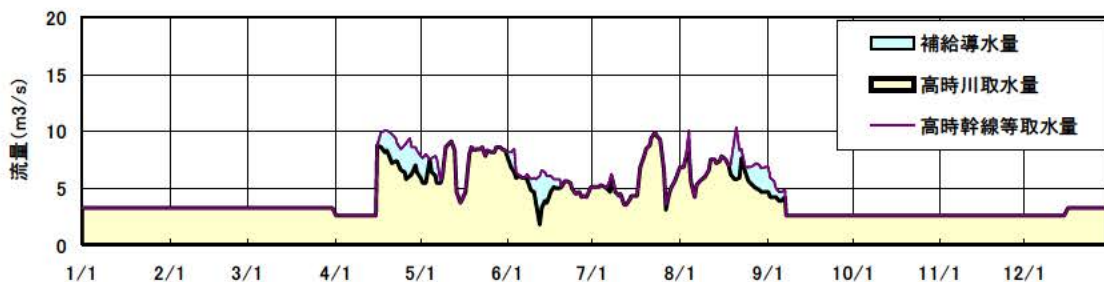
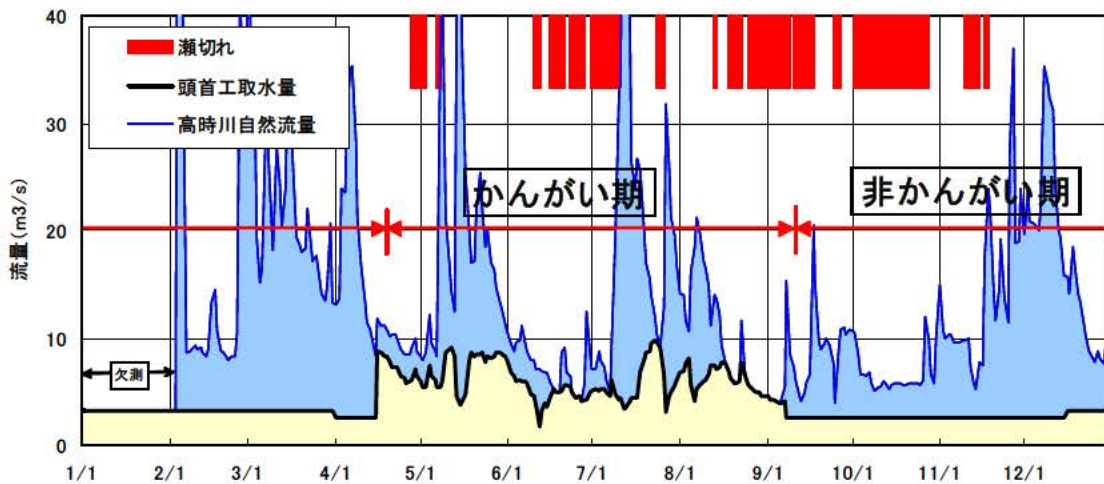


H12年（2000）の高時川幹線等取水量（高時川頭首工取水量+導水量）の内訳（湖北土地改良区データ）

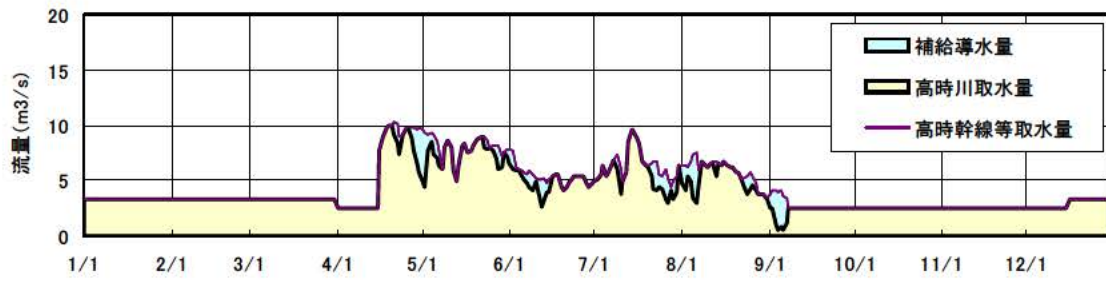
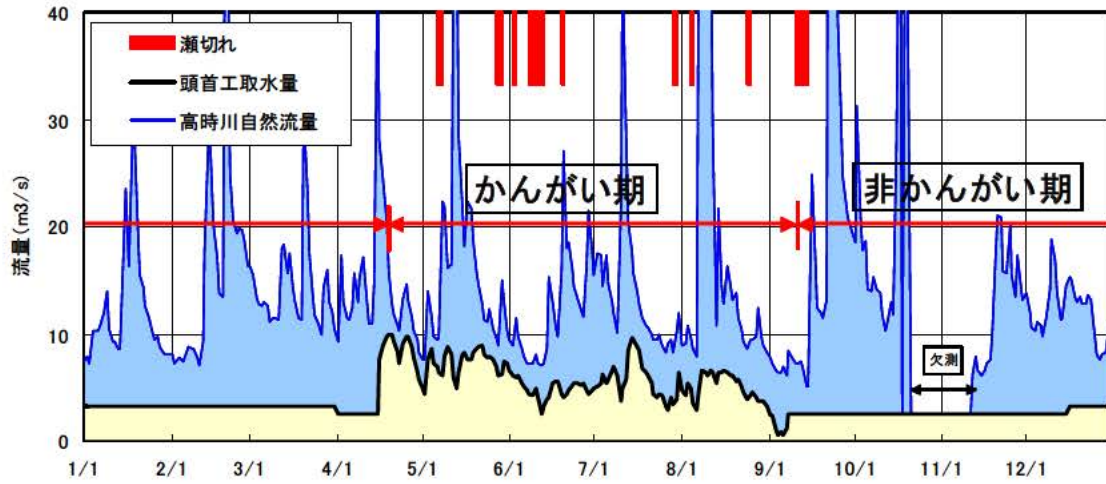
(7) H8、H9、H10、H11、H12、H15年の瀬切れ発生と高時川頭首工の取水実績および配水ネットワークの運用  
 H8 (1996) 年 水運用結果



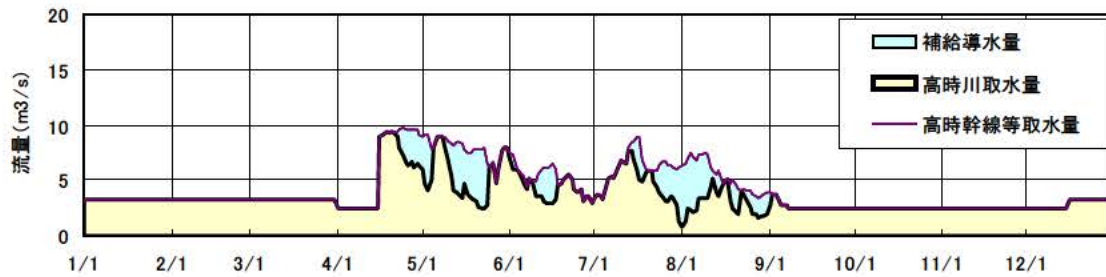
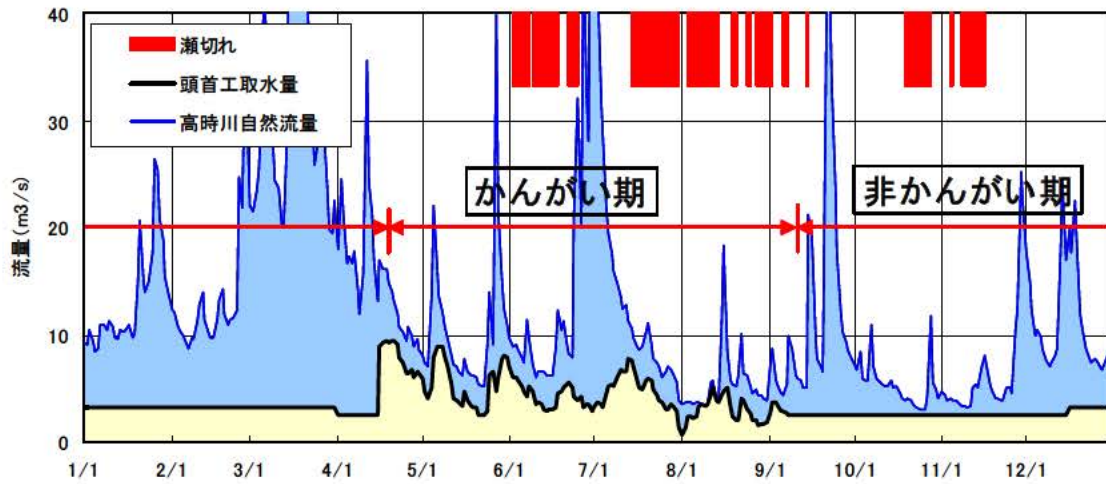
H9 (1997) 年 水運用結果



H10 (1998) 年 水運用結果

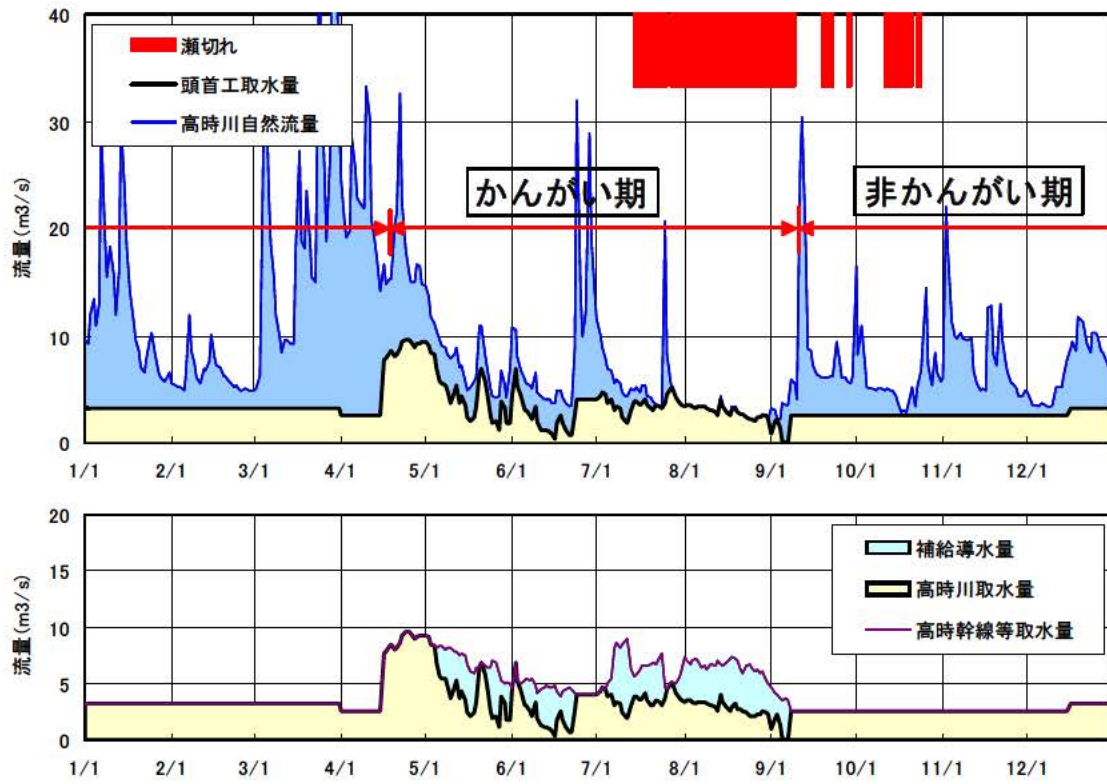


H11 (1999) 年 水運用結果

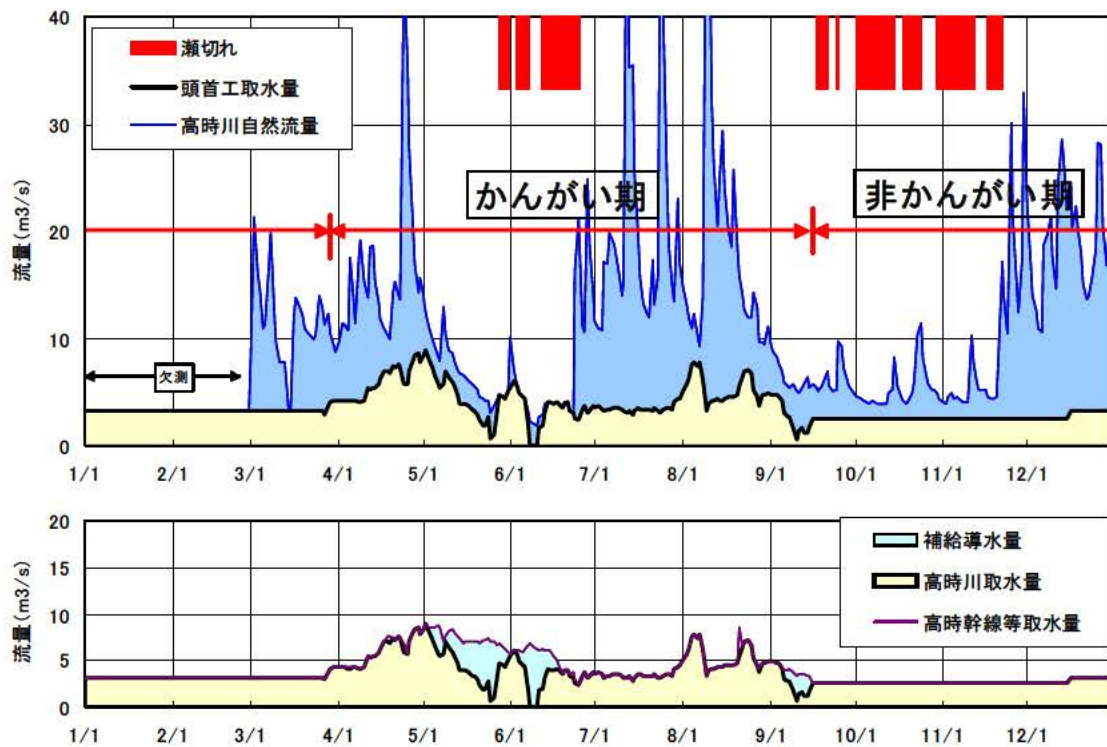




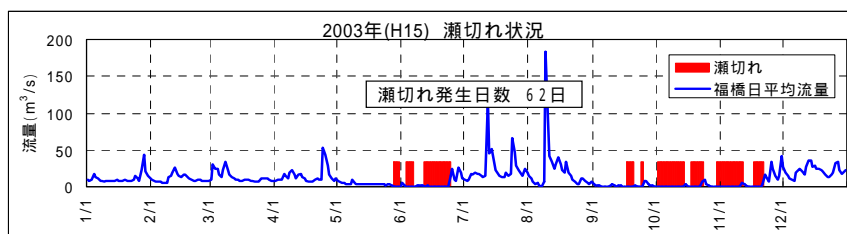
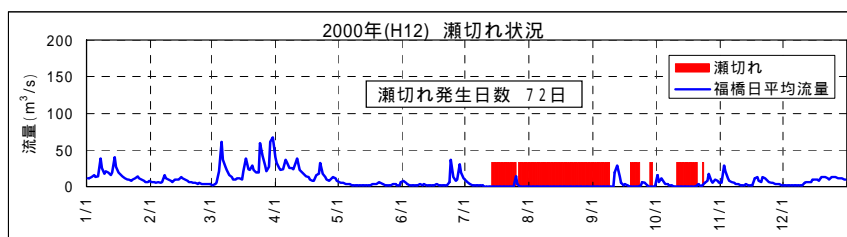
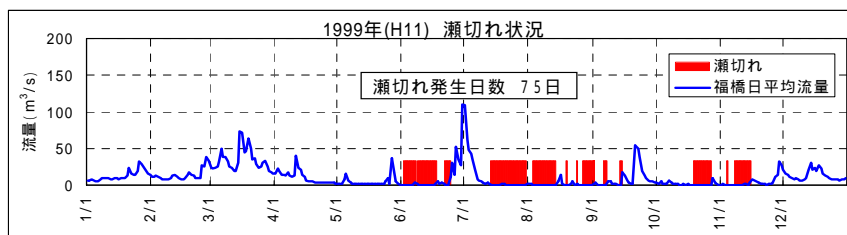
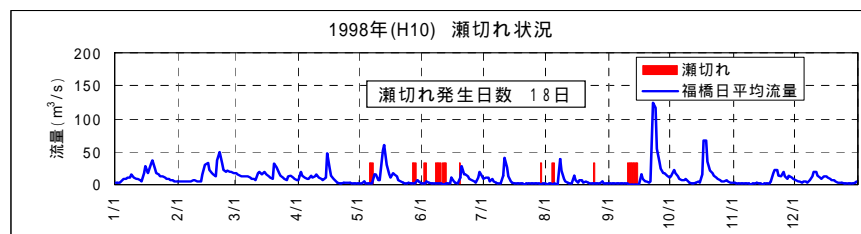
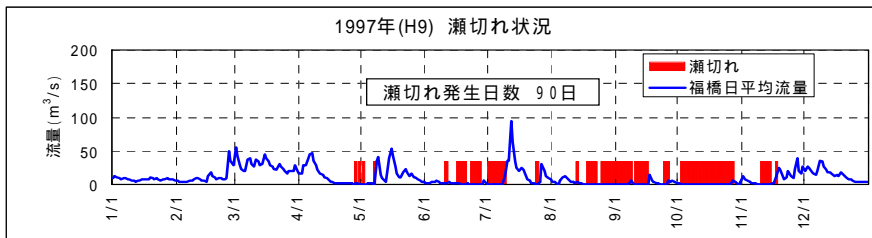
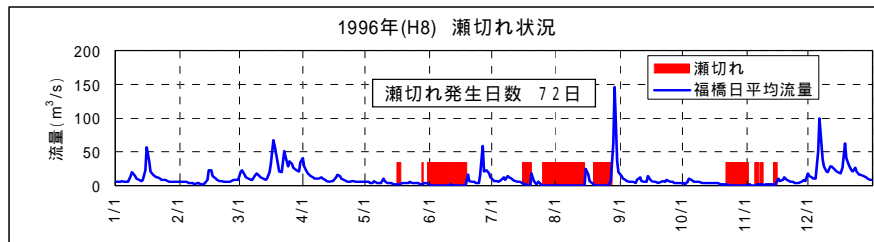
H12 (2000) 年 水運用結果



H15 (2002) 年 水運用結果





( 8 ) 高時川の福橋地点流量と瀬切れ発生日について



高時川の福橋地点流量と瀬切れ発生日状況 ( H.8、H.9、H.10、H.11、H.12、H.15 )

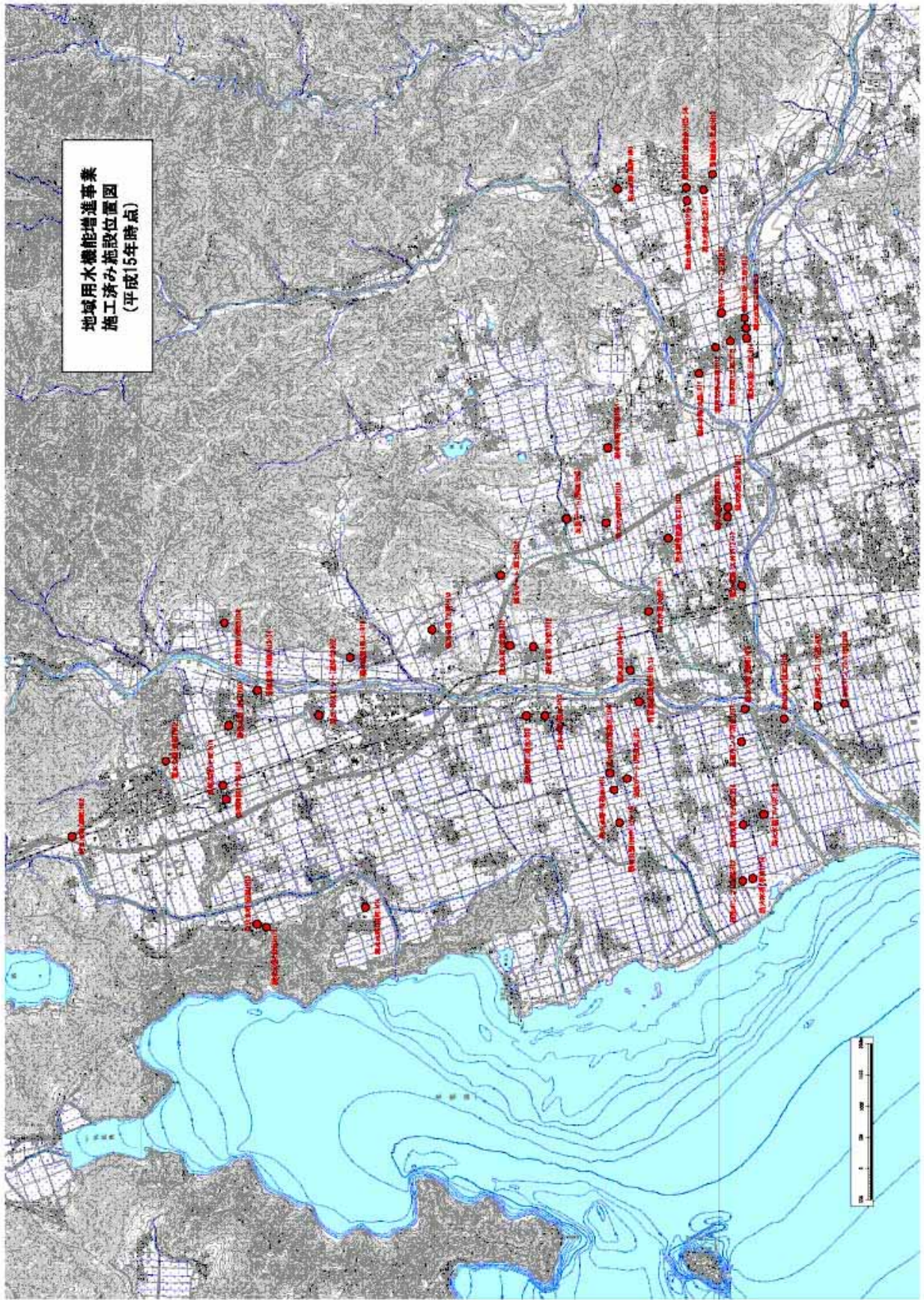
( 9 ) 非かんがい期の取水

非かんがい期において、農業用水路の維持用水として取水され、結果として地域の環境的な機能（防火用水、消流雪用水等）を発揮している。

<p>防火用水</p>	<p>農業用水路内に防火水槽や堰上げゲートを設置することで取水場所を確保し、初期消火に利用している。特に、消火栓の不足する場では有効。</p>	 <p>高月町井口</p>
<p>消流雪用水</p>	<p>家屋周辺や道路等を除雪した後の雪の処理として、住民の生活に欠くことができない大事な役割。</p>	
<p>生態系保全用水</p>	<p>農業用水路は身近な生き物であるホタル、サワガニ等の水辺生物が生息しており、良好な生態系が保全されている。生物の生息環境を保全するために安定的な用水の配水および排水の機能を保持している。</p>	 <p>高月町宇根地区</p>

<p>親水・景観 保全機能</p>	<p>鯉が泳ぎ、水車、自然石を利用した護岸などによって景観・親水機能を維持している。</p>	 <p>高月町雨森地区(水車と鯉)</p>  <p>高月町馬上地区(水車)</p>  <p>高月町雨森地区(水車と花飾り)</p>
<p>生活用水 機能</p>	<p>水路の途中に洗い場を設け、農機具や農作物の洗浄に利用している。</p>	 <p>高月町雨森地区</p>





地域用水機能増進事業  
施工済み施設位置図  
(平成15年時点)

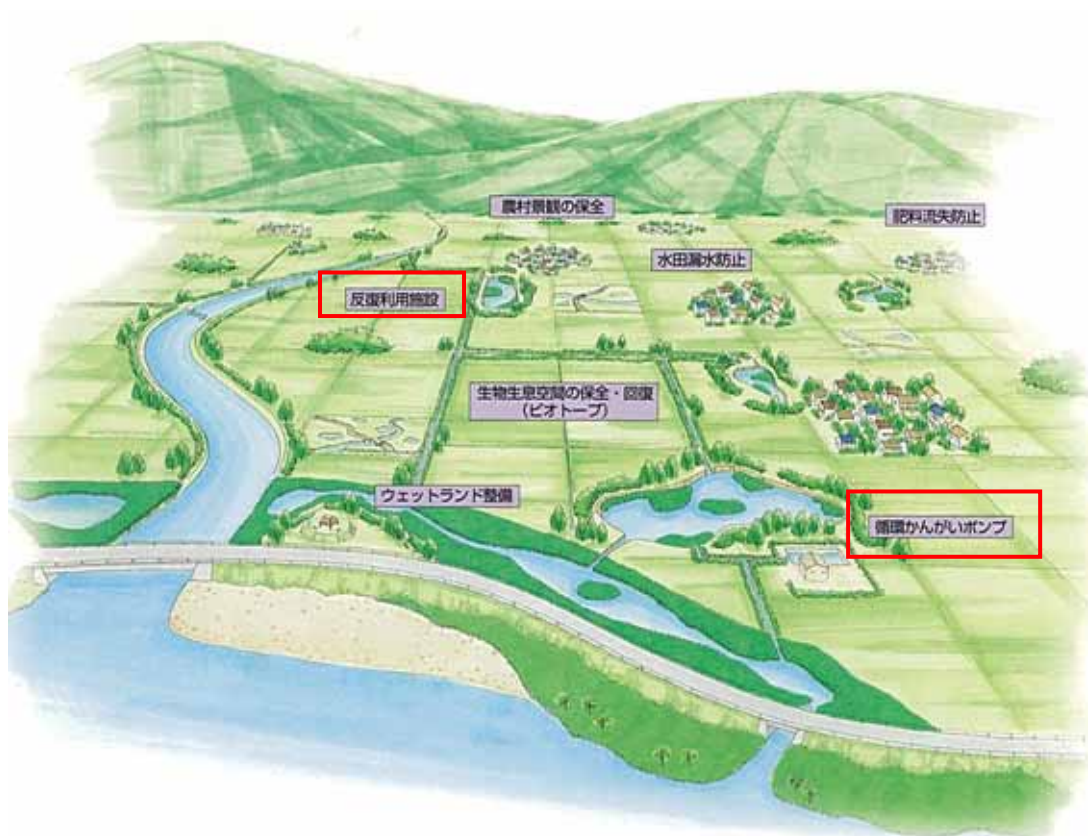


### (10) 節水について

近年、琵琶湖水質の悪化が懸念される中、代かき及び田植え時期を中心とした農業排水への対策が急務になっている。滋賀県では「みずすまし構想」を推進中である。この中から節水に関連する項目を以下に示す。

農業用水の再利用

用水の節減、水田の漏水防止など適正な水管理



出典：滋賀県パンフ「みずすまし構想」より

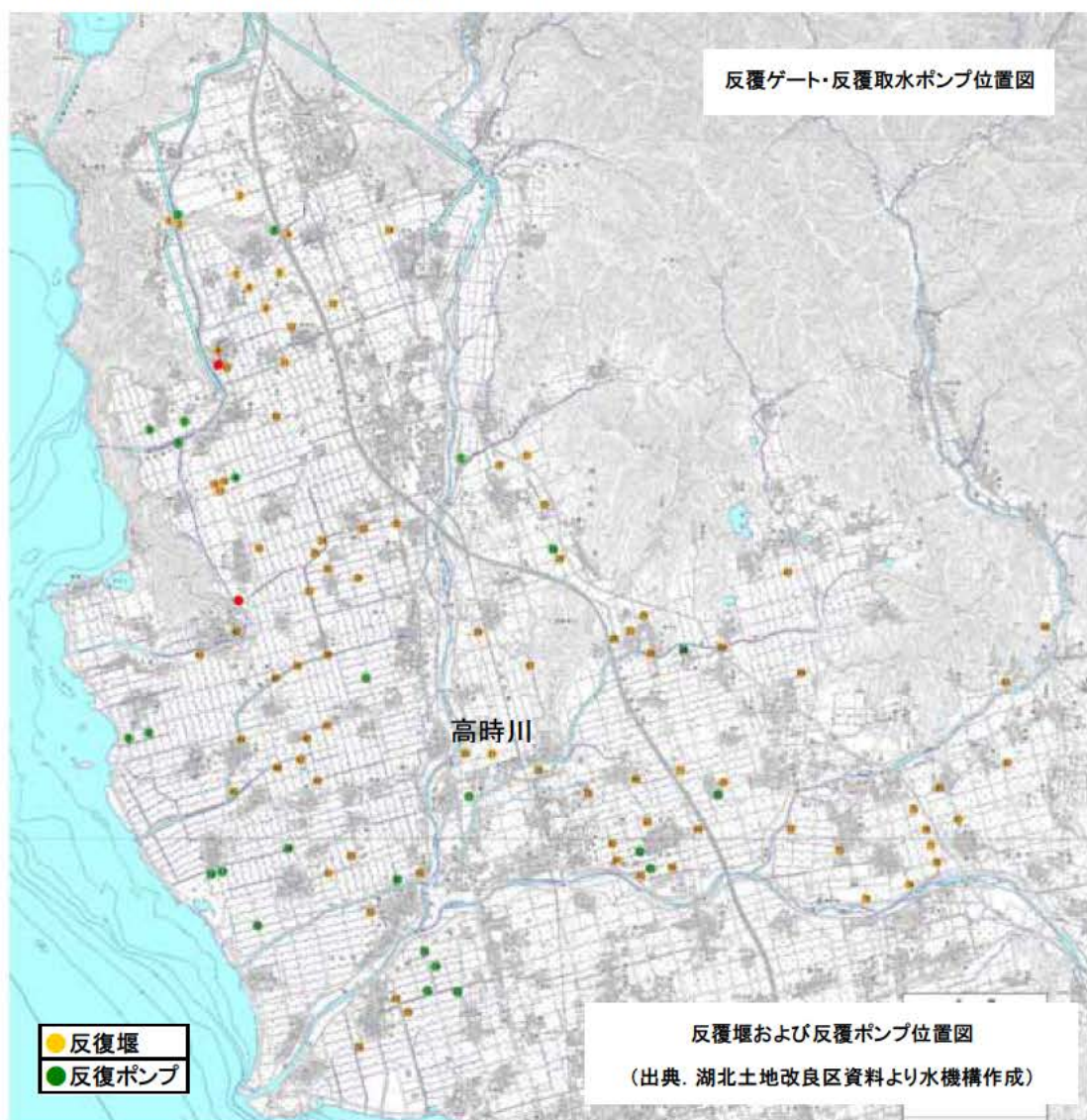
### 1) 反覆堰・反覆取水ポンプ（循環かんがいポンプ）の実態

土作り、施肥方法の改善、代かき・田植時期の濁水防止など、施肥と水管理を適切に行い、営農の合理化を図るとともに、農業用水の循環利用や排水を用水として反覆利用するなど、琵琶湖や河川の水環境保全を図っている。

湖北地区においても、数多くの反覆堰、反覆取水ポンプ、沈殿池が設置されている。

- ・ 84ヶ所の反覆堰、
- ・ 25ヶ所の反覆取水ポンプ

が設置され、農業用水を反覆利用している。





### 反覆堰の利用

反覆堰により、排水路の水を用水路に導き、水を繰り返し利用している。



高月町東物部地区 (H14.4)

030516 丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料より抜粋

### 反覆ポンプ・沈殿池の利用

排水路の下流に沈殿池を設け、水を浄化するとともに、反覆ポンプで再び用水路に給水している。



高月町西阿閉地区 (H14.4)

030516 丹生ダム・大戸川ダム計画の見直し案説明資料より抜粋



## 用水の節減、水田の漏水防止など適正な水管理

湖北土地改良区パンフレットによる啓蒙活動を実施したり、湯水時以外でも2日間隔の送水による節水運用を行っている。

**用水路の通水についてのお願い**

地域用水機能増進事業の増進施設  
観水・防火施設



水は地域の資源です。  
限られた水資源の有効利用  
に努め大切に使いましょう。

平成15年度の観水がい期間を目前に  
控え、用水管理に万全を期すべく計画  
を立てています。つきましては各項目に  
御協力頂きますようお願い致します。

湖北町下野地先

**正しい水管理をして下さい。**

- 幹水路への無効放流（かけ流し）は絶対しないで下さい。
- かんがい期は必要最小限の水利用で行って下さい。
- 代かきは浅水で行い、濁った水は流さないようにしましょう。
- 反覆順の有効利用に努めて下さい。

**ゲート等を勝手に操作しないで下さい。**

ゲートの操作は土地改良区の職員が操作しています。  
水量等の調整が必要な場合は、連絡を頂ければ職員が対応致します。  
緊急の場合以外、勝手に操作等しないようお願い致します。

**用水路へのゴミの投棄は絶対にしないでください。**

■ 家庭用のゴミの投棄によってスクリーンがゴミ溜まりとなり、漏壊事故や決壊による大事故につながります。また下流への送水に支障が生じるのでゴミ等の投棄は絶対にしないで下さい。  
■ 施設及び水路内に投棄されたゴミの処置に大変苦慮しています。一人一人が心掛けて用水管理に御協力下さい。

**かんがい期間が変わります。**

本年より、かんがい期間が  
**3月27日～9月15日**  
となりますので宜しくお願いします。

**水土里ネット湖北**  
（湖北土地改良区）  
**地域用水対策協議会**  
滋賀県伊香郡高月町渡岸寺155-1  
TEL (0749) 85-2069

平成16年度 二日隔日送水計画表

H16.5.31~H16.9.15

5月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	曜日	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	
	グループ																																

6月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	曜日	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	
	グループ	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	A

7月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	曜日	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
	グループ	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	全	全	全	全	全	全	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B

8月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	曜日	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火
	グループ	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B

9月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	曜日	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
	グループ	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B														

幹線名	グループ	分水工名
余呉幹線	A	玉坂 大沢 西黒田 伊香具 大音第1~3 西山第1~3 堀切 松尾 余呉川
	B	坂口 大井第1~2 木之本 北布施第1~3 赤尾第1~4 磯野第1~3 吉保利
中央幹線	A	好ノ又 尾山第2 柏原第1~5 老沢 渡岸寺 南北高月 落川 八日市第1~5 小倉第1, 第2 大郷
	B	大海道 干笠 井口 七郷 連水第1, 第2 高田第1, 第2 馬渡第1~3 竹生
高時幹線	A	小山P 高野P 上山田P 出丸跡 瓜生 大依第1~第2P 内保第1~第2 虎姫湯次
	B	乙子 脇坂 須賀谷 高畑第1~3P 野田第1~3 小室P 上野 木尾第1~2 湯田
草野幹線	A	北之郷 東主計 西主計 大路 野村 今町
	B	徳山(右) 徳山(左) 飯山 当目 南郷 北柳 三田
餅ノ井支線	A	小川 塚ノ腰 大洞前 中島 二俣第1(字) 河毛第1, 第3~5 鉄道端 賀第1~3 月ヶ瀬第1~3 唐国
	B	一本木 宿第1~3 二俣第2(西) 茶ノ木 下松尾 山脇第1~2 河毛第2 中野第1~3 小今第1~3

- \* 平成16年度は、昨年と同様に隔日送水を、2日送水、2日断水と致します。
- \* 全は、全線送水日
- \* Aは、Aグループ分木工の送水日
- \* Bは、Bグループ分木工の送水日
- \* 全線送水日 …………… 7月14日~7月18日 (天候により変更する場合は区長さんを通じて連絡致します。)
- \* 送水日は湖北土地改良区の職員が毎日巡回致しますので、必要な場合には連絡をお願い致します。
- \* 緊急の場合は湖北土地改良区 電話 85-2069 へ連絡して下さい。

## ( 1 1 ) まとめ

### かんがい期

農業利水の実態および下流河川環境に配慮し、下流放流している。しかし、河川流量が減少すると瀬切れが発生している。

余呉川、余呉湖および琵琶湖の配水ネットワーク、並びに節水啓蒙を行い農業用水を補給している。

### 非かんがい期

農業用水路の維持用水として取水された水は、結果として地域の環境的な機能(防火用水、消流雪用水等)を発揮している。

一方、河川流量の減少により、瀬切れが発生することがある。



### 第3章 丹生ダムからの補給による自然環境への影響の検討

#### 3.1 姉川河川水の琵琶湖への流入状況調査（雪解け水について）

## 目次

1. 調査・解析の概要・目的	93
2. 河川水温と琵琶湖水温の関係	94
3. 姉川河口部流動・水質現地調査	97
3.1 調査概要	97
3.2 第1回現地調査結果	102
3.3 第2回現地調査結果	119
4. 姉川河口部流動・水質数値解析（3次元水理・水質モデルによる解析）	125
4.1 数値解析条件	125
4.2 現況再現数値解析（現地調査結果における検証）	132
まとめ（現地調査および数値解析について）	145
5. 琵琶湖溶存酸素変化と融雪期の河川流入量の関係	146
参考1 水理・水質モデルの概要	151
参考2 琵琶湖深層部の水質変化に関する近年の研究事例	155

## 1. 調査・解析の概要・目的

琵琶湖は地球温暖化などの環境要因の変化により富栄養化現象の促進が懸念されている。この富栄養化現象に関連する水質変化事象の1つとして北湖深層水の溶存酸素 (Dissolved Oxygen) の低下が指摘されている。DO が低下して嫌気性 (還元) 条件になると土壌のイオン吸着容量が低下してアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4^+$ ) やリン酸塩 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) が水中に脱着したり、硫酸還元菌の働きによる鉄・マンガンの還元・溶解に伴い共沈していたリン酸塩が再び水中に放出されるなど、富栄養化現象がさらに進んでしまうおそれがある。

底層 DO 変化に寄与する要因としては、水理・水文・物理化学・生物学的因子など様々なものが考えられるが、春季の融雪流出水の減少の影響を重要視している意見もある。

ここでは、北湖深層部の低酸素化に及ぼす雪解け水の影響を定量的に評価するため、雪解け期の姉川河口部における流向・流速および水質の現地調査を行うとともに、琵琶湖の水温、溶存酸素等の測定データ、姉川河川水の諸量について取りまとめた。さらに流動・水質の平面方向・水深方向の分布・変化を評価できる3次元モデルを用いて姉川河口から融雪水が北湖に流入する密度流の挙動を解析して、丹生ダム建設に伴う水質変化を把握することを目的とする。

なお、調査・解析の視点をまとめると以下ようになる。

### ■ 調査・解析の視点

- 姉川の融雪出水は琵琶湖底層に潜り込むか。
- 姉川の融雪出水と溶存酸素濃度の変化には関係がみられるか。



## 2. 河川水温と琵琶湖水温の関係

河川水温と琵琶湖水温の関係を以下に示す。

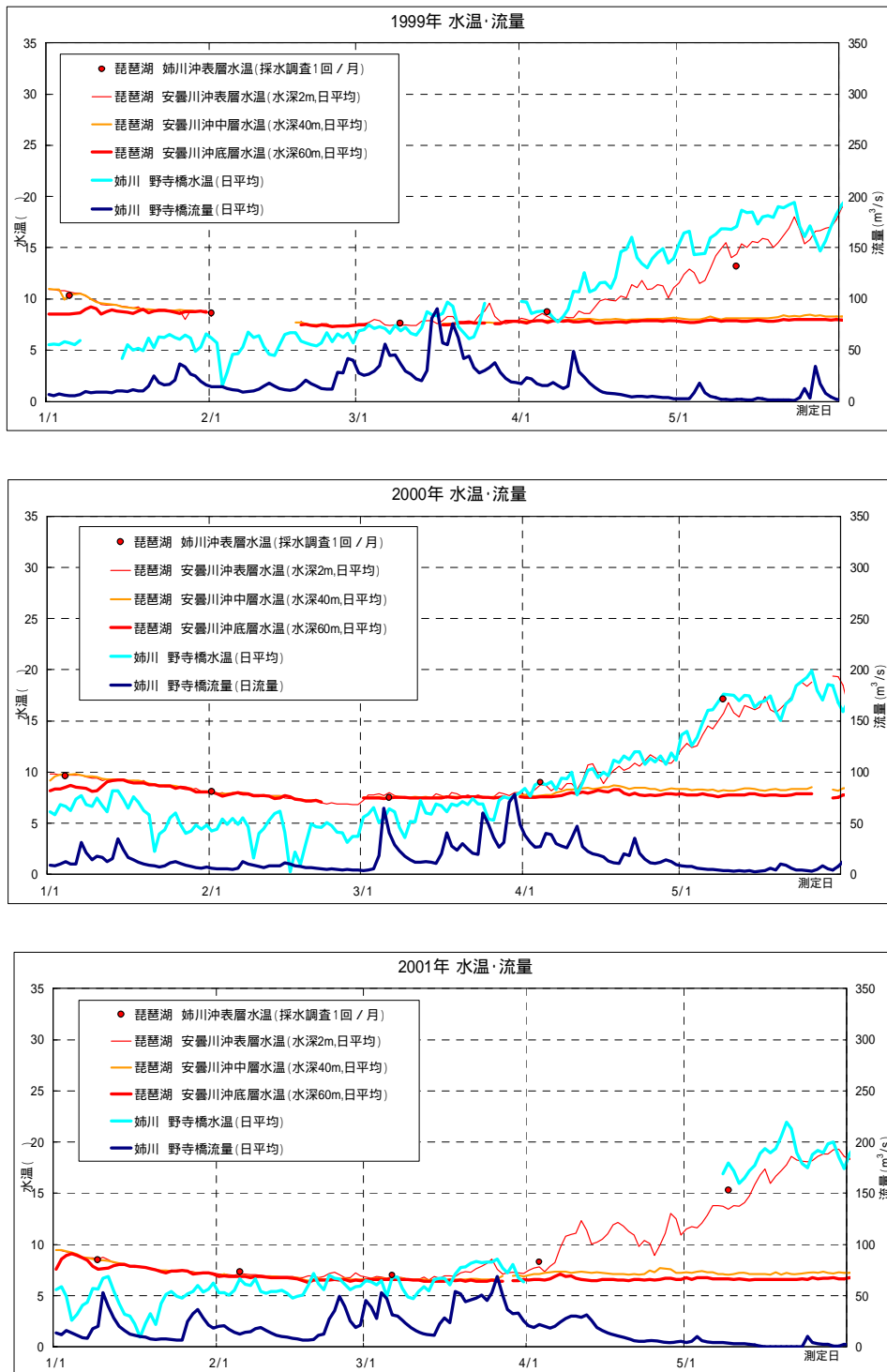


図 2.1.1 姉川水温と琵琶湖水温の関係

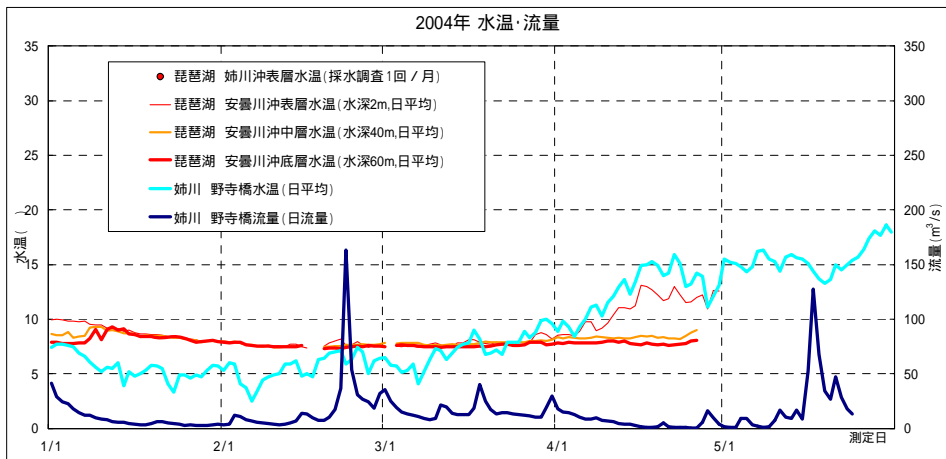
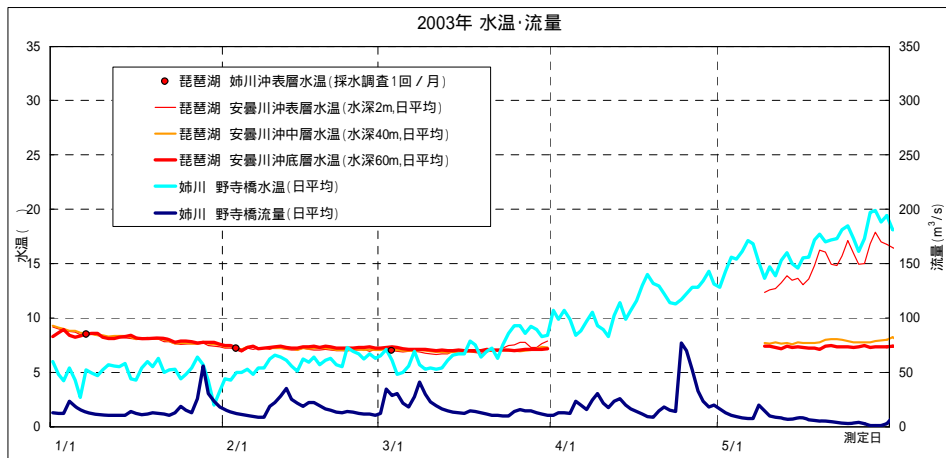
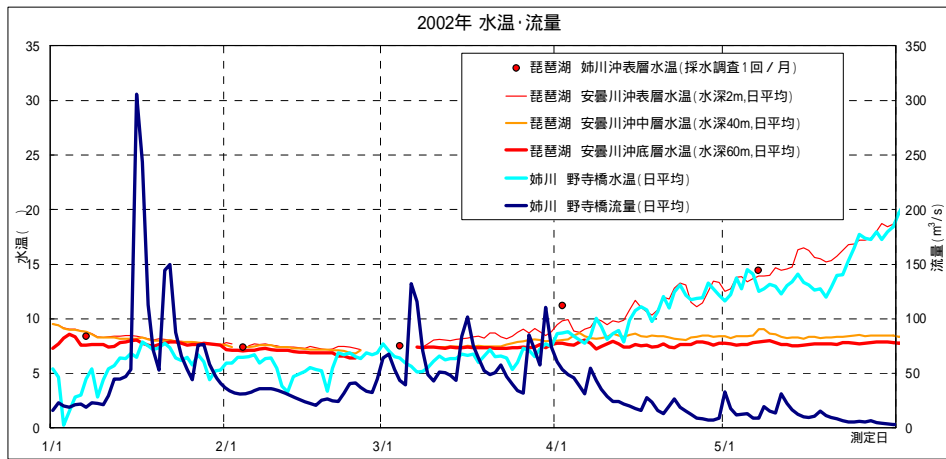


図 2.1.2 姉川水温と琵琶湖水温の関係

#### 河川水温と琵琶湖水温の関係

- ・ 3月の琵琶湖水温は、中旬頃までは7~8 でおおむね全層一様であるが、3月中旬から4月上旬頃から表層水温が上昇傾向を示し、中層・底層より高温となる。（成層が始まる）
- ・ 融雪出水期の3月の河川水温と琵琶湖水温の関係（直近6年間より）
  - ・ 3月の後半において河川水温の方が琵琶湖の表層、中層、底層よりも高い場合が見られる。（1999年・2001年・2003年・2004年）
  - ・ 一方、河川水温の方が低い場合もみられる。（2000年・2002年）
- ・ 4月の河川水温は、琵琶湖表層水温と同等か高い場合が多く、中層・底層より高い。

### 3. 姉川河口部流動・水質現地調査

#### 3.1 調査概要

##### 調査目的

本調査は姉川河口部に流入する雪解け水の挙動を把握するため、姉川河口部において、ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers : ドップラー流速計) を用いて流向・流速を観測、水質測定機を用いて水温、濁度、溶存酸素等を観測するものである。

##### 調査内容・方法

調査は2回行い、1回目は姉川河口部観測調査、2回目は濁水追跡調査として調査を実施し、以下の項目について調査を行った。

##### ・調査内容・調査項目

- ・ ADCP 観測調査 (定点観測、曳航観測)
  - ・・・ 流向・流速
- ・ 水質観測調査 (定点観測、曳航観測)
  - ・・・ 水温・濁度・溶存酸素・クロロフィル a・電気伝導度

##### ADCP 観測調査 (定点観測、曳航観測)

流向・流速の定点観測は、ドップラー流速計 (ADCP\* Workhorse 600kHz : RD Instruments 社製) を用い、図 3.6、図 3.7 に示した地点において鉛直方向に観測を行う。ドップラー流速計は、図 3.1 に示すように、流速計を観測船に取り付け、GPS で測位しながら実施する。なお、観測するピッチは水面下 0.5m から 0.5m 層厚で湖底上 2.0m まで観測する。その内 3.5m 以浅は電磁流速計を用いて観測する。また、定点間の移動中は曳航鉛直観測を行う。

曳航観測はドップラー流速計を用い実施する。なお観測する水深ピッチは水面下 3.5m から 0.5m 層厚で湖底上 2.0m まで、平面移動距離約 12m ピッチ内で観測する。

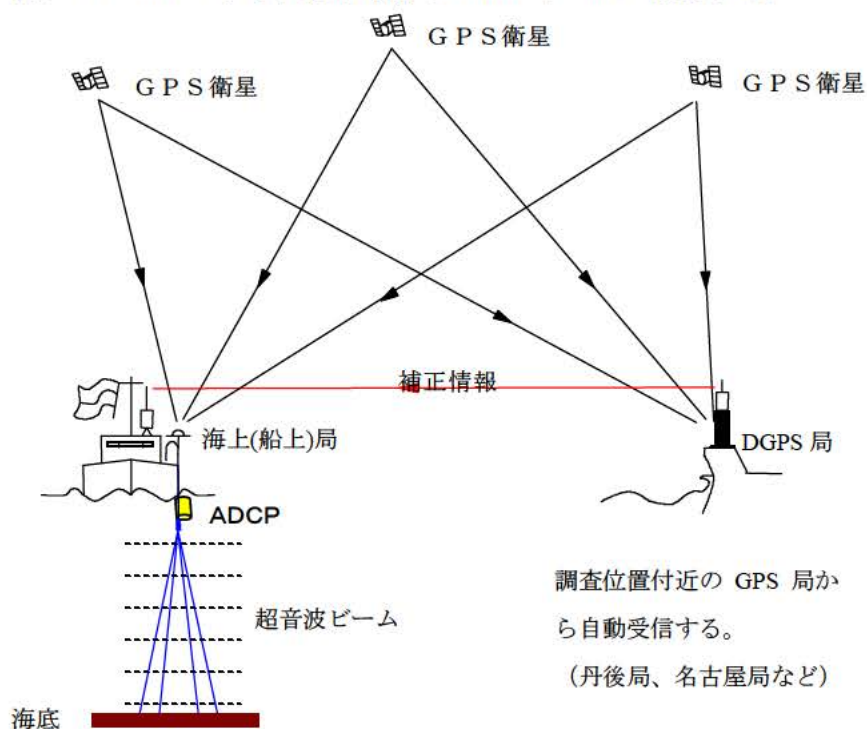


図 3.1 ADCP 観測概念図



## 調査状況

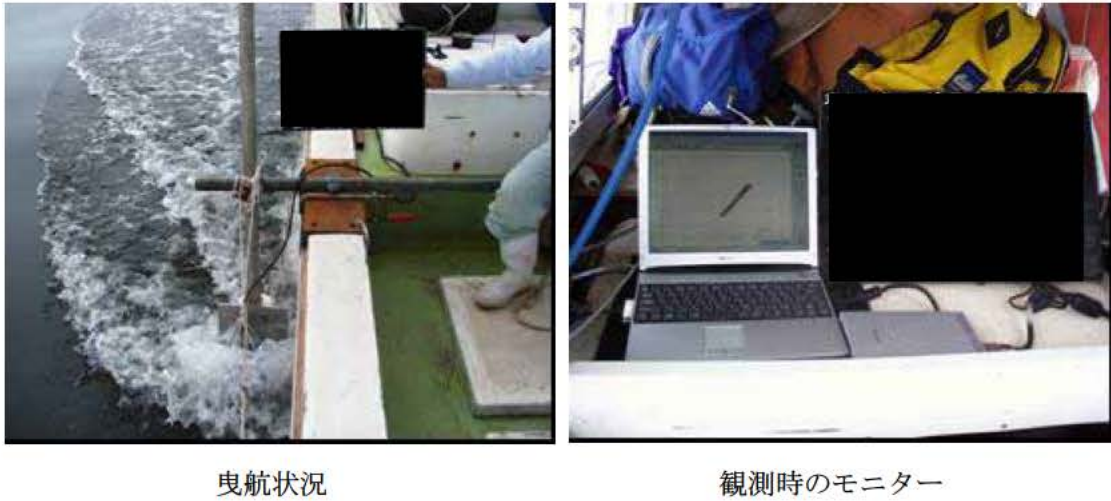


図 3.2 ADCP 現地調査状況

### 水質観測調査（定点観測、曳航観測）

水質観測調査の定点観測は、図 3.6、図 3.7 に示した地点において観測を行う。

水質観測調査には、多項目水質測定機（クロロテック：アレック電子社製）を用いる。定点観測は表層 0.5m から 0.5m 間隔で底面まで測定する。また、曳航観測は表層のみ測定する。

- ・測定項目・・・水温、濁度、DO、クロロフィル a、電気伝導度

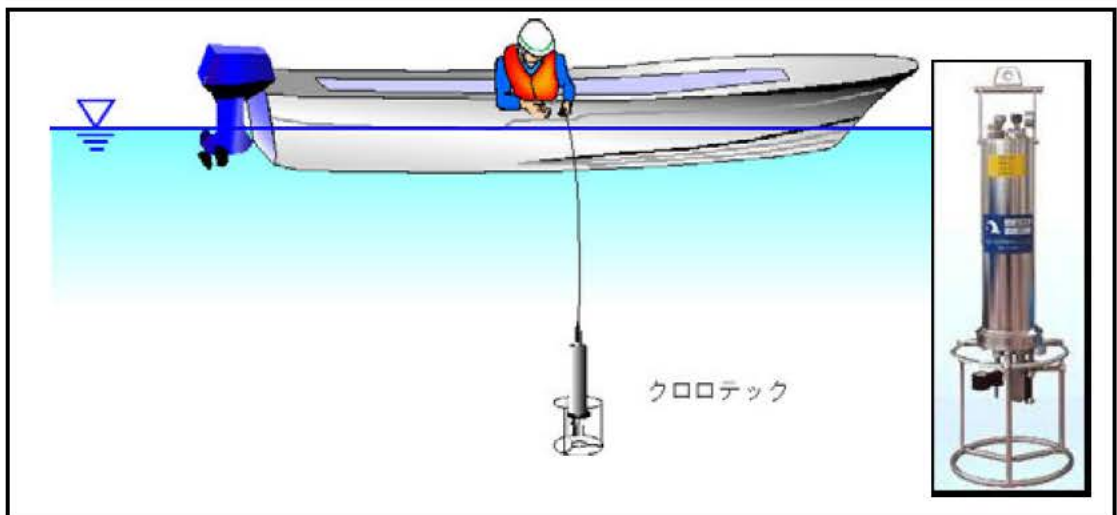


図 3.3 水質調査概念図

調査状況



図 3.4 クロロテックによる現地調査状況

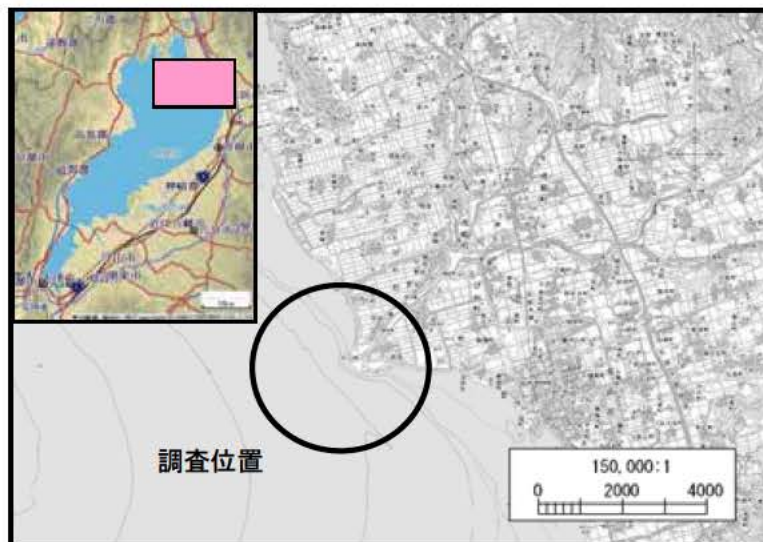


図 3.5 調査対象水域

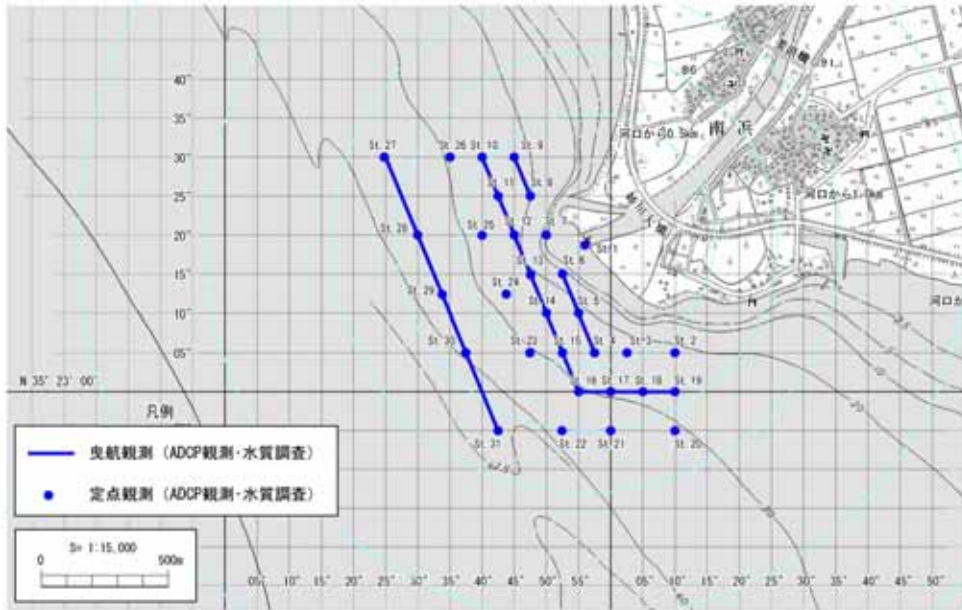


図 3.6 調査地点位置図 (平成 16 年 2 月 25 日)

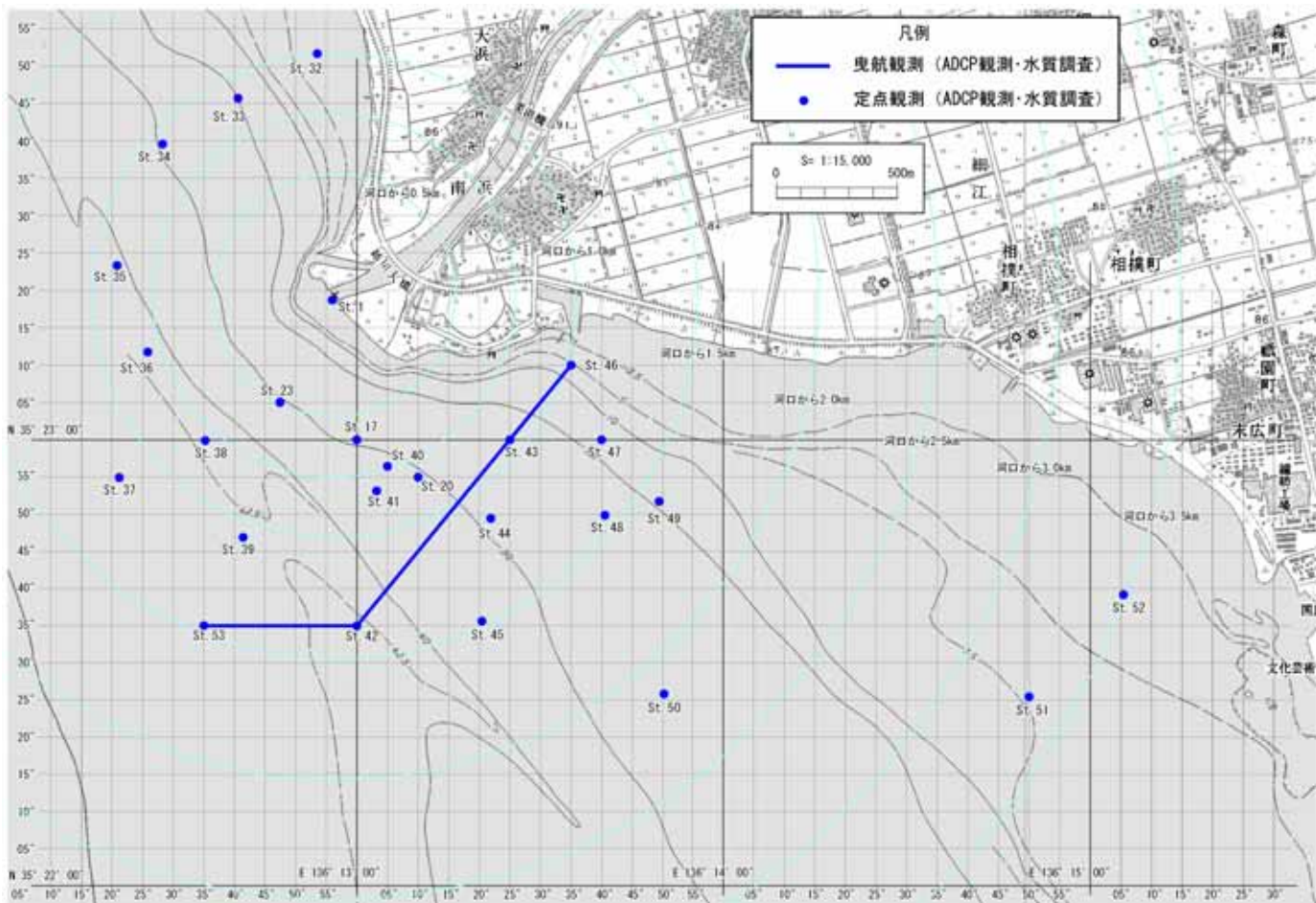


図 3.7 調査地点位置図 (平成 16 年 3 月 19 日)



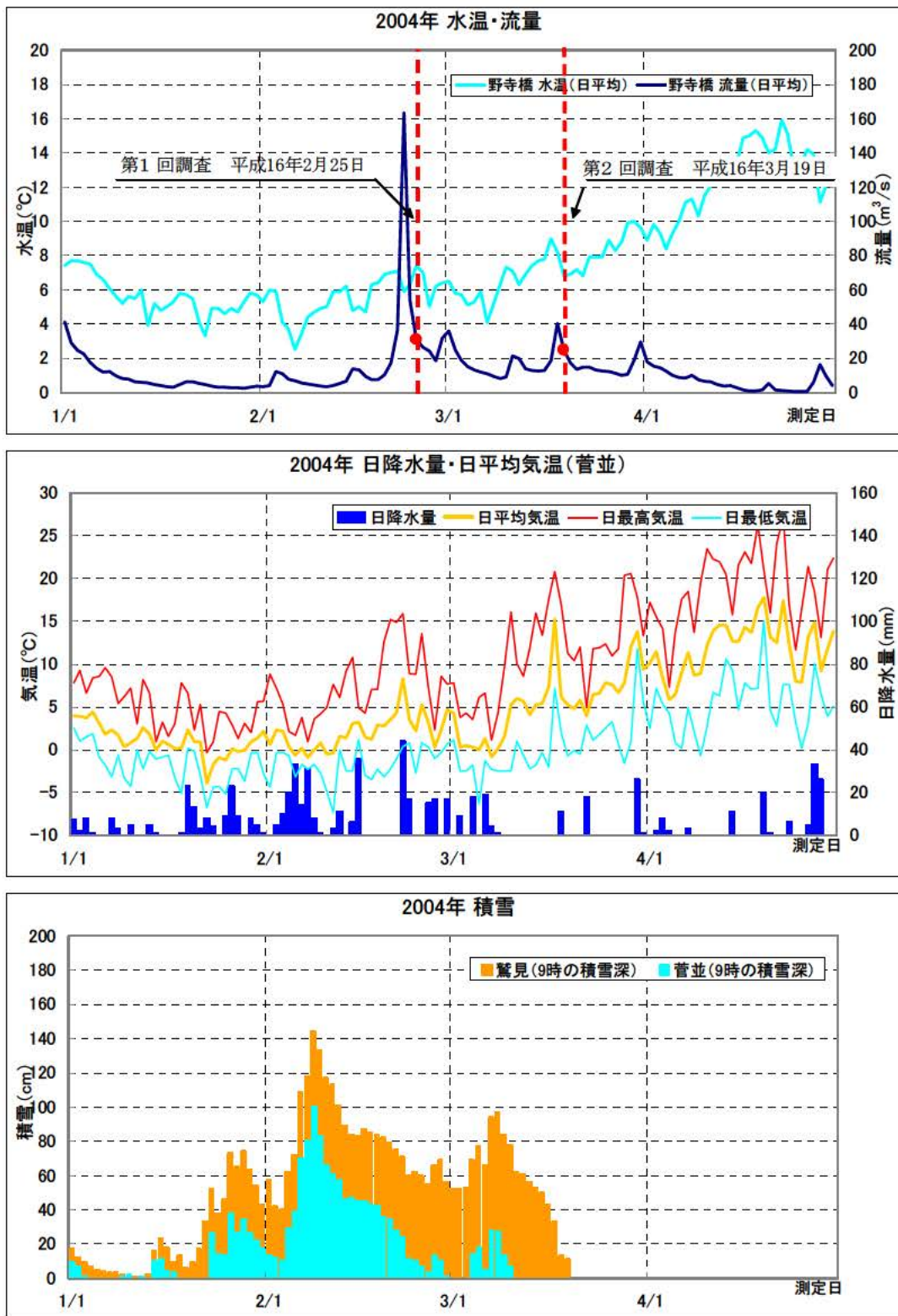


図 3.8 調査時点の気象・水文状況

図 3.8 に調査時の気象・水文状況を示す。

第1回調査は、野寺橋地点で日平均 163m<sup>3</sup>/s (最大 320m<sup>3</sup>/s) 出水の2日後の平成16年2月25日に実施した。調査時は約 30m<sup>3</sup>/s の出水であった。

第2回調査は、野寺橋地点で日平均 40m<sup>3</sup>/s (最大 51m<sup>3</sup>/s) 出水の翌日の平成16年2月19日に実施した。調査時は約 25m<sup>3</sup>/s の出水であった。



### 3.2 第1回現地調査結果

図 3.9 に第1回調査の位置図、調査前日の航空写真を示す。

第1回調査は河口から約1km 範囲の定点 31 地点を調査した。

ADCP 調査（流向・流速）は、水面下 0.5m から 0.5m 層厚で湖底上 2.0m まで観測。内 3.5m 以浅は電磁流速計、3.5m 以深は ADCP を使用した。

水質調査（水温、濁度、溶存酸素、クロロフィル a、電気伝導度）は、全 31 地点、各地点での測定層は水深 0.5m から 0.5m 間隔で底面まで測定した。

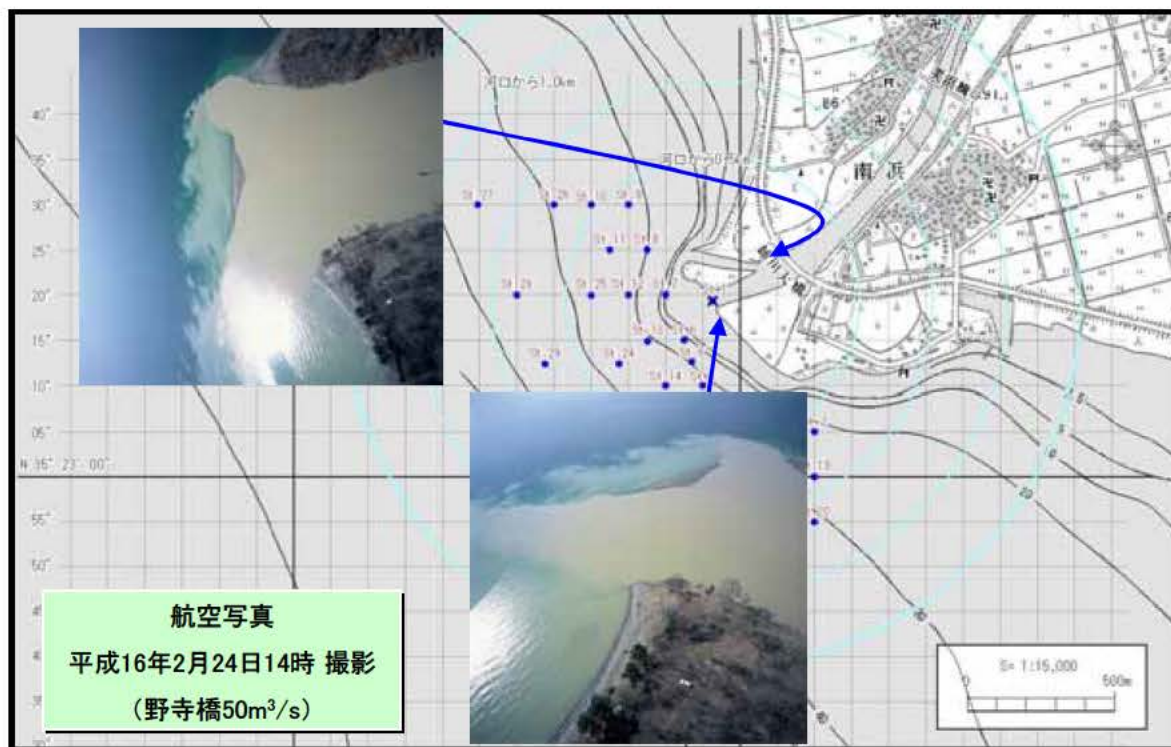
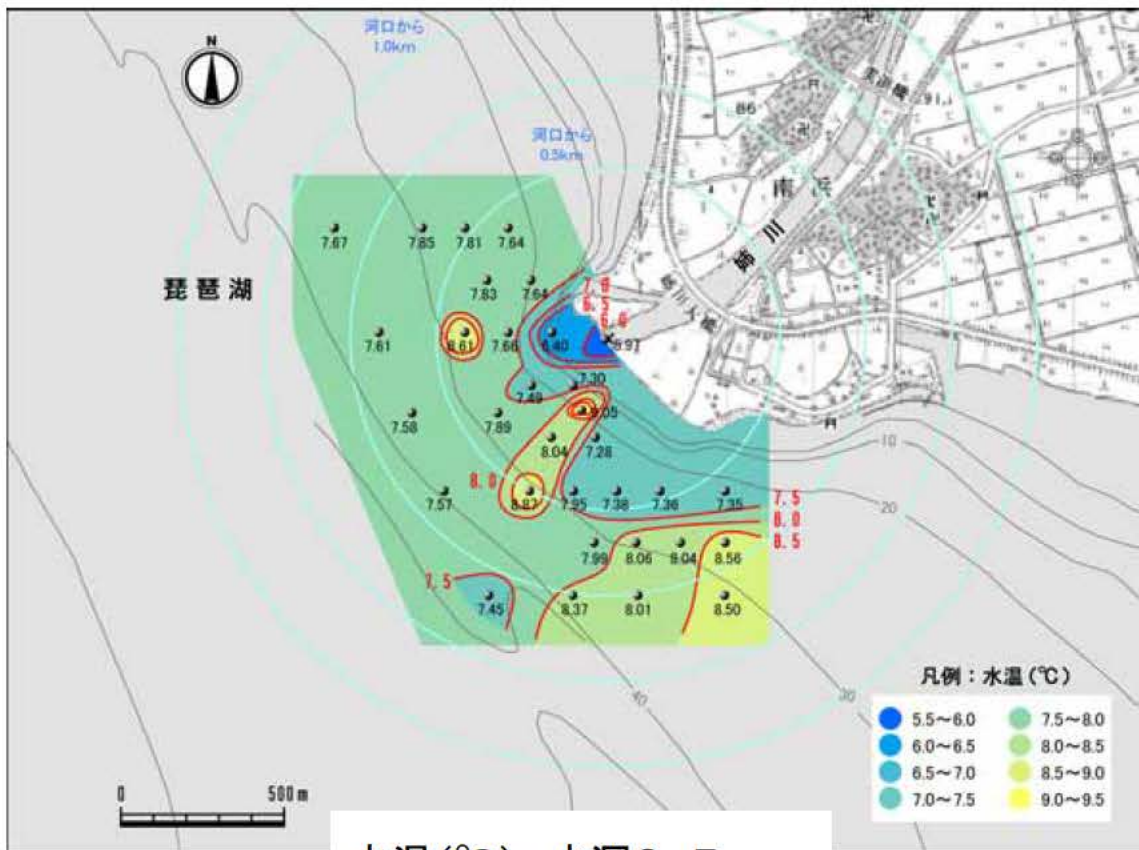
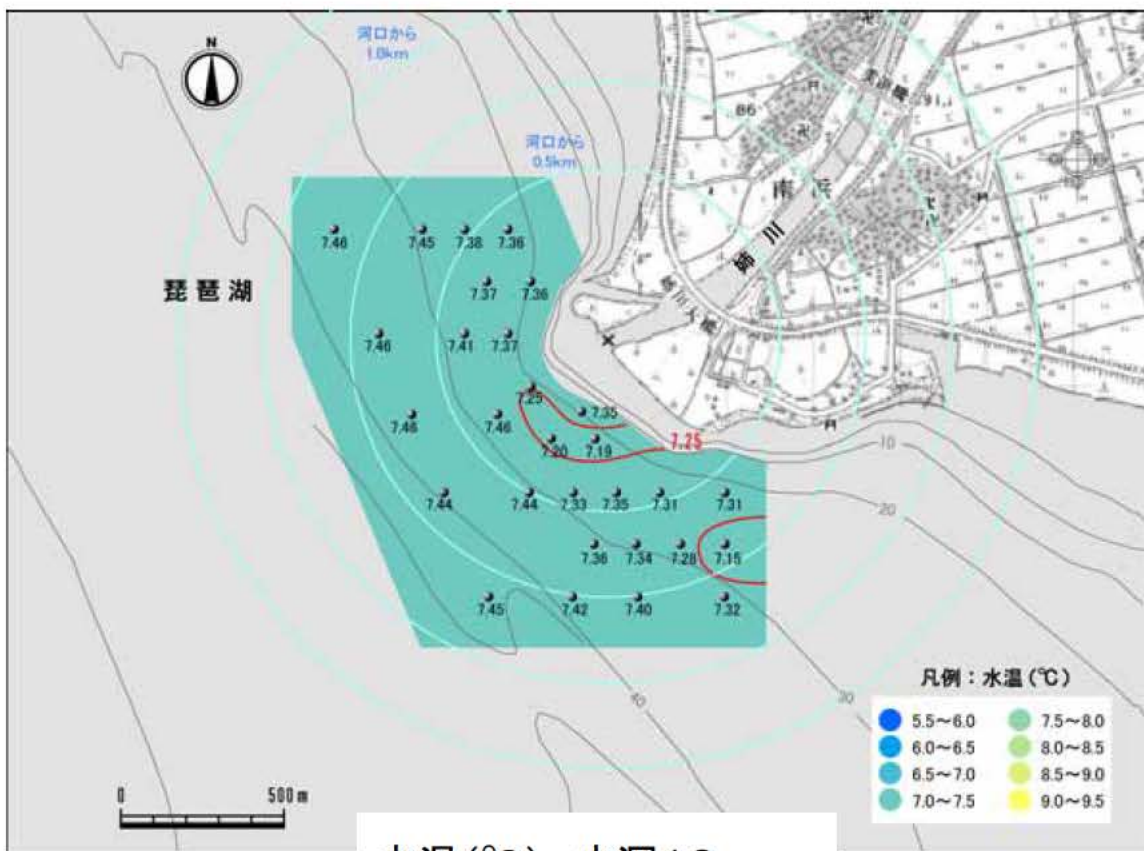


図 3.9 第1回調査位置図（平成16年2月25日）

(1) 水質



水温(°C) 水深0.5m



水温(°C) 水深10m

図 3.10.1 第 1 回現地調査結果 (水温の水深毎の平面分布)



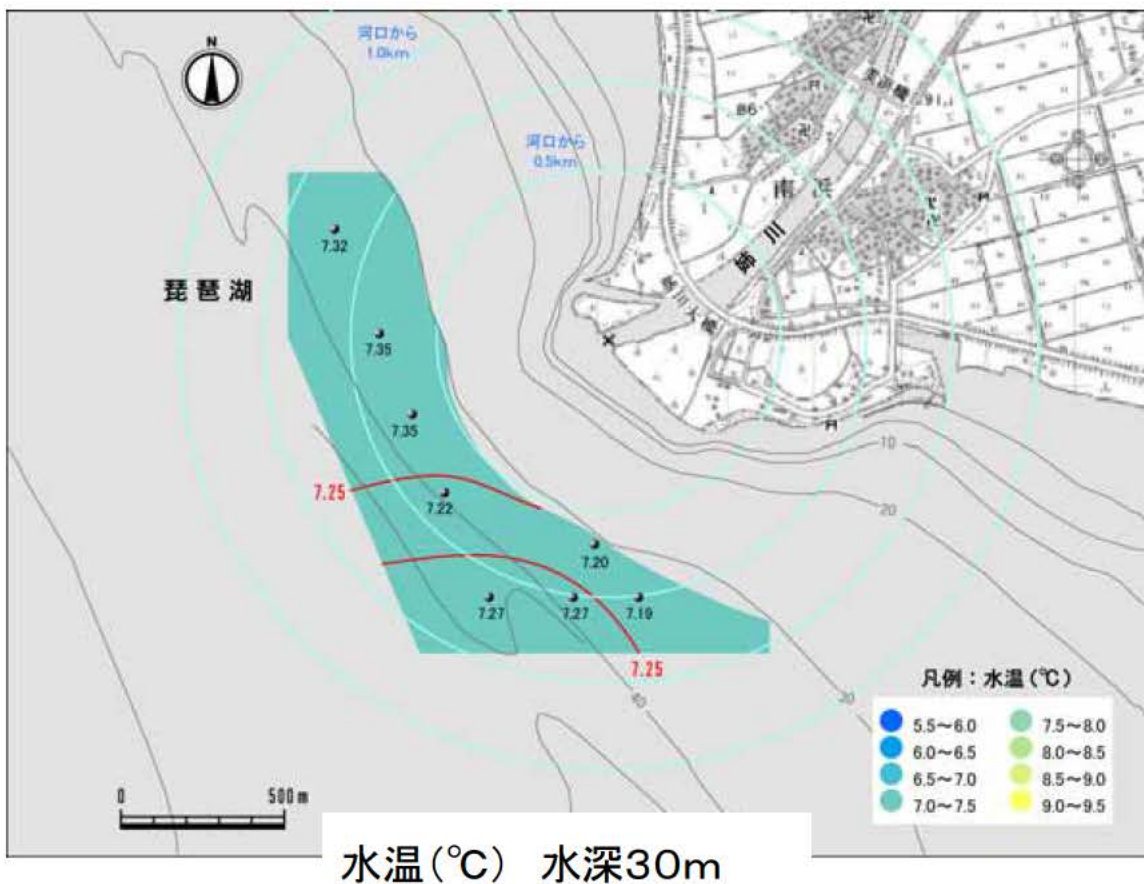
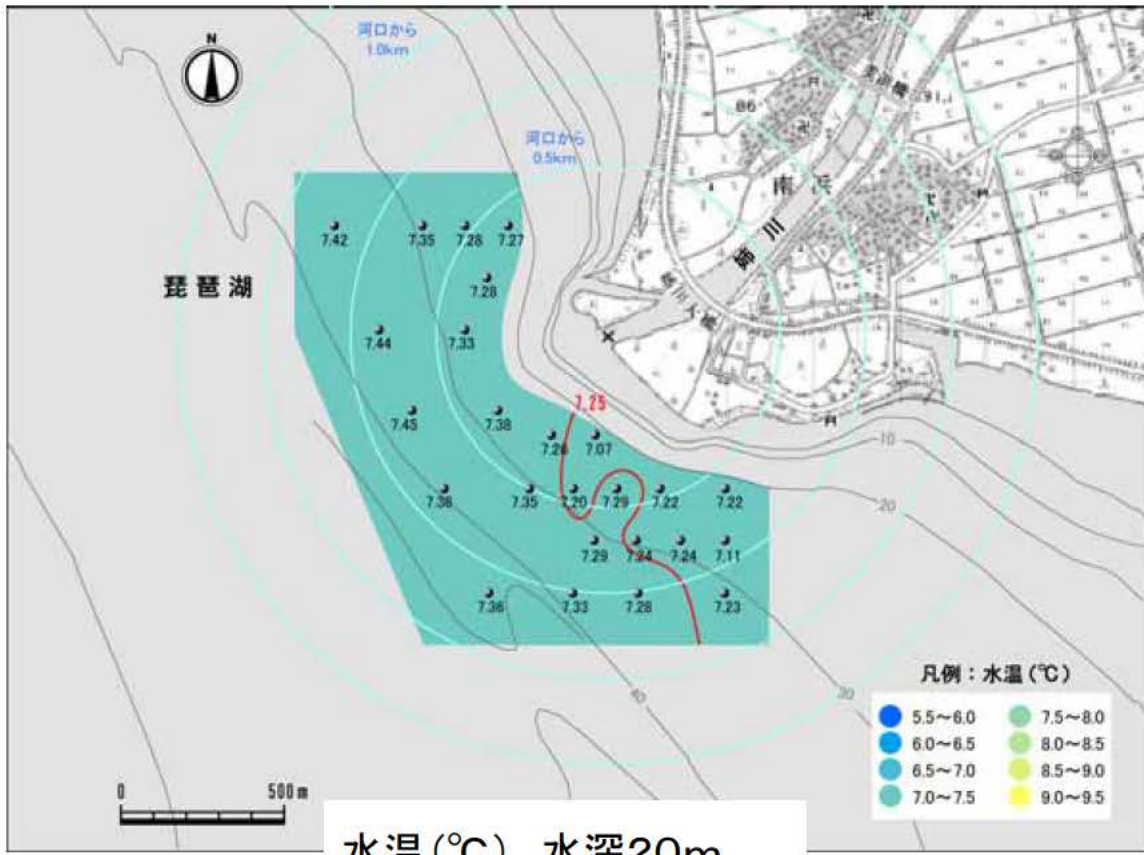


図 3.10.2 第 1 回現地調査結果（水温の水深毎の平面分布）

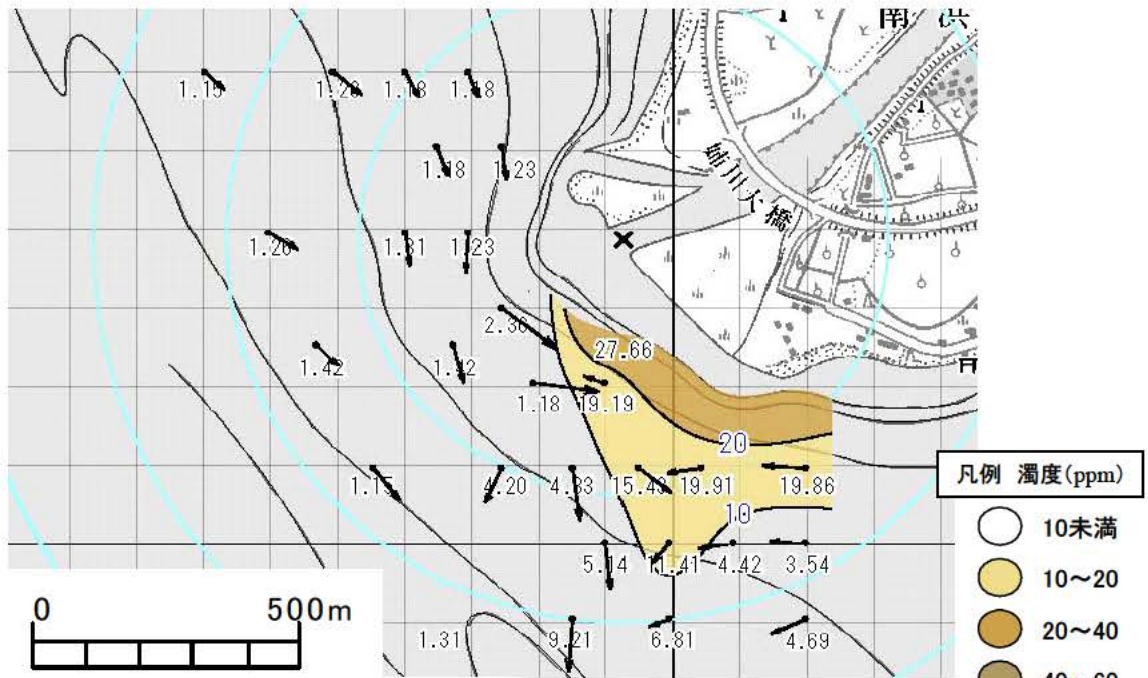
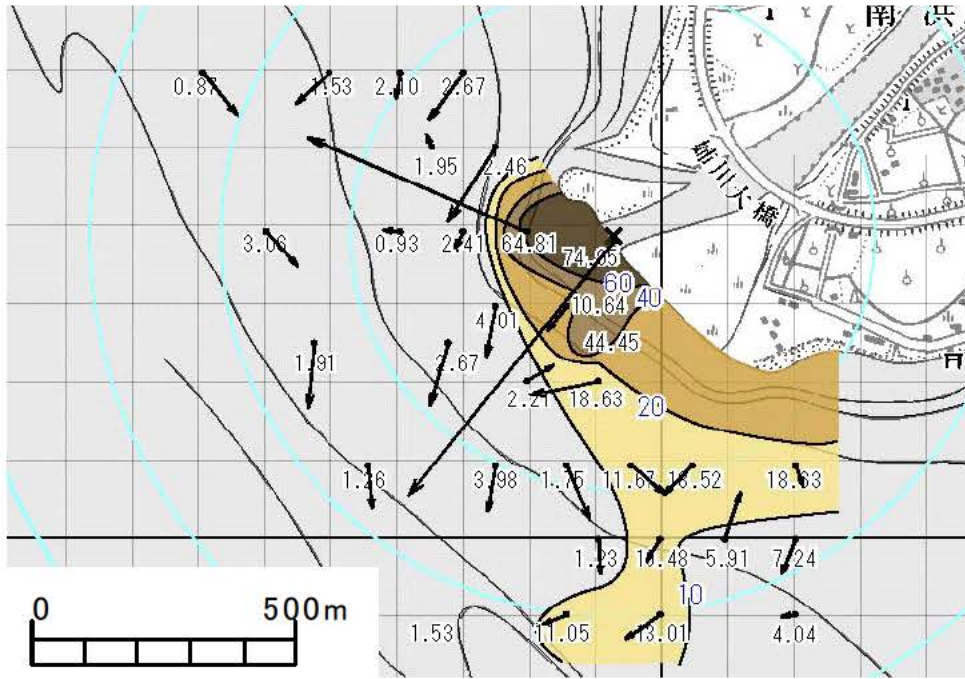


図 3.11.1 第 1 回現地調査結果 (濁度・流速ベクトルの水深毎の平面分布)



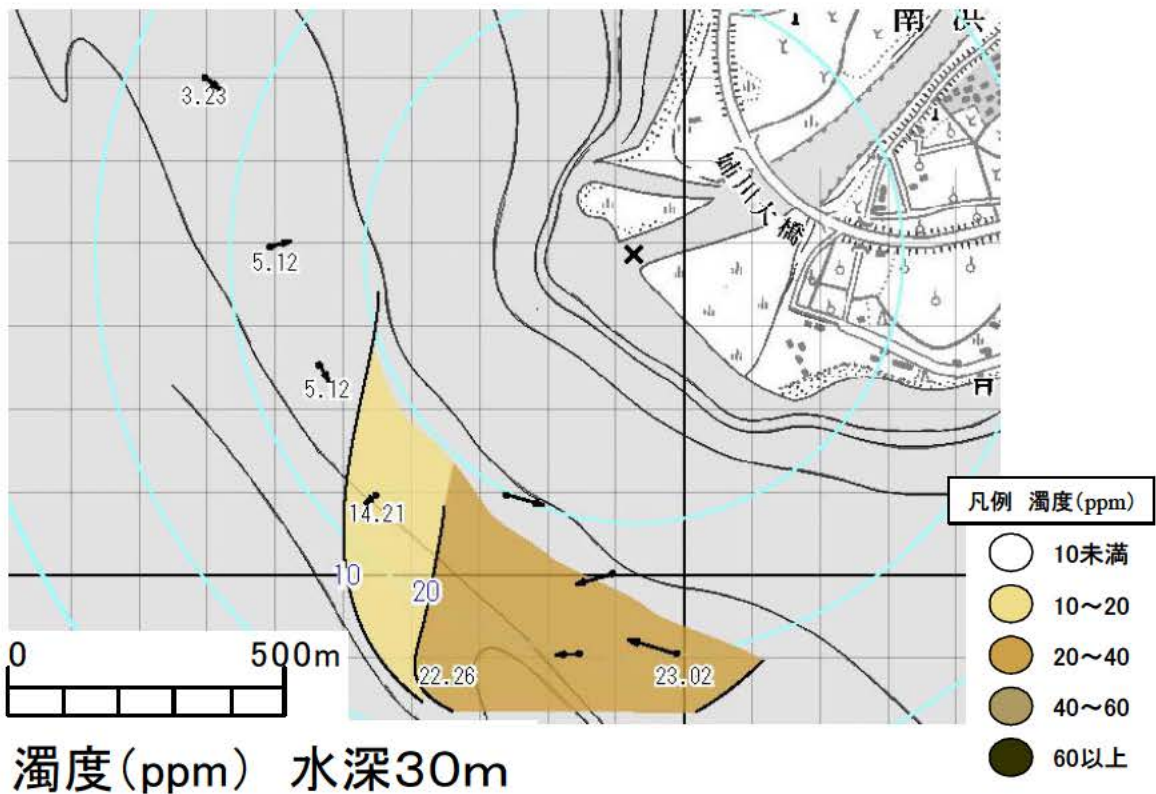
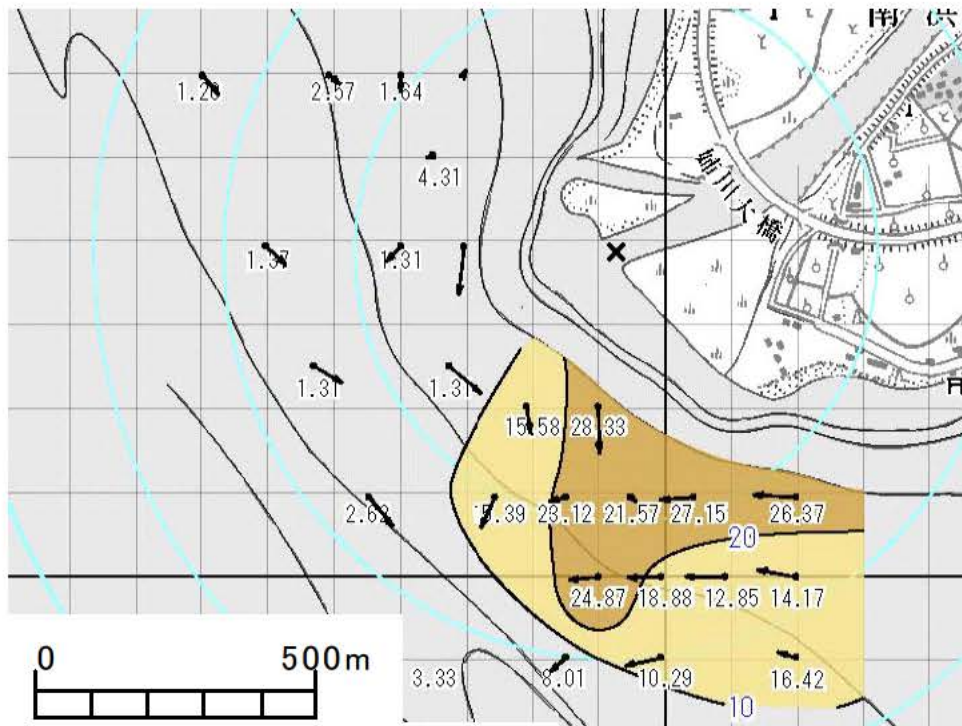


図 3.11.2 第 1 回現地調査結果 (濁度・流速ベクトルの水深毎の平面分布)

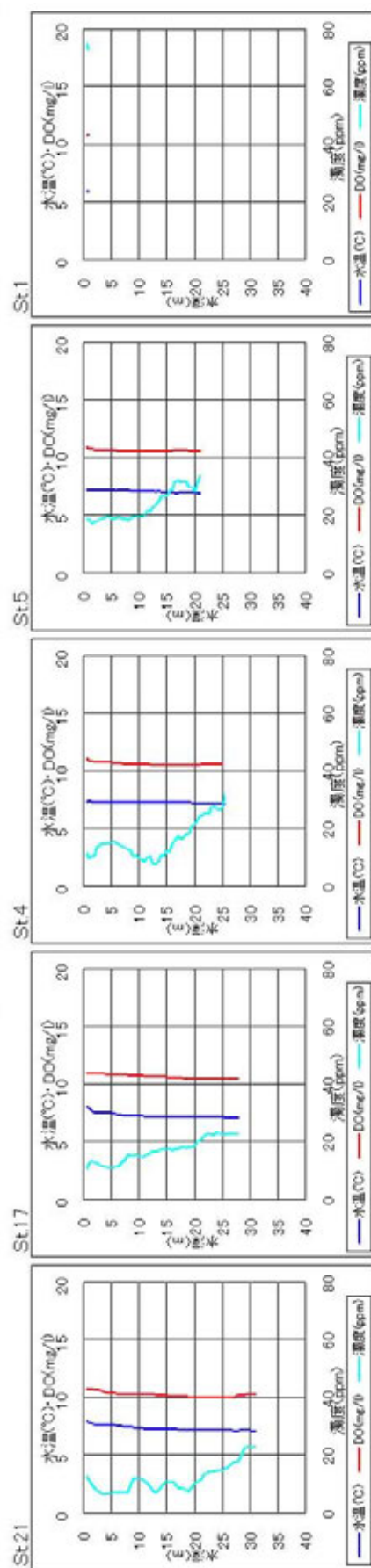
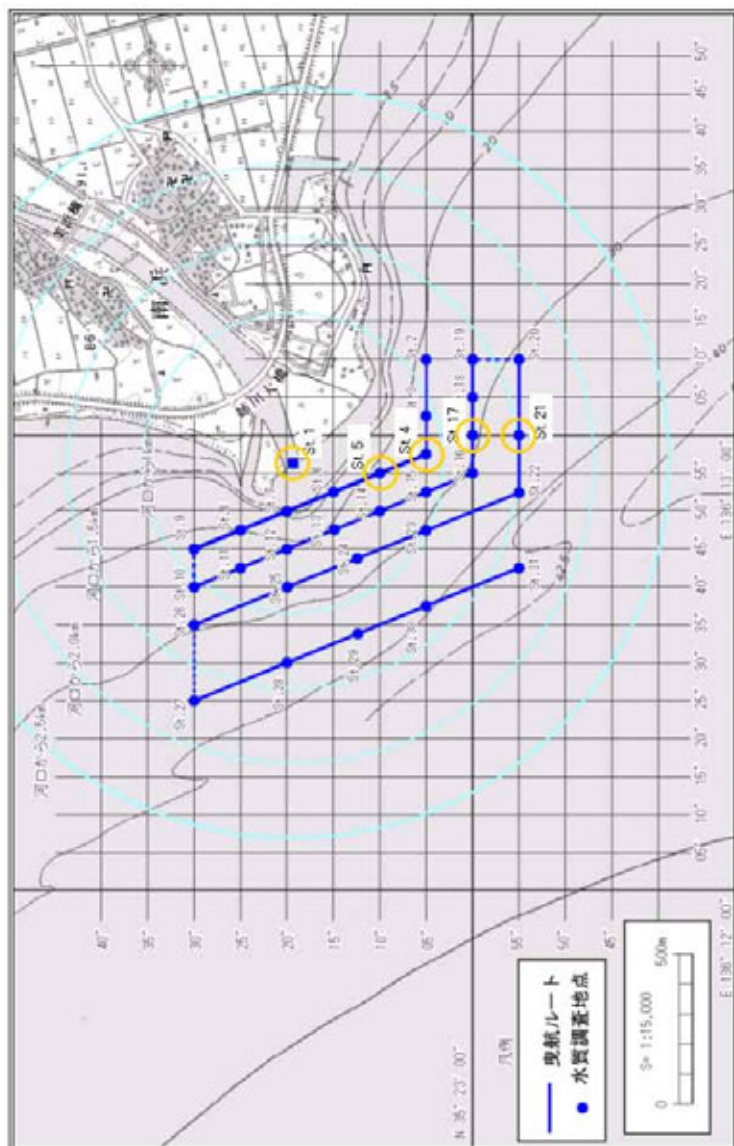


図 3.12.1 水温、濁度、DO の鉛直分布図（河口から南方向）

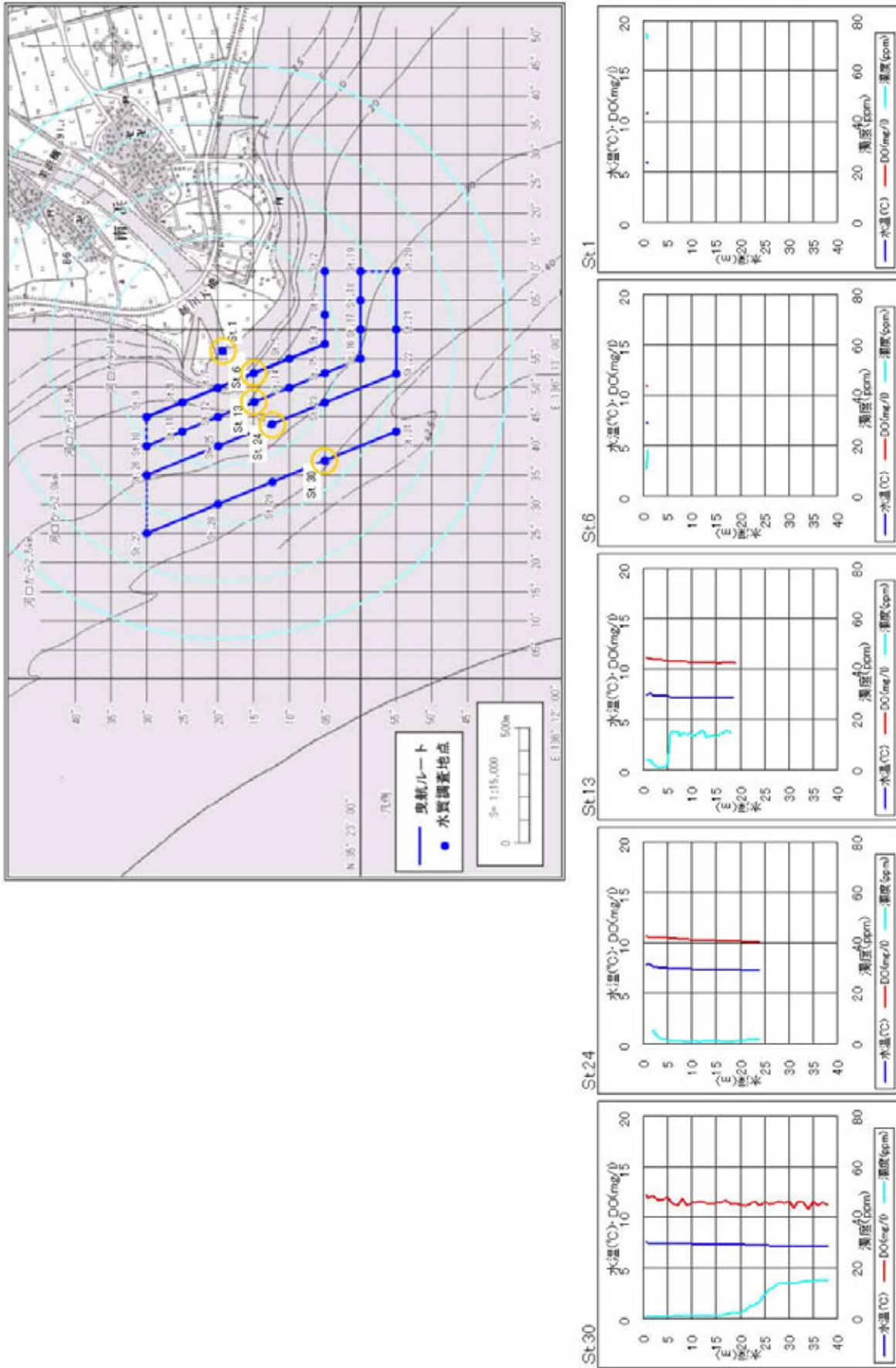


図 3.12.2 水温、濁度、DO の鉛直分布図（河口から湖心方向）



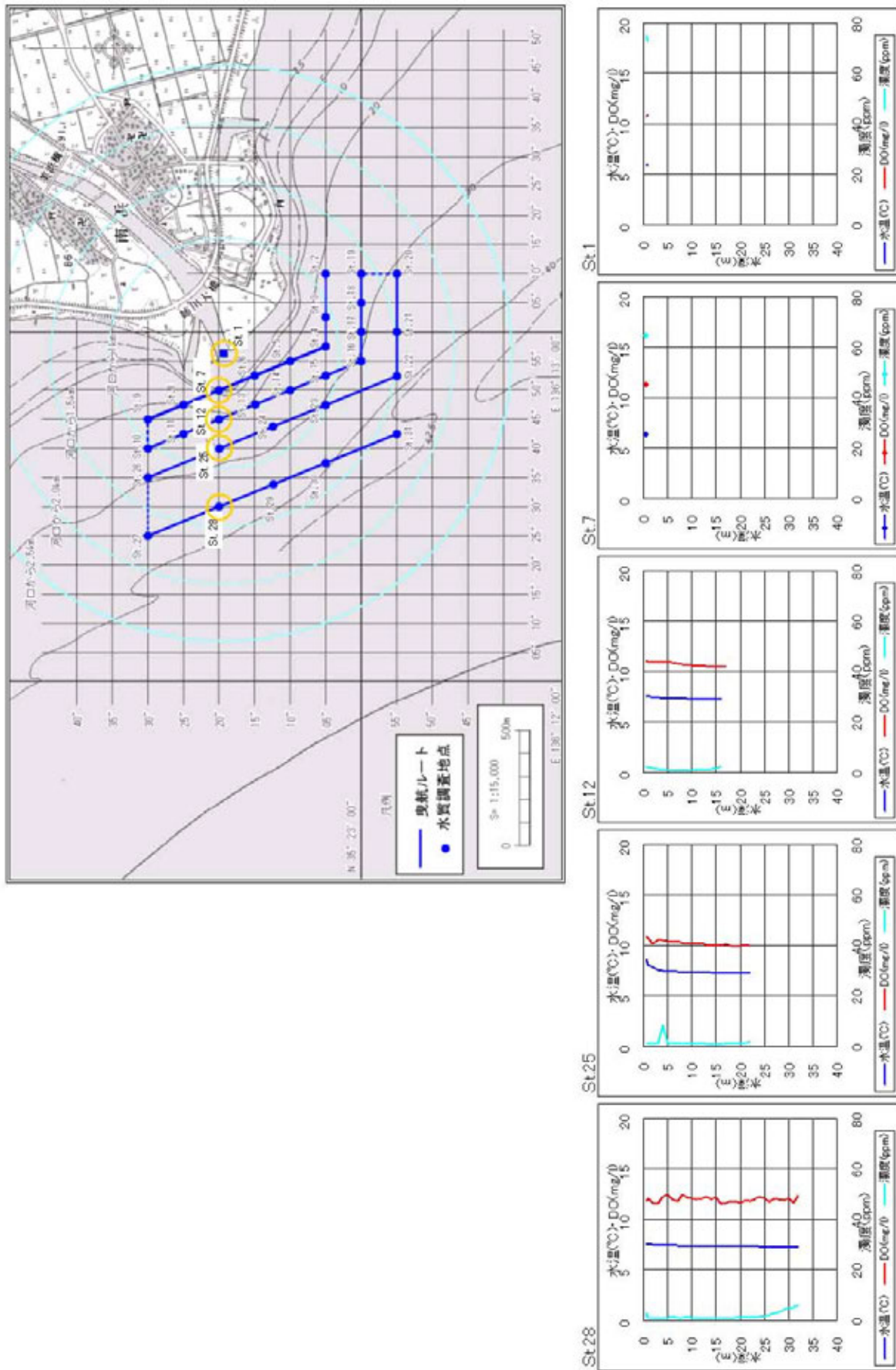


図 3.12.3 水温、濁度、DO の鉛直分布図（河口から西方向）



## 第1回調査結果（平成16年）

### （1）水質

#### ・水温

- ・姉川の河川水温は、約6.0 であり、琵琶湖表層（水深0.5m）の河口近傍では、6.4 から7.3 であった。その他の領域は、7.3 から9.1 であり、コンター形状から見て河口からおおむね300m程度の範囲で河川水の影響が見られた。
- ・水深10m以深では、いずれの測点も7.1 から7.5 であり、河口から500m程度の範囲内では、周辺より0.2 程度低温の領域があるが、それ以上の拡がりは見られなかった。
- ・主な測点について鉛直分布をみると、ある深さを境に濁度が大きく変化する箇所があるが、その上下を比較しても、水温の変化はほとんどみられない。

#### ・濁度

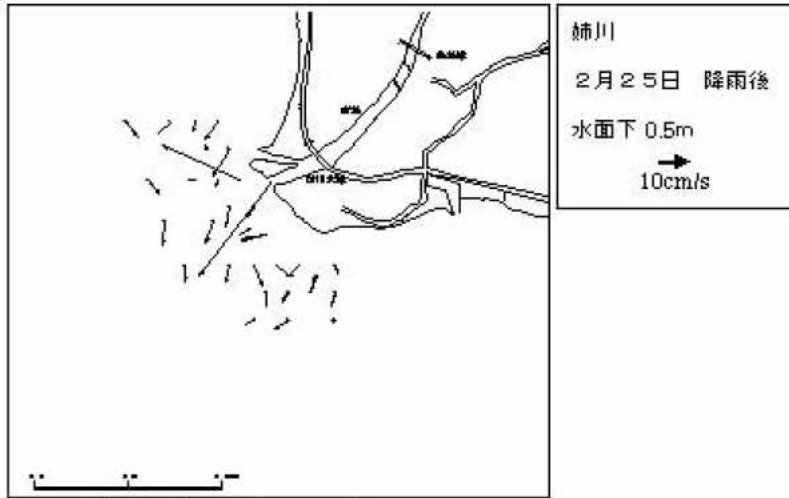
- ・河川は約75ppm、琵琶湖表層（水深0.5m）では河口付近から南方向へ濁度10から20ppmの領域がのびていた。
- ・水深10mでの濁度の拡がりとは表層と類似していた。
- ・水深20m以深では、20から40ppmの領域が南方向へのびていた。
- ・主な測点について鉛直分布をみると、ある深さを境に濁度が大きく変化する箇所がある。ただし、その深さは測点によって異なる。また、深さ方向の濁度の増減状況や最大値を示す深さも測点により差異がみられる。

#### ・溶存酸素

- ・主な測点について鉛直分布をみると、水温と同様の結果がみられる。すなわち、ある深さを境に濁度が大きく変化する箇所があるが、その上下を比較しても、溶存酸素の変化はほとんどみられない。

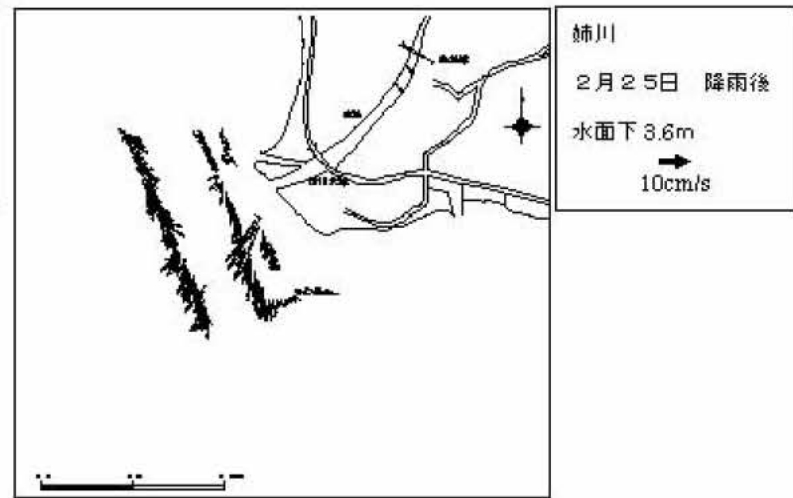
以上より、河川から流入した雪解け水は、濁度の高い領域としてはある程度まとまって存在しているが、その濁度の高い領域の水温および溶存酸素は、周囲の湖水とほとんど差がないことが示された。

定点観測

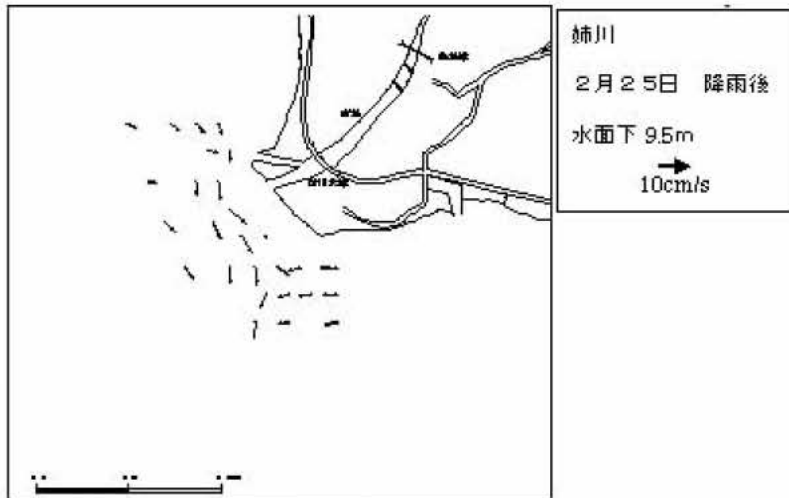


平面流況分布(0.5m)

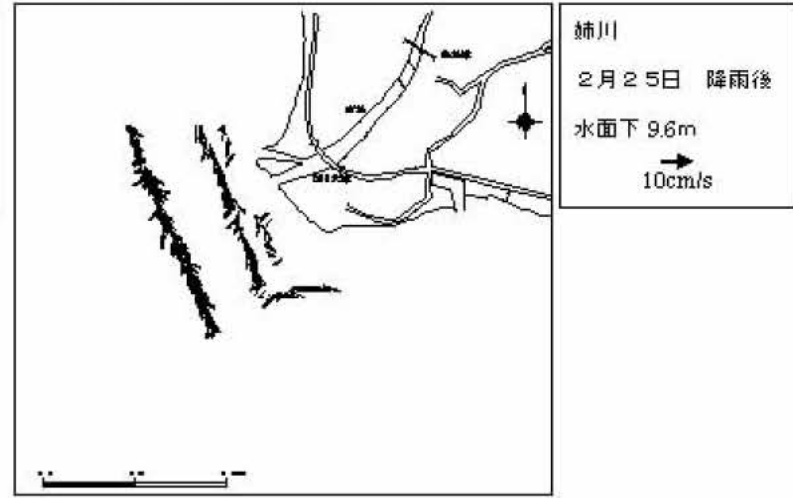
曳航観測



平面流況分布(3.6m)



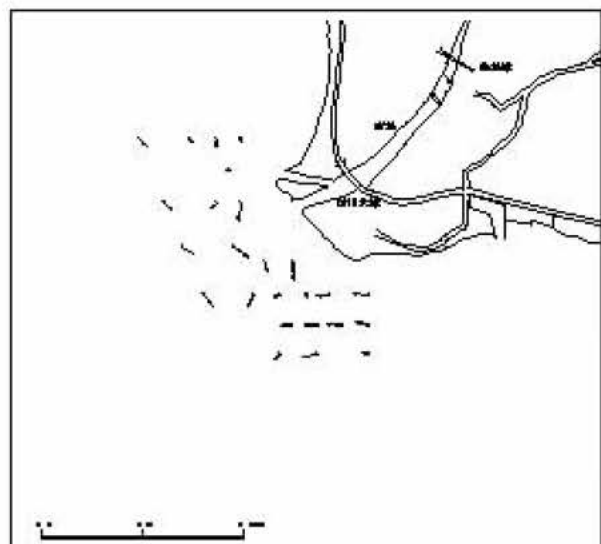
平面流況分布(9.5m)



平面流況分布(9.6m)

図 3.13.1 流向流速調査結果 (平成 16 年 2 月 25 日)

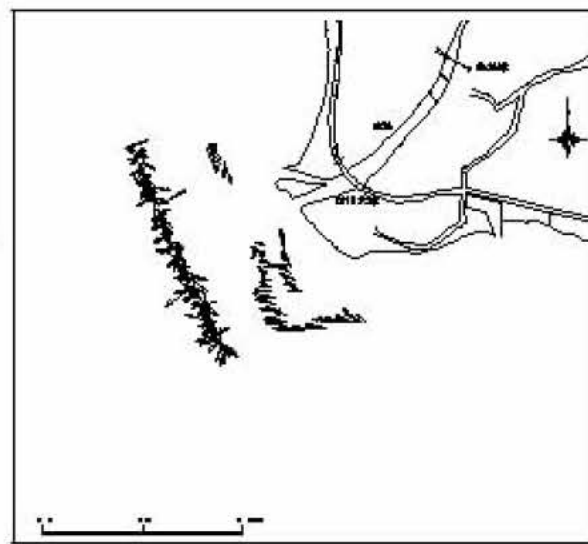
定点観測



姉川  
2月25日 降雨後  
水面下 19.5m  
→  
10cm/s

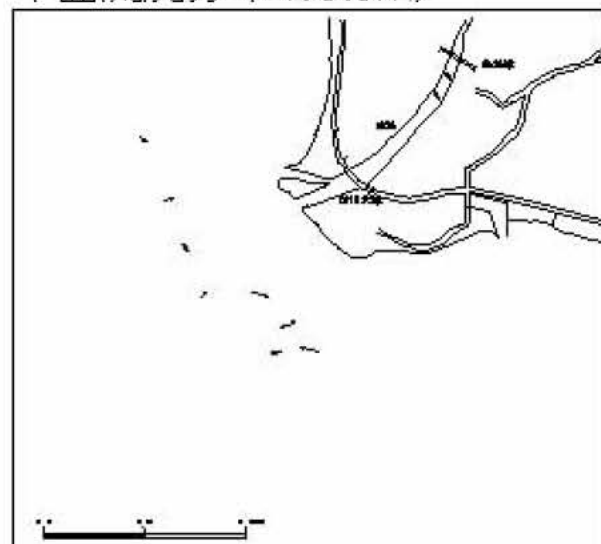
平面流況分布(19.5m)

曳航観測



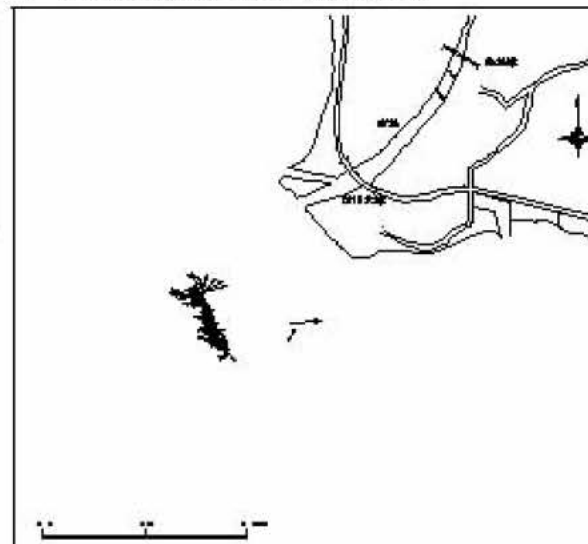
姉川  
2月25日 降雨後  
水面下 19.6m  
→  
10cm/s

平面流況分布(19.6m)



姉川  
2月25日 降雨後  
水面下 29.5m  
→  
10cm/s

平面流況分布(29.5m)



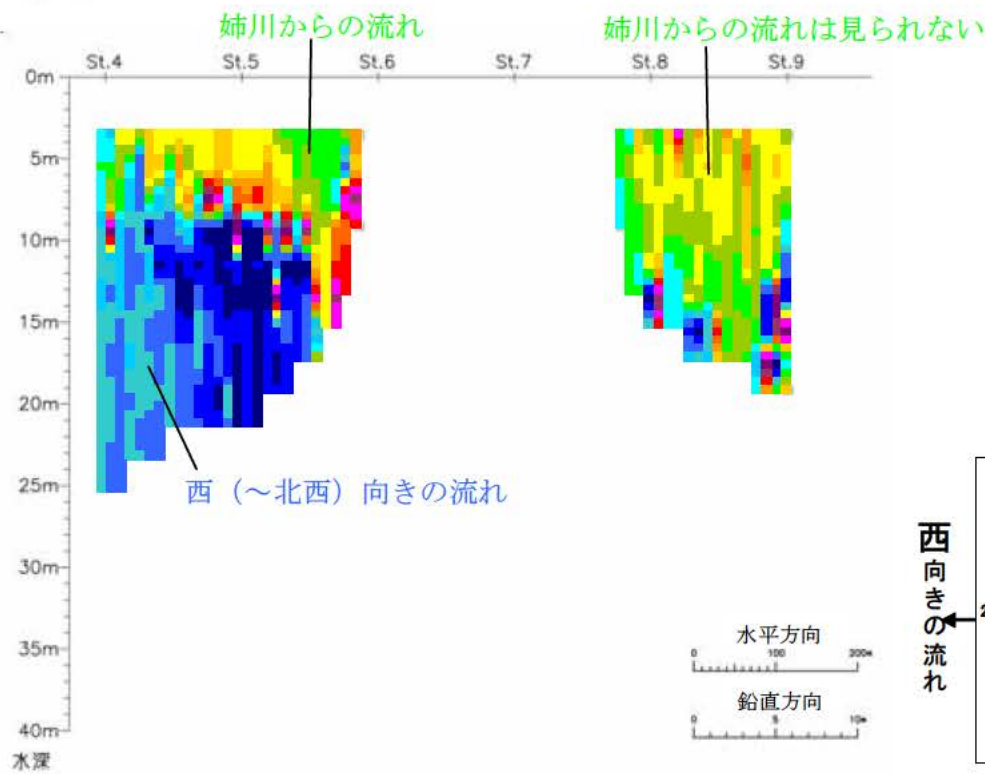
姉川  
2月25日 降雨後  
水面下 29.6m  
→  
10cm/s

平面流況分布(29.6m)

図 3.13.2 流向流速調査結果 (平成 16 年 2 月 25 日)



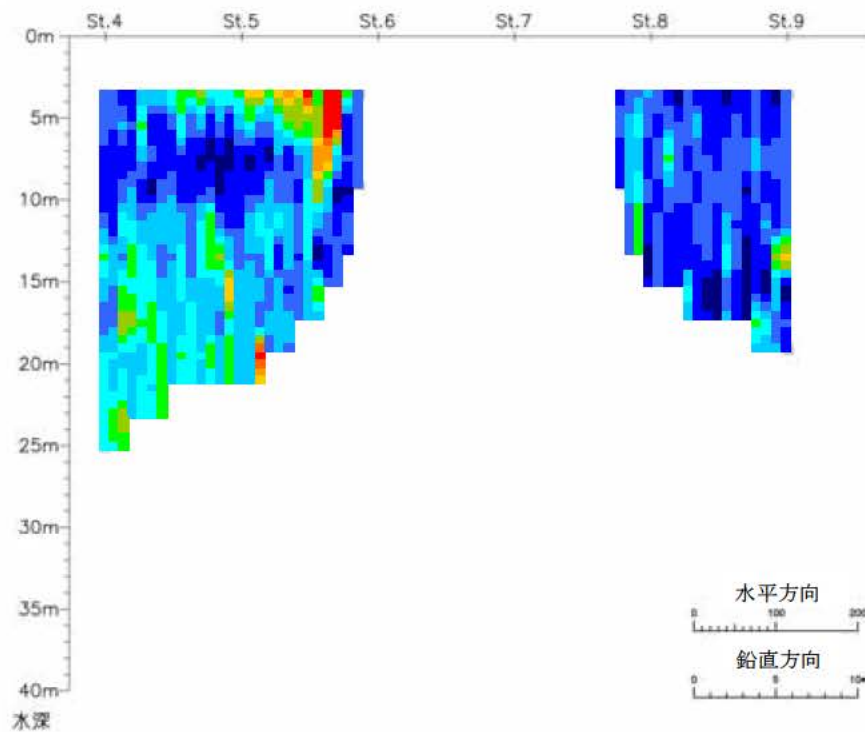
# 流向



姉川  
2月25日 降雨後  
層厚：0.5m



# 流速

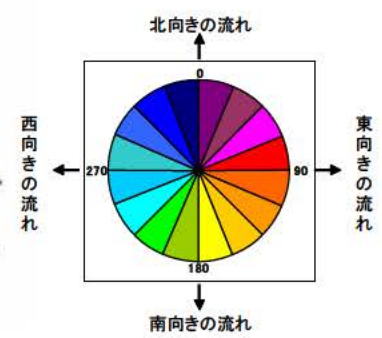
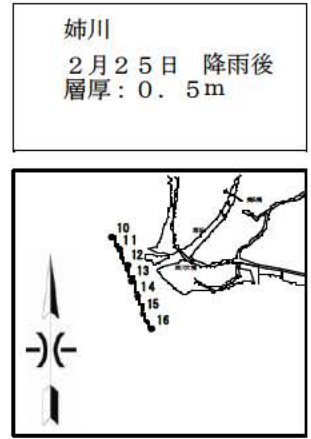
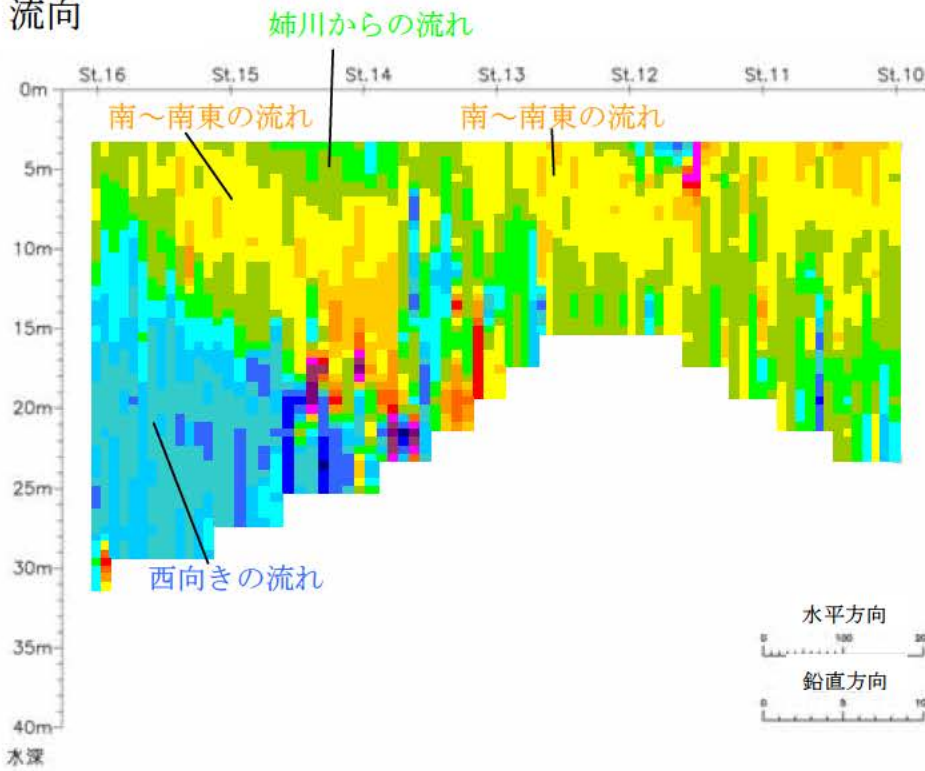


## 流速 着色凡例 (単位:cm/s)

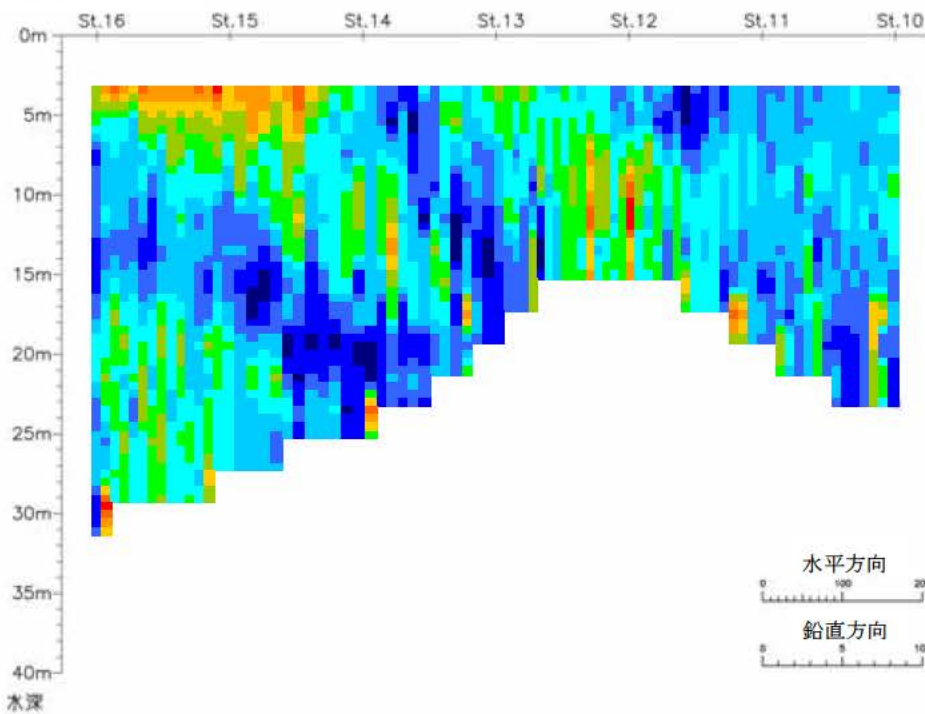
0.0 ~ 1.0	黒
1.1 ~ 2.0	青
2.1 ~ 3.0	水色
3.1 ~ 4.0	浅青
4.1 ~ 5.0	黄緑
5.1 ~ 6.0	緑
6.1 ~ 7.0	黄
7.1 ~ 8.0	オレンジ
8.1 ~ 9.0	赤
9.1 ~ 10.0	赤
10.1 ~	赤

図 3. 14. 1 曳航観測による流向・流速の鉛直分布（平成 16 年 2 月 25 日） ライン 4～9

# 流向



# 流速

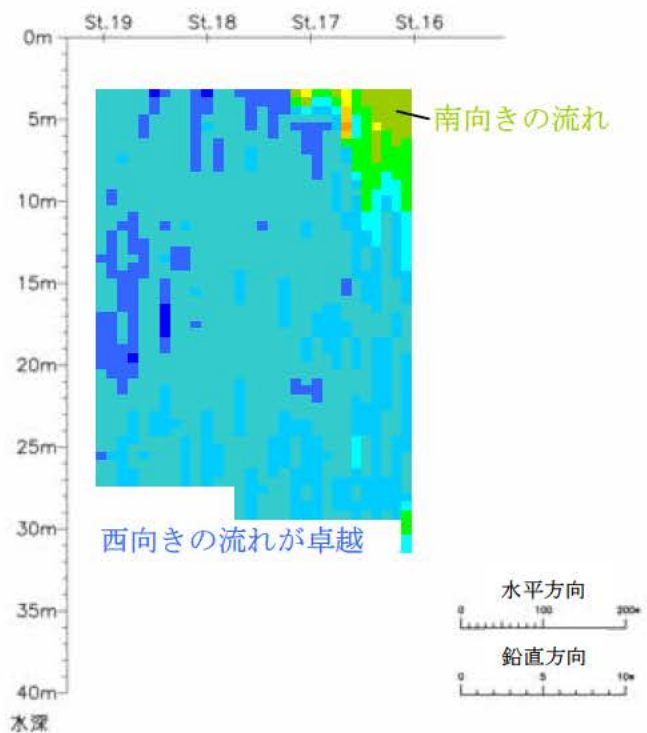


流速 着色凡例  
(単位:cm/s)

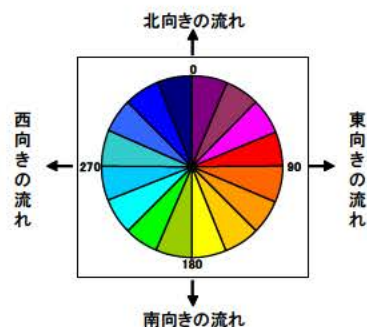
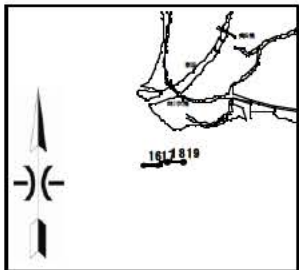
0.0 ~ 1.0	Dark Blue
1.1 ~ 2.0	Blue
2.1 ~ 3.0	Light Blue
3.1 ~ 4.0	Cyan
4.1 ~ 5.0	Light Green
5.1 ~ 6.0	Green
6.1 ~ 7.0	Yellow-Green
7.1 ~ 8.0	Yellow
8.1 ~ 9.0	Orange
9.1 ~ 10.0	Red-Orange
10.1 ~	Red

図 3.14.2 曳航観測による流向・流速の鉛直分布（平成 16 年 2 月 25 日） ライン 16～10

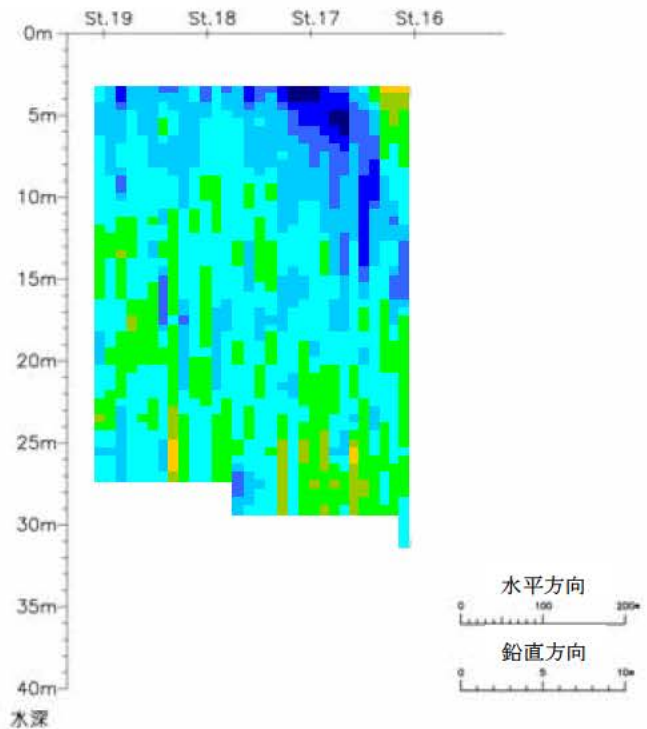
# 流向



姉川  
2月25日 降雨後  
層厚: 0.5m



# 流速



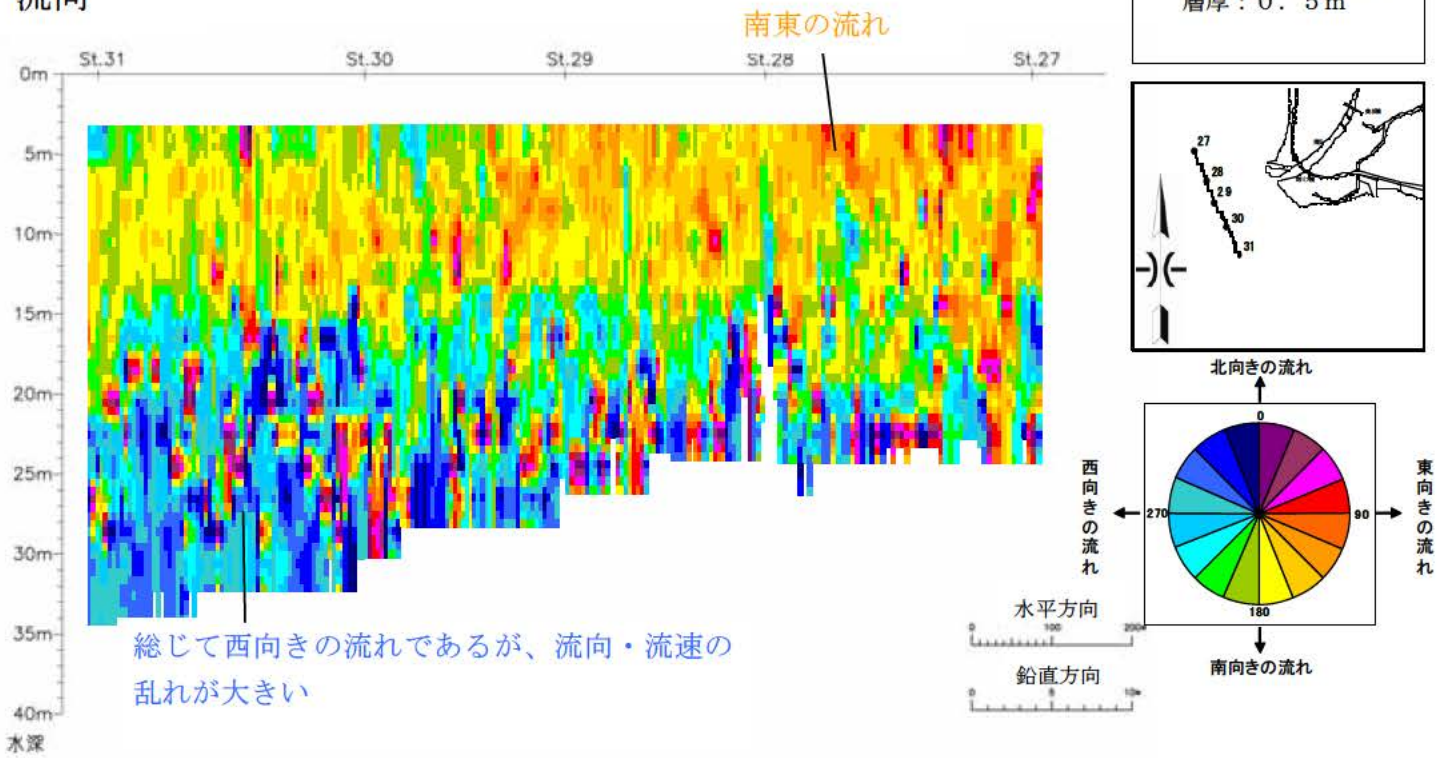
流速 着色凡例  
(単位: cm/s)

0.0 ~ 1.0	Dark Blue
1.1 ~ 2.0	Blue
2.1 ~ 3.0	Light Blue
3.1 ~ 4.0	Cyan
4.1 ~ 5.0	Green
5.1 ~ 6.0	Light Green
6.1 ~ 7.0	Yellow-Green
7.1 ~ 8.0	Yellow
8.1 ~ 9.0	Orange
9.1 ~ 10.0	Red-Orange
10.1 ~	Red

図 3.14.3 曳航観測による流向・流速の鉛直分布 (平成 16 年 2 月 25 日) ライン 19~16



# 流向



# 流速

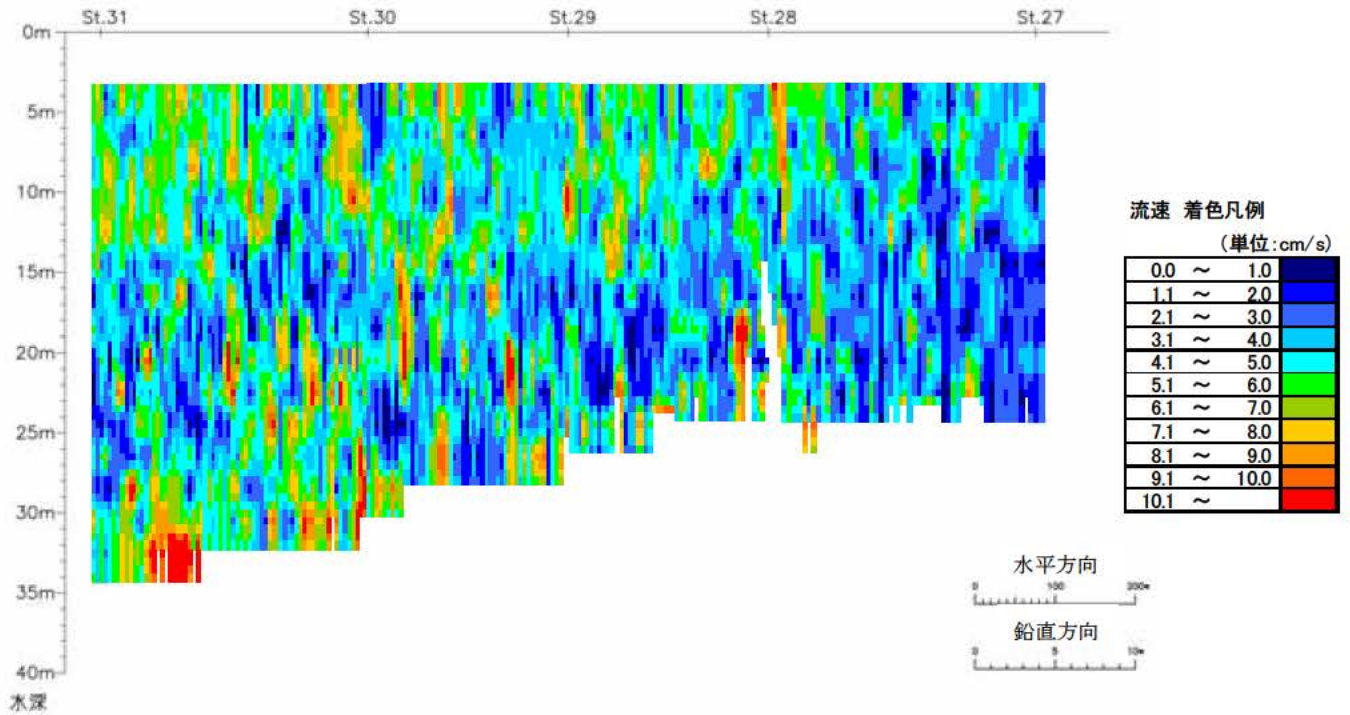
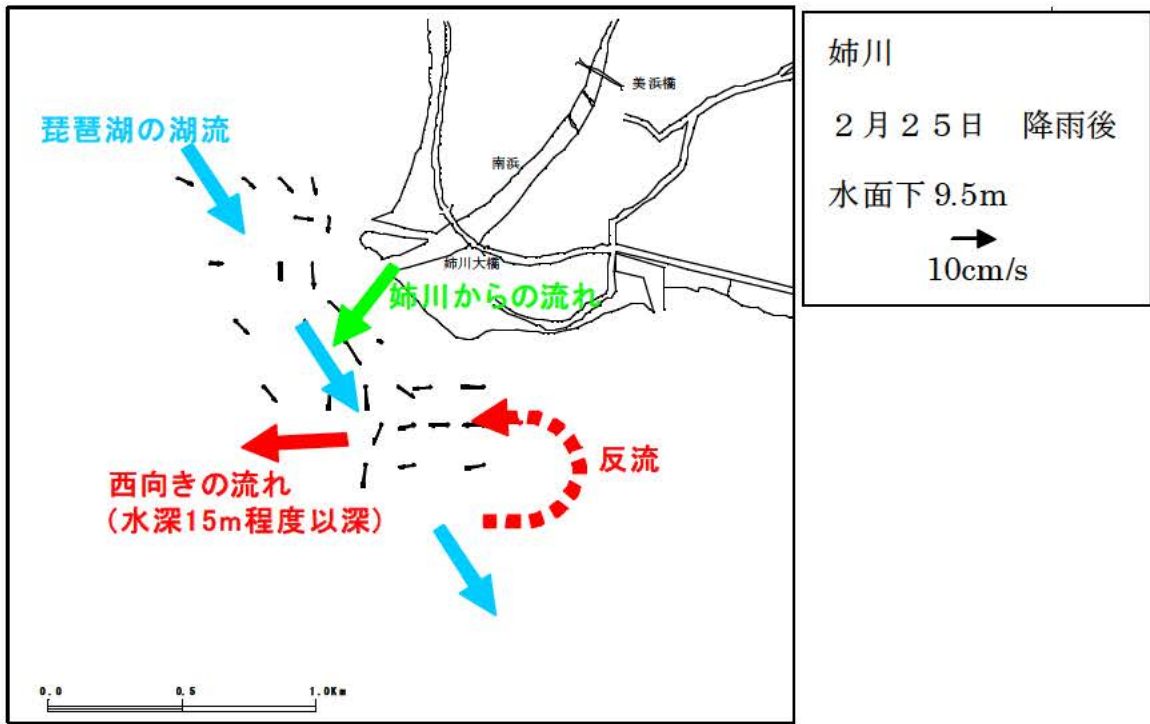


図 3.14.4 曳航観測による流向・流速の鉛直分布（平成 16 年 2 月 25 日） ライン 31～27





平面流況分布 (9.5m)

図 3.15 流向・流速のイメージ図

## 第1回調査結果（平成16年）

### （2）流向・流速

- ・ライン4～9（図3.14.1）、ライン16～10（図3.14.2）より

姉川からの流れは、南から南東向きの琵琶湖の流れで弱められ、測点13～15付近でかなり不明確になっている。

測点5～4，測点14～16の15m程度以深には西向きの流れがあるが、ライン16～19と合わせてみると、これは姉川からの流れによるものではなく、琵琶湖の南から南東向き流れにより河口南側に形成される西向きの反流によるものと考えられる。

- ・ライン19～16（図3.14.3）より

このラインでは全深度を通じ西向きで流速もおおむね一様である。琵琶湖の南から南東向きの大きな流れにより河口の南側に形成される西向きの反流によるものと考えられる。

- ・ライン31～27（図3.14.4）より

流向・流速は局所的に大きくばらついており、ライン10～16のようなある程度まとまった流れの傾向は見られない。

ライン30～31間の20m以深では総じて西向き流れが多いが、ライン15～16と比較すると流向・流速ともに明らかに乱れている。すなわち、ライン15～16に見られる西向きの流れは、そのまま琵琶湖の湖心に向かう流れとはいえない。

以上より、姉川から琵琶湖の湖心方向への明確な流れは見られなかった。

第1回調査では濁度の拡散範囲の境界を明確にとらえられなかったため、第2回調査では範囲を広げて追跡調査を実施した。

### 3.3 第2回現地調査結果（濁水追跡調査）

図 3.16 に第2回調査の位置図、調査前日の航空写真を示す。

第2回調査は濁水の拡散範囲を確認するため、調査位置は固定せずに、濁水が確認されなくなるまでの点（5pm 以下）まで観測した。

ADCP 調査（流向・流速）は、水面下 0.5m から 2.0m 層厚で湖底上 2.0m まで。内 0.5m、1.5m は電磁流速計、3.5m 以深は ADCP を使用して測定した。

水質調査（水温、濁度、溶存酸素、クロロフィル a、電気伝導度）は、全 25 地点、各地点での測定層は水深 1m、5m、以下 5m 間隔で底面まで測定した。ただし、濁度に顕著な変化点がある場合はその間を 1m 間隔で測定した。

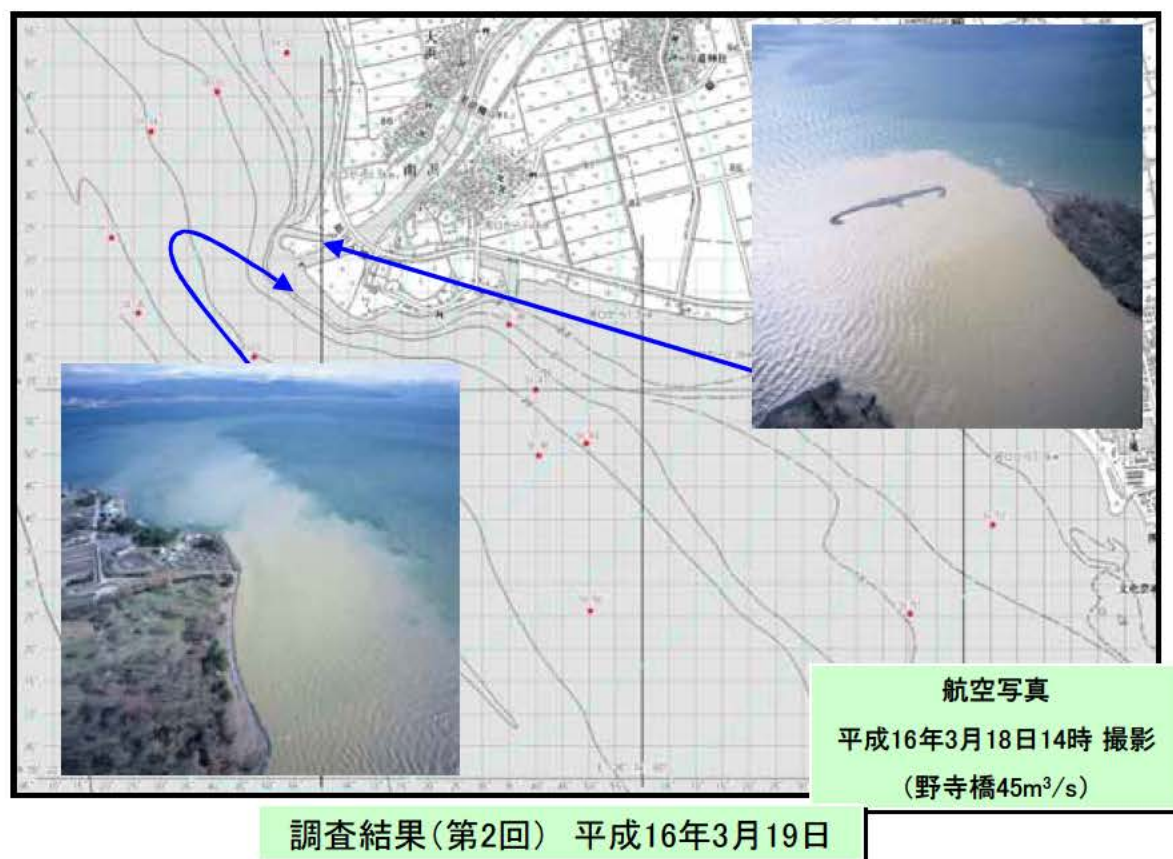
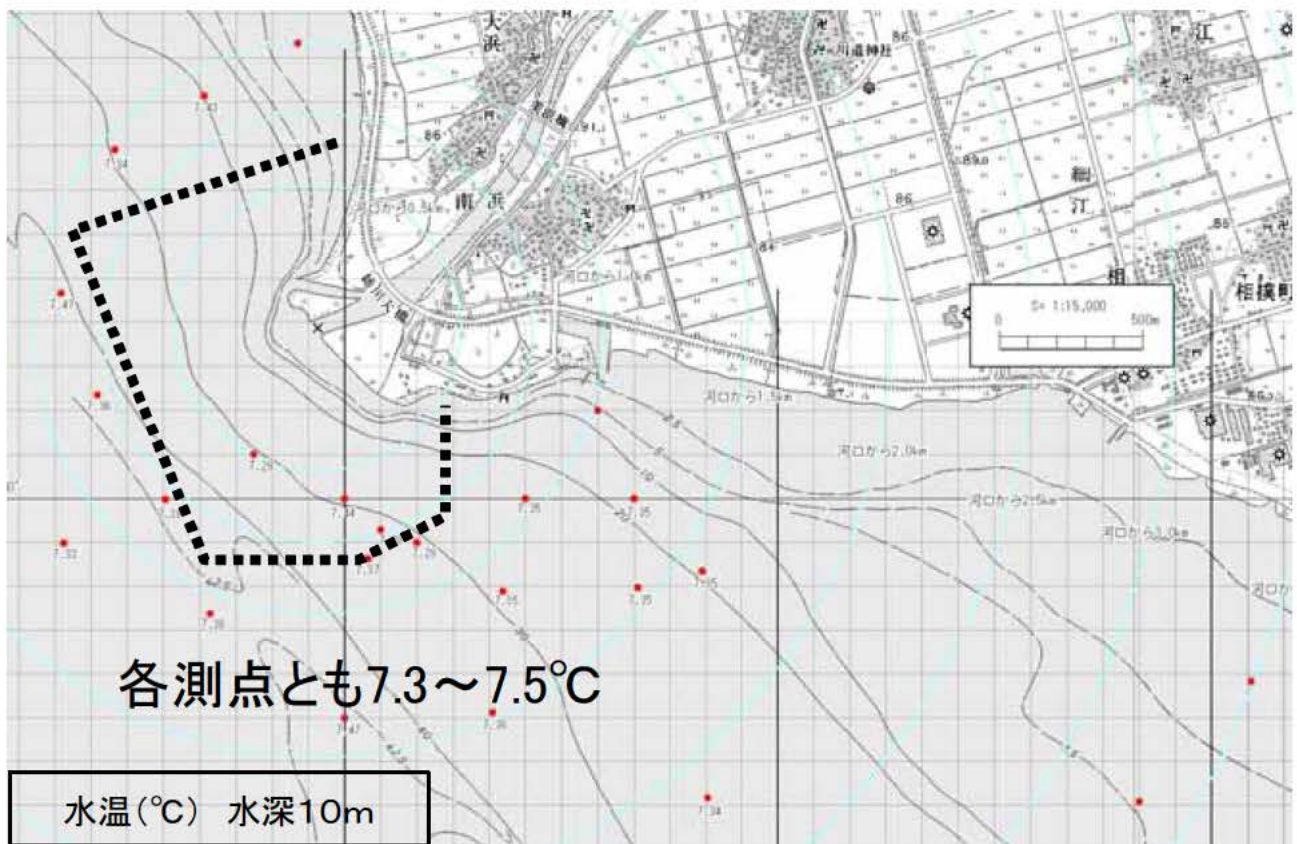
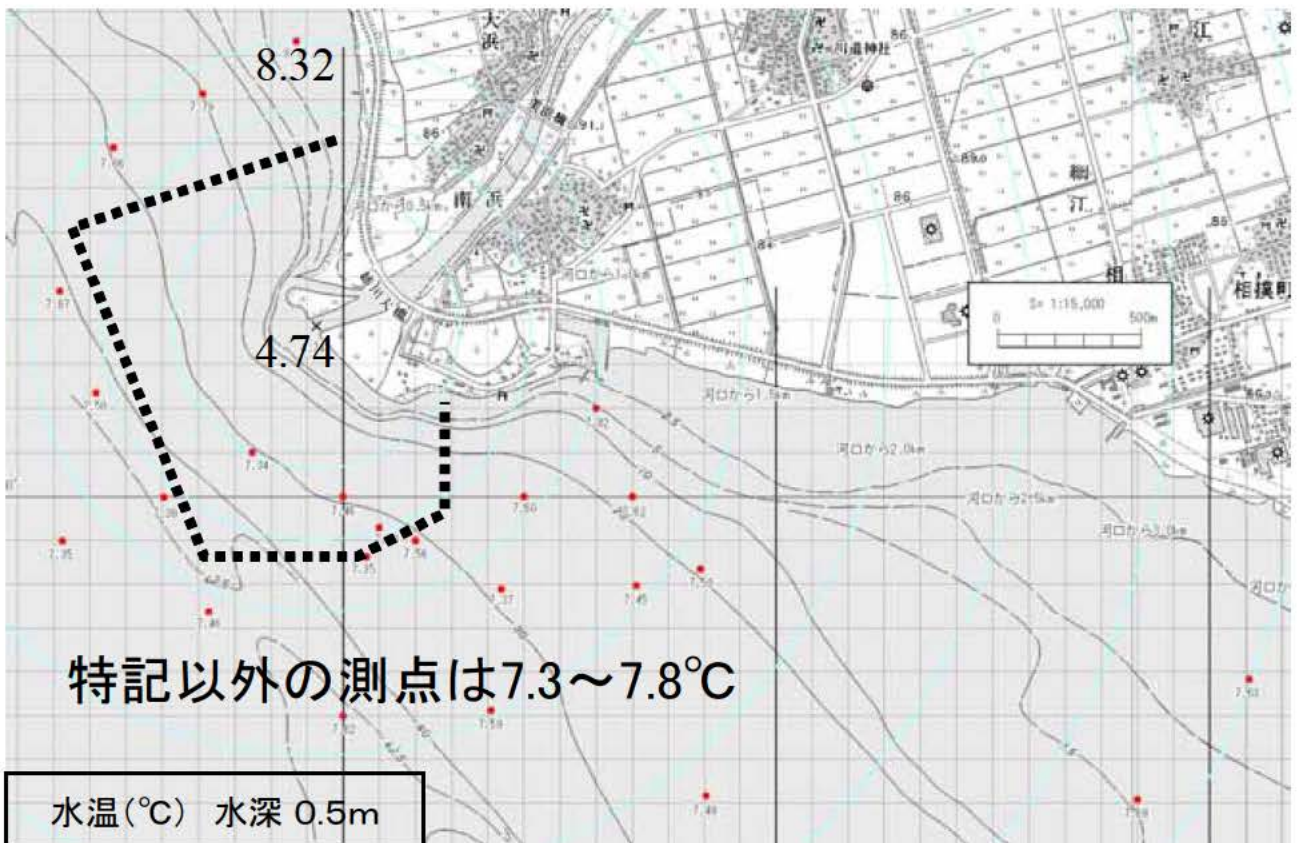


図 3.16 第2回調査位置図（平成 16 年 3 月 19 日）

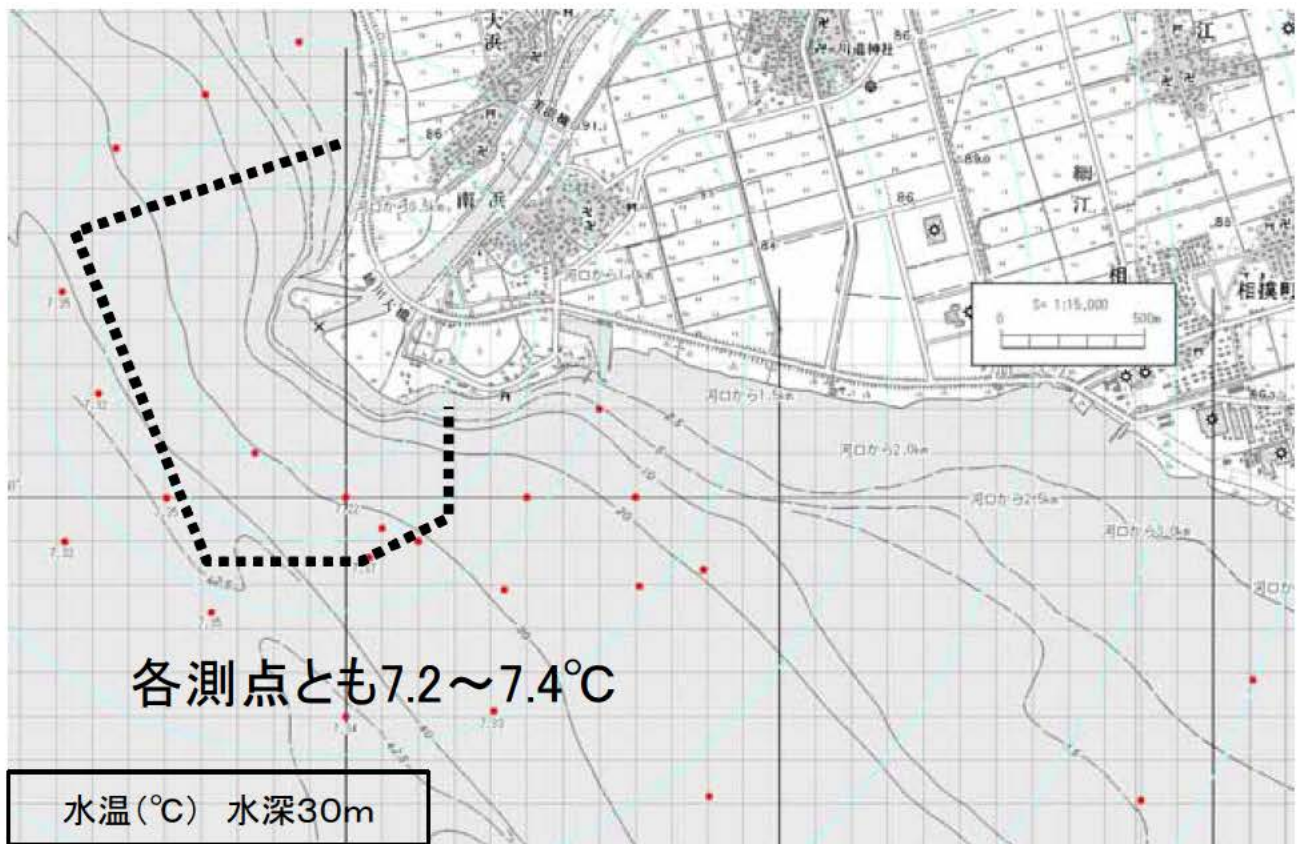
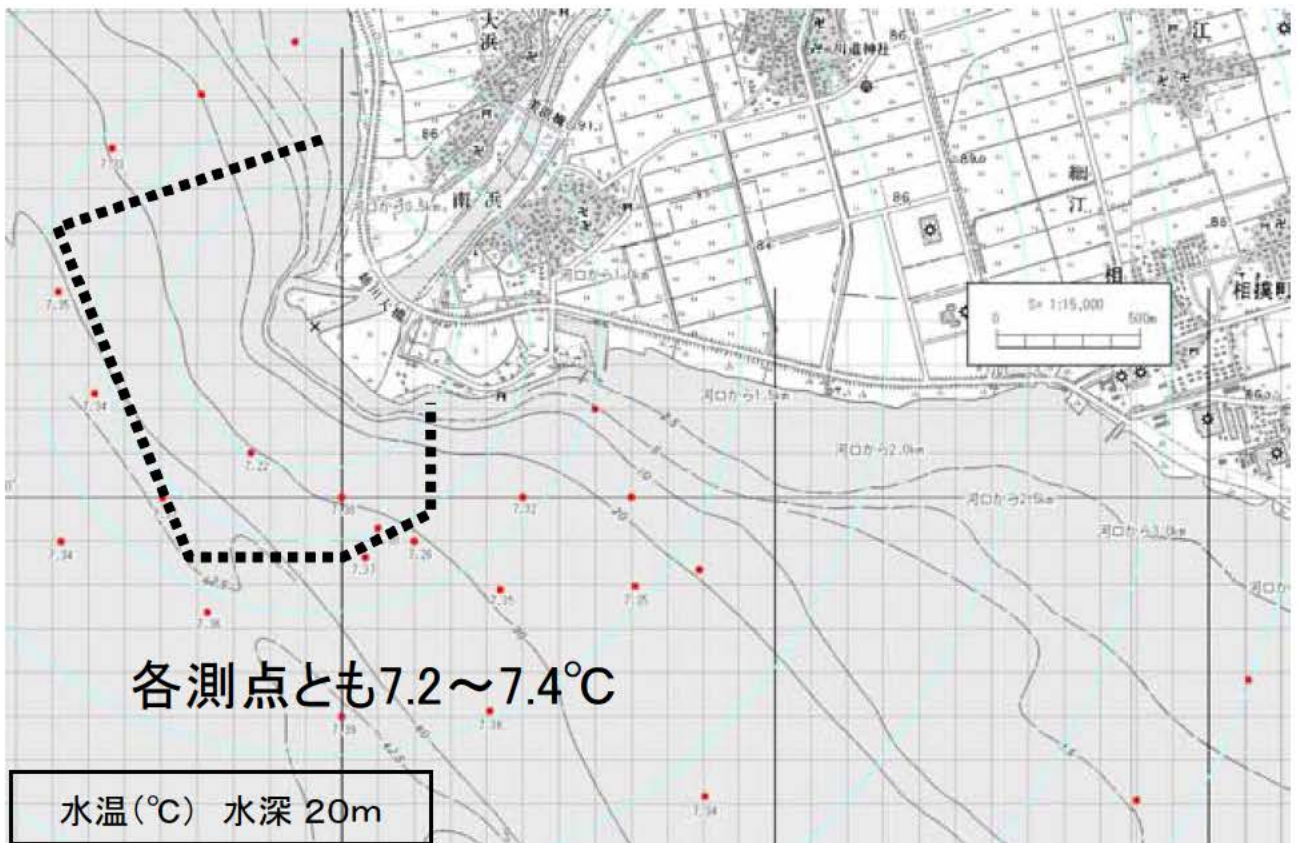




凡例：点線は第1回調査範囲  
赤点は第2回調査測点

図 3.17.1 第2回現地調査結果（水温の水深毎の平面分布）



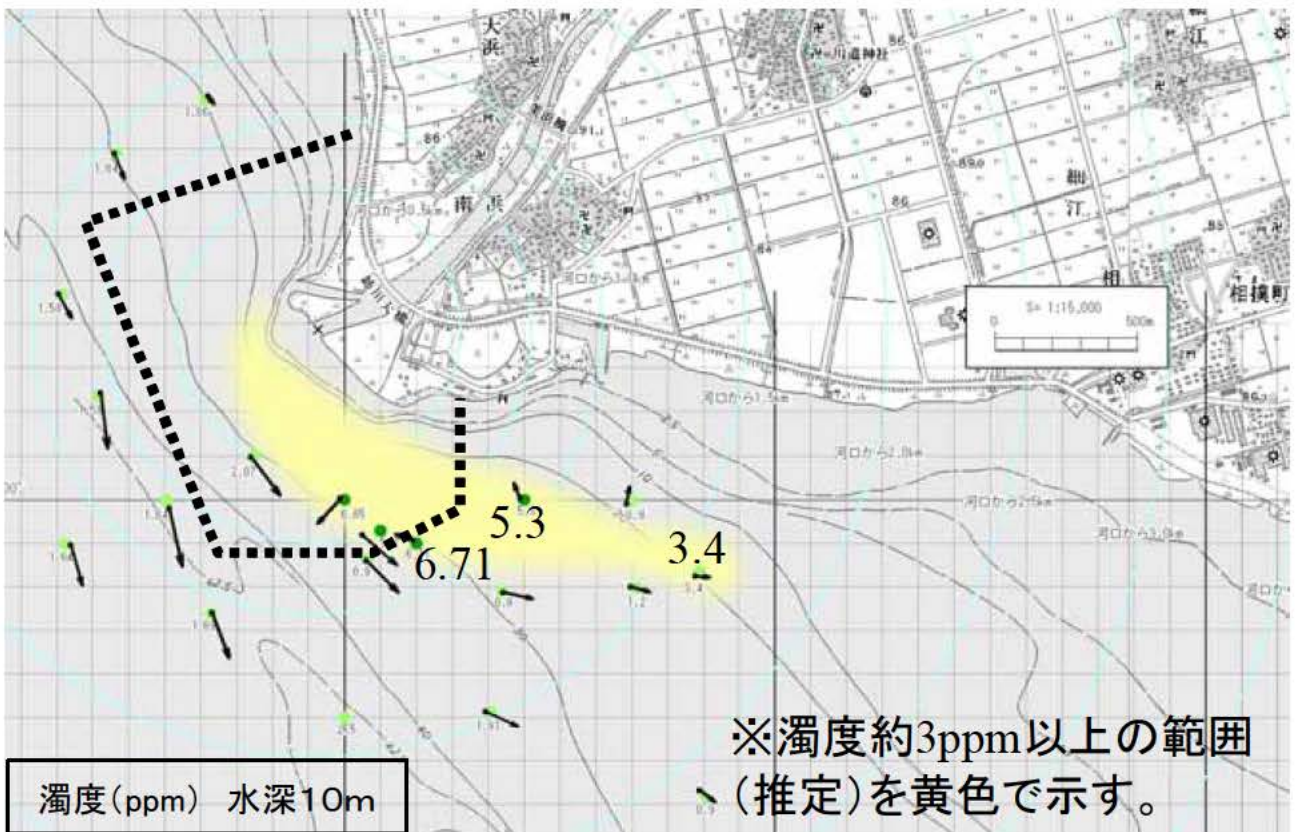
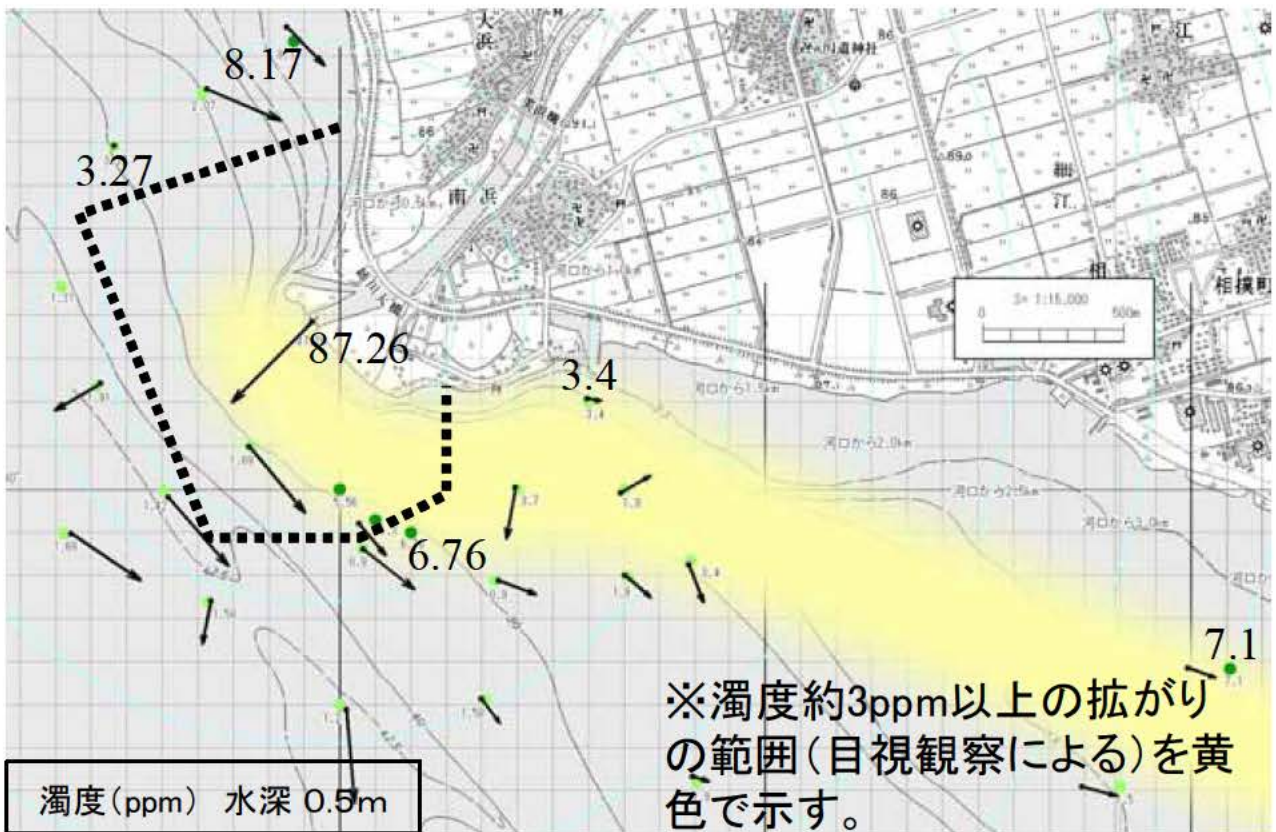


凡例：点線は第1回調査範囲

赤点は第2回調査測点

図 3.17.2 第2回現地調査結果（水温の水深毎の平面分布）



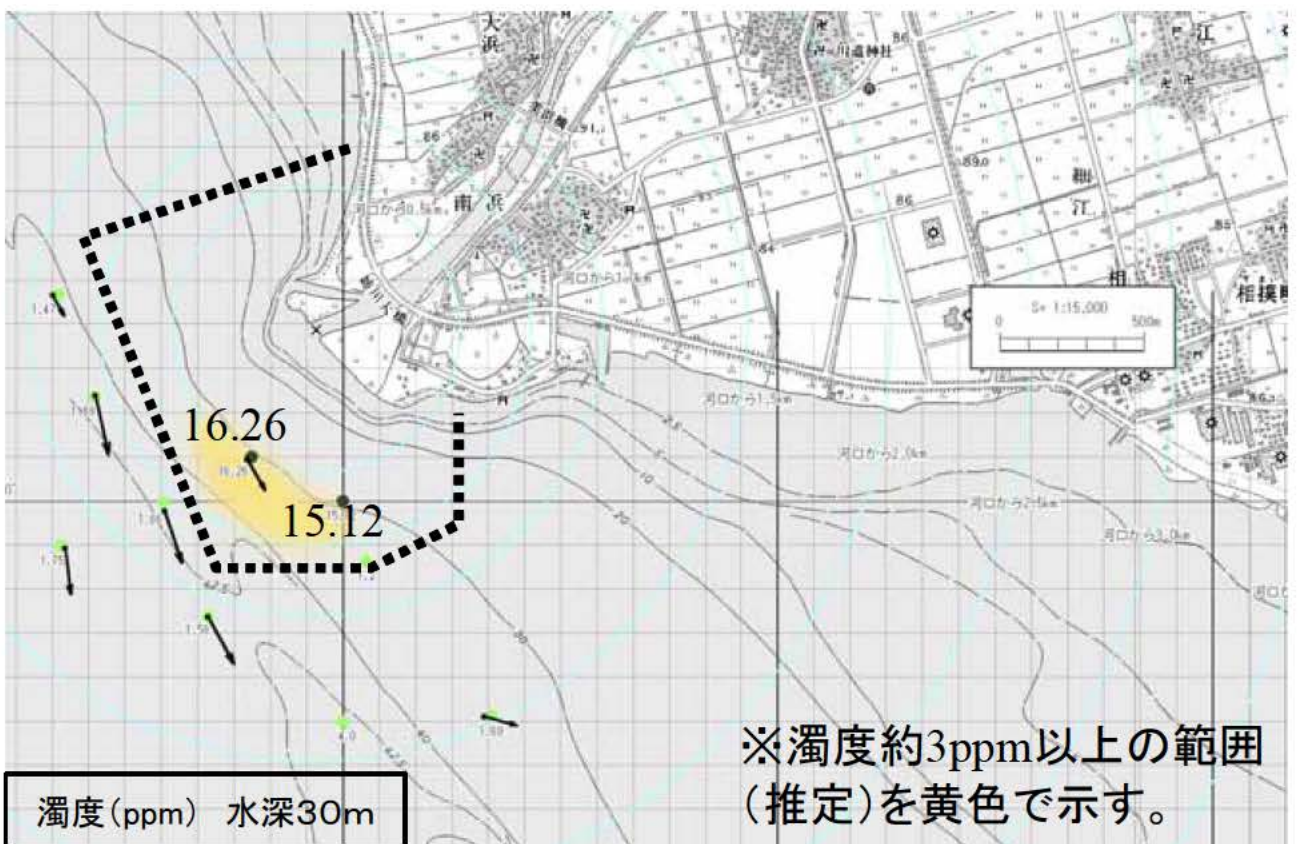
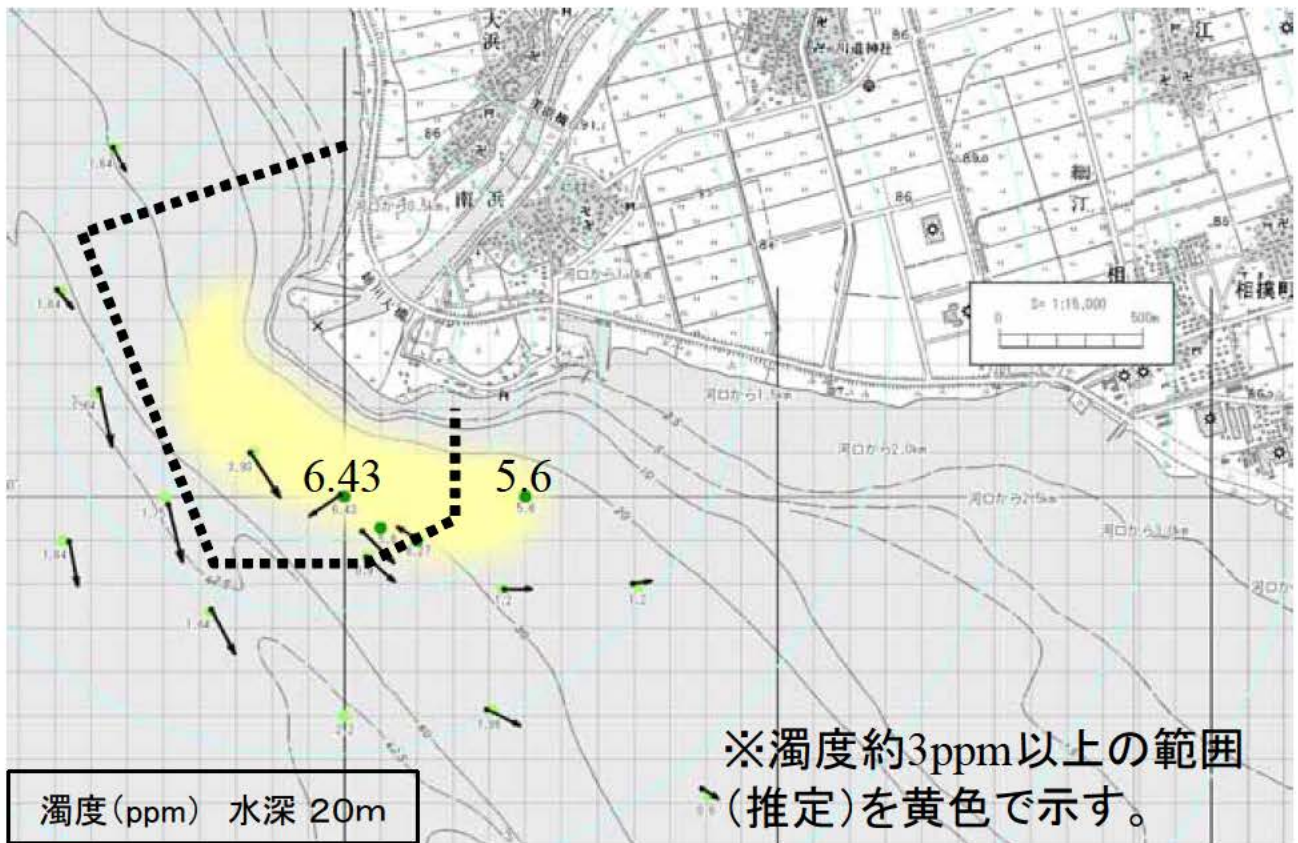


凡例：点線は第1回調査範囲

緑点は第2回調査測点

図 3.18.1 第2回現地調査結果(濁度・流速ベクトルの水深毎の平面分布)





凡例：点線は第1回調査範囲

緑点は第2回調査測点

図 2.18.2 第2回現地調査結果（濁度・流速ベクトルの水深毎の平面分布）



## 第2回調査結果（平成16年）

- ・水温
  - ・姉川の河川水温は約4.7であり、琵琶湖表層（水深0.5m）の河口から500m以遠では7.3から8.3であり、河川水の影響は見られなかった。
  - ・水深10m以深では、いずれの測点も7.2から7.5であり、明確な低水温域の拡がりは見られなかった。
- ・濁度
  - ・河川は約90ppm、琵琶湖表層（水深0.5m）では、水深10mより浅い水域を河口付近から東南東方向へ3.5kmの範囲にわたり、濁度3から7ppm程度の領域がのびていた。
  - ・水深10m以深の濁度の拡がり、表層での濁度の拡がりの方向と一致し、限られた範囲にとどまっていた。
  - ・水深30mでは、濁度約15ppm程度の水深20mよりもやや高い高濁度地点が見られた。ただし、周辺への拡がりは見られなかった。
- ・流向・流速
  - ・姉川から琵琶湖の湖心方向への明確な流れは見られなかった。

#### 4. 姉川河口部流動・水質数値解析（3次元水理・水質モデルによる解析）

##### 4.1 数値解析条件

本解析計算においては、姉川河口部からの密度流を再現する必要性および琵琶湖における溶存酸素濃度低下現象への影響を評価する必要から、河川からの密度流の再現性に優れた非静水圧の3次元富栄養化解析モデルを用い、以下の入力条件で解析を行う。

##### （1）対象期間

モデルの検証および現象把握のための概略予測として実施する現況再現計算の対象期間としては、融雪出水の現地観測が行われた平成14年3月28日の前後とし、平成14年1～6月の6ヶ月とする。

##### （2）計算格子サイズ

###### 1) 水平方向格子

琵琶湖全域計算

琵琶湖全域を500m格子に分割し、半年間にわたる琵琶湖全域への影響について計算を行う

河口部近傍計算

姉川河口部について、水平方向格子100mとして、一定期間における流入の影響について計算を行う。

###### 2) 鉛直方向格子

鉛直方向格子サイズについては、全計算条件について、格子サイズ2m、格子数最大53セル（最大水深106m）にて計算を行う。

##### （3）初期条件・流入河川条件

###### 1) 初期条件

琵琶湖・姉川河口部の平面・水深方向の初期水質分布は、水温、溶存酸素、濁度のデータは滋賀県（琵琶湖研究所）の1月の実測データ（今津沖中央）を与える。

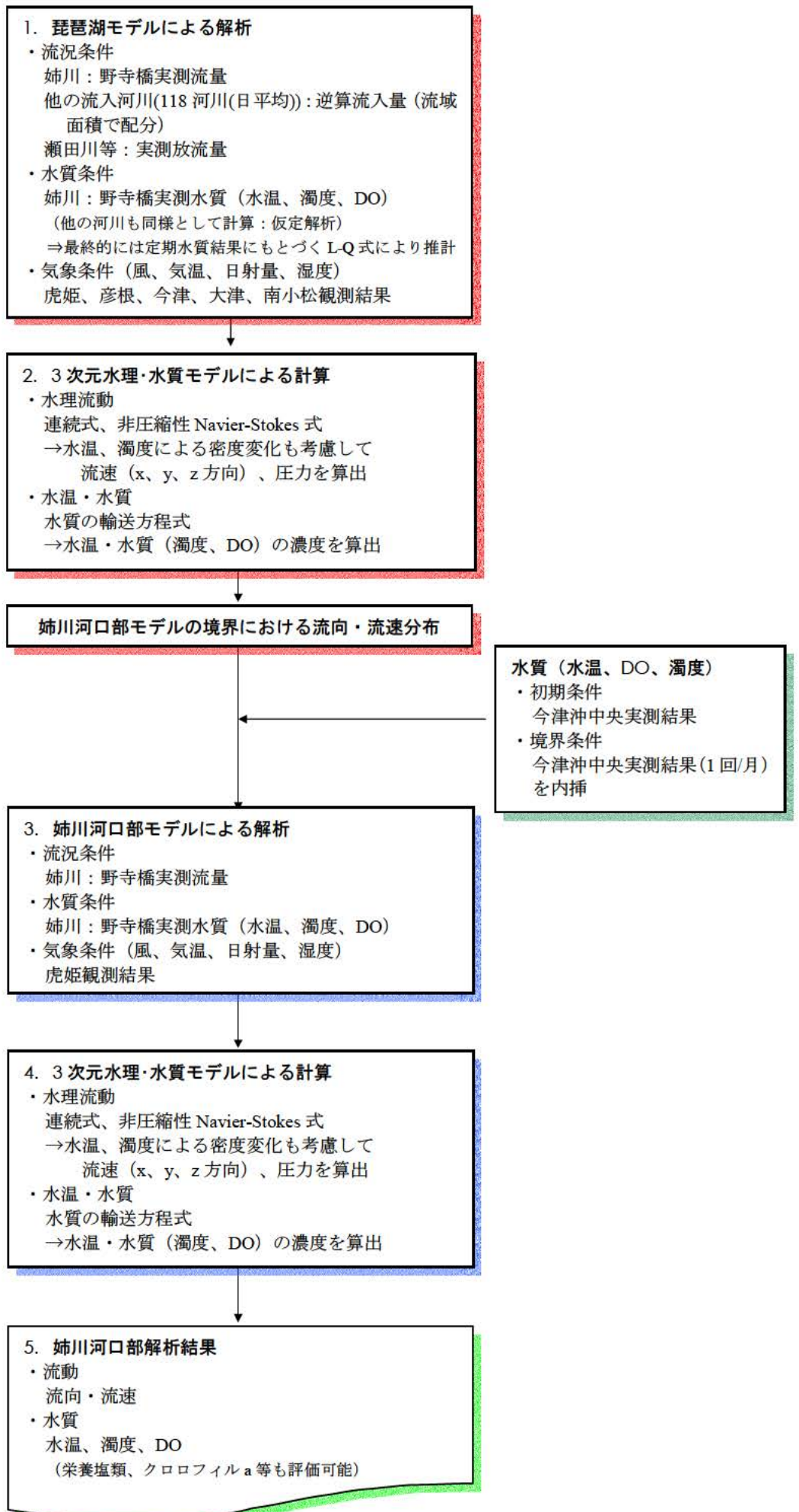


図4.1.1 解析条件・結果の概略フロー



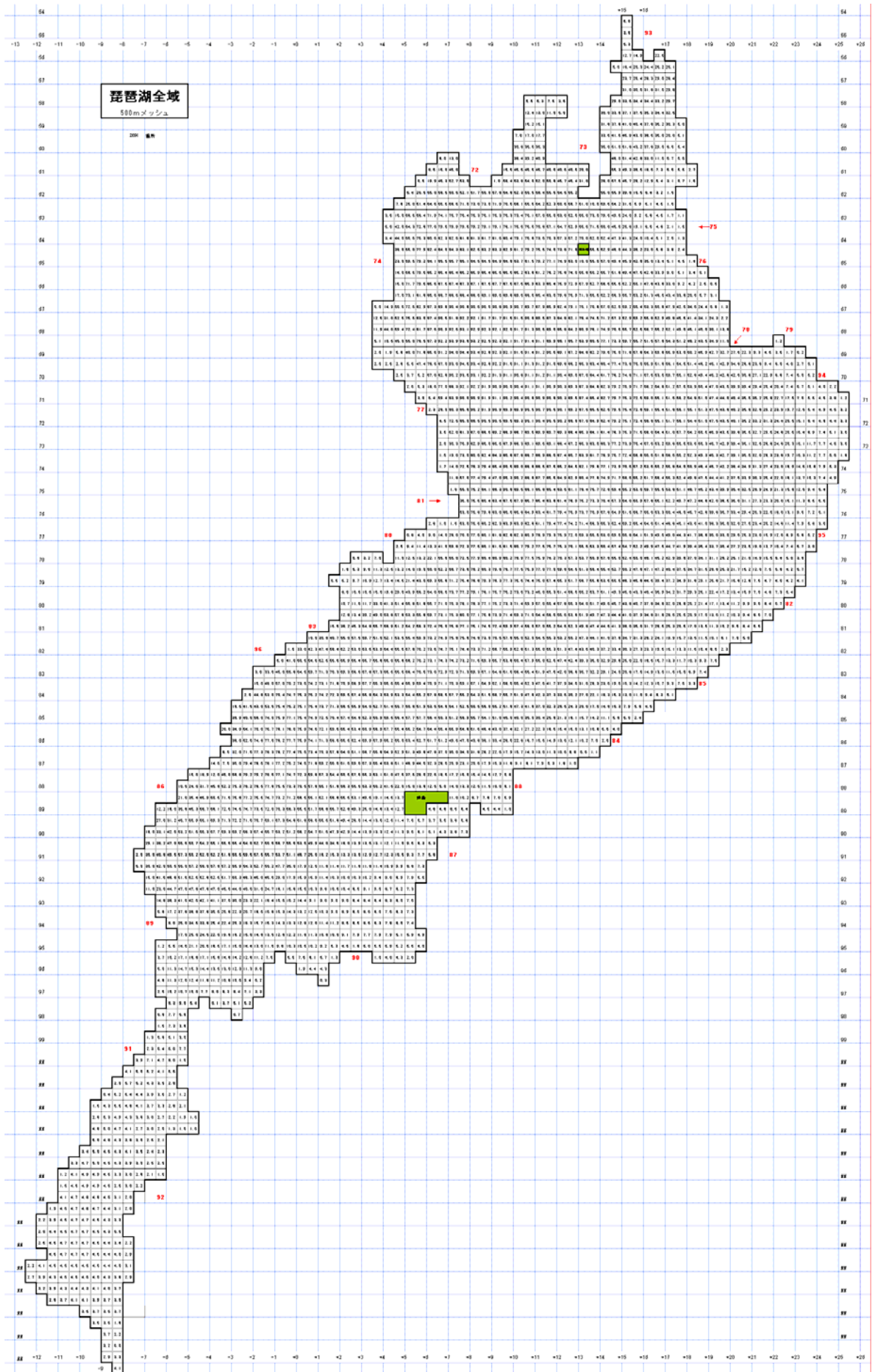


図 4.1.2 琵琶湖メッシュ分割図 (500m 区画)

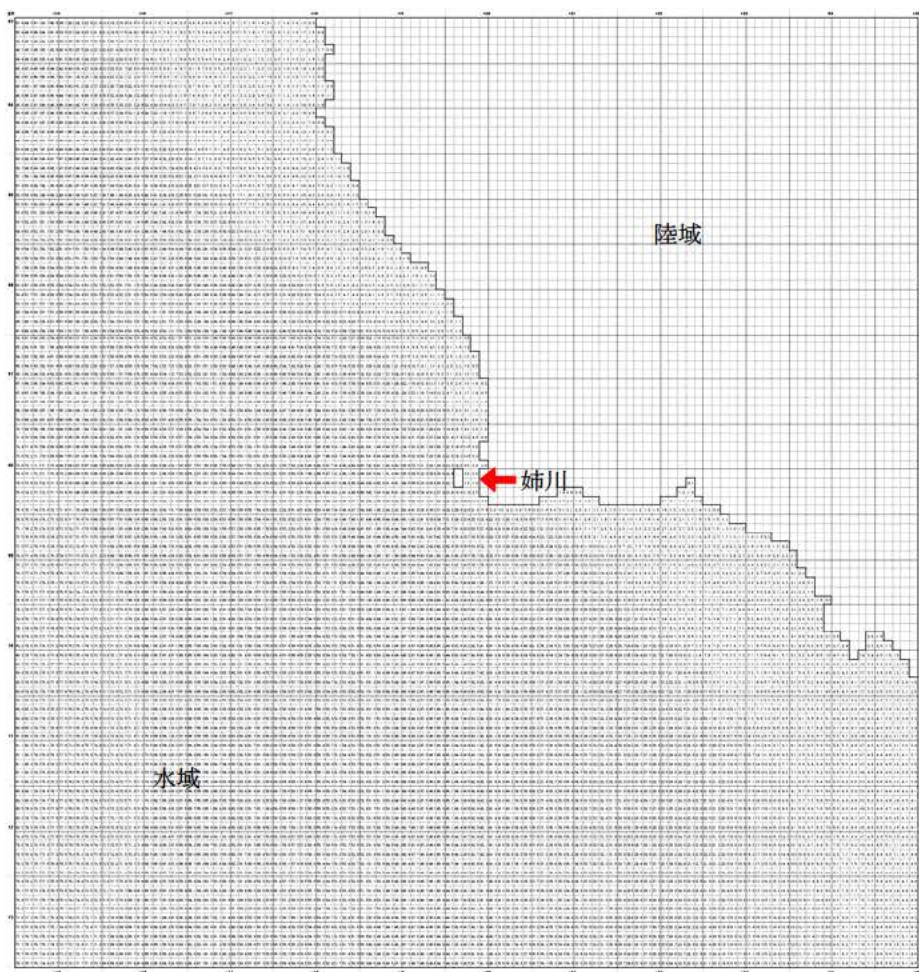
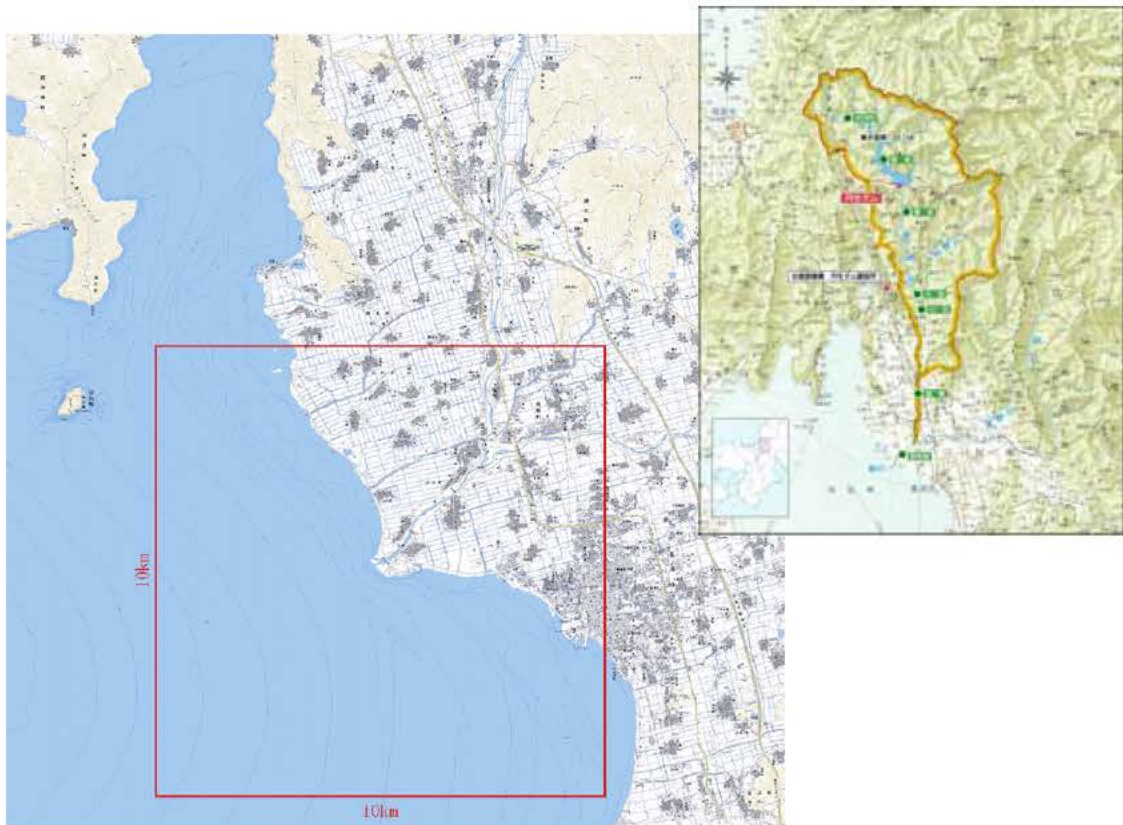


図 4.1.3 姉川河口部地形図と表層メッシュ分割図 (100m 区画)

## 2) 流入河川条件

### 姉川

#### a) 流量

野寺橋の実測流量（毎正時）を入力条件として付与する。また、境界の流速条件としては、姉川における流量データを、砂州をはさんで北向き 20%南向き 80%の割合で配分を行った。

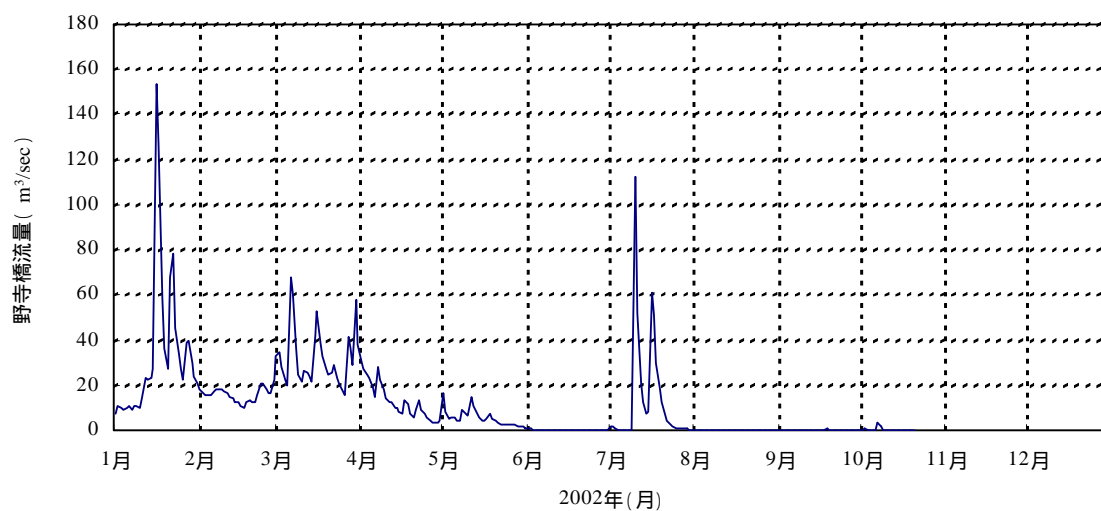


図4.1.4 野寺橋地点の実測流量

#### b) 水質

野寺橋の実測水質（水温、濁度）を入力条件として付与する。

#### 他の流入河川（118 河川）

琵琶湖への他の流入河川については逆算流入量から算定した流量を条件を与えられるモデルではあるが、琵琶湖全体の計算は姉川河口部周辺の境界条件を設定するためのものとして、ここでは姉川以外の流入河川は考慮していない。



### (3) 気象データ

姉川河口部については、対象水域近傍の虎姫地点の気象データ（降水量、気温、日照時間（日射量）：日平均）を入力条件として付与する。なお、

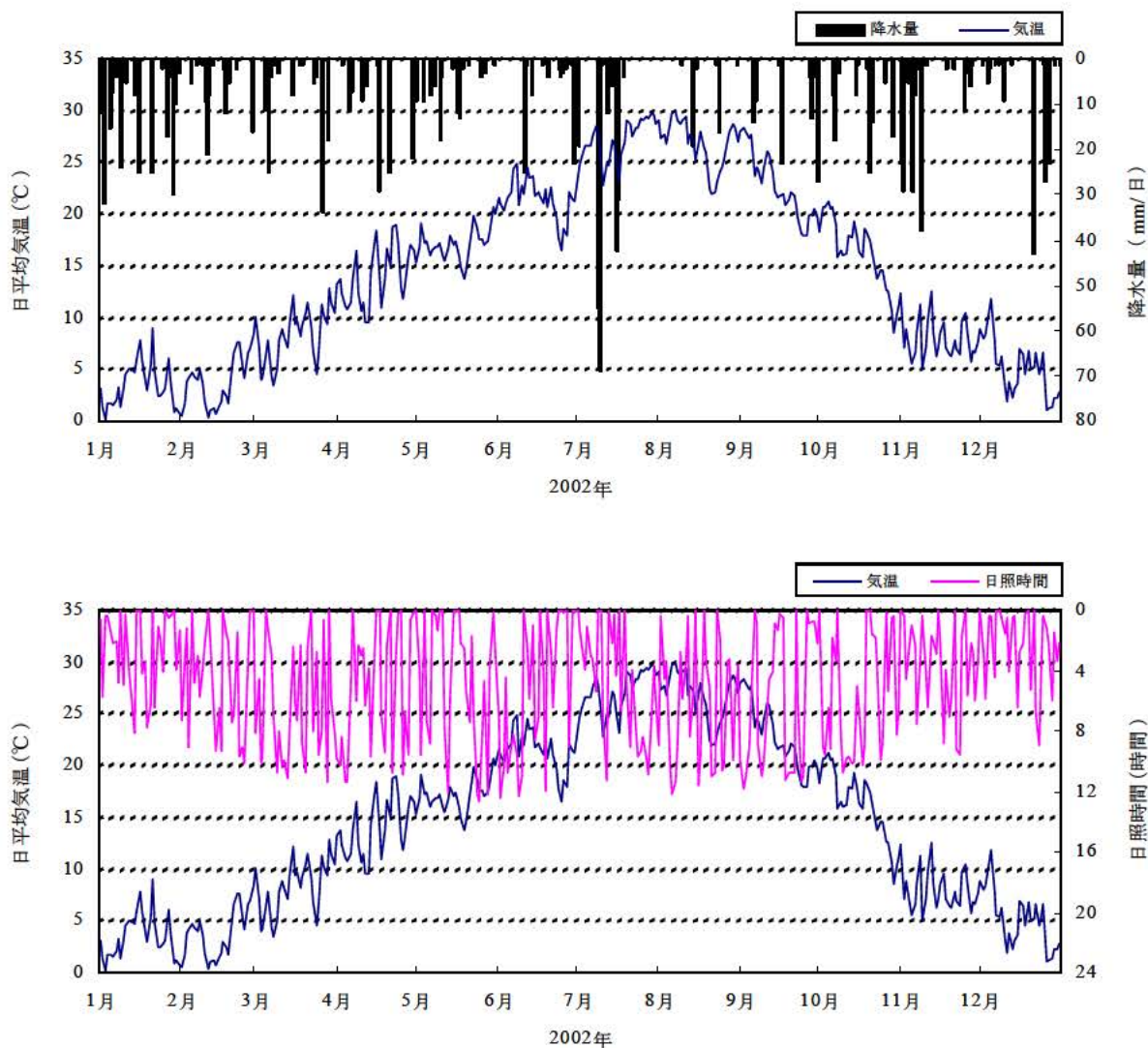


図4.1.5 虎姫地点の気象データ

### (4) 境界条件

姉川河口部モデルにおける琵琶湖周辺部の境界条件については、現在、琵琶湖全体モデルでの結果を境界条件として付与した。水温・濁度は実測データ（滋賀県）、DO は飽和溶存酸素濃度値（観測値：1回/月）を用い、その間の期間については内挿補間して与えた。なお、熱量の授受は表層水のみで地熱は与えておらず、底面境界での流速は0とした。

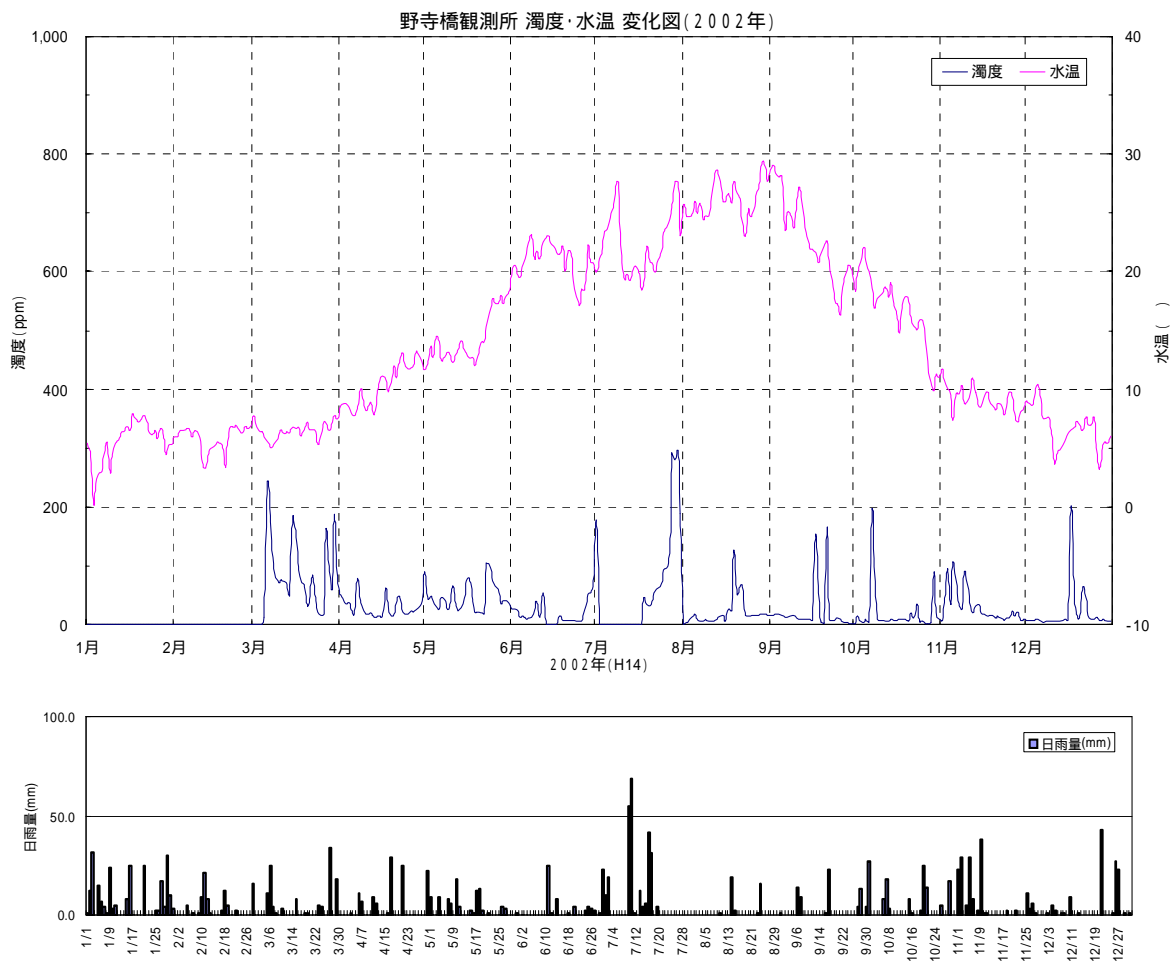


図4.1.6 野寺橋地点の水質（水温、濁度）、水文（降水量）データ

## 4.2 現況再現数値解析（現地調査結果との比較）

### (1) 現地調査結果の概要

平成 14 年 3 月 28 日に実施した姉川河口部での現地調査結果をみると、流入濁水塊付近の流向は乱れており、湖底に潜り込むような流れは見られない。また、全般的に河口から数 100m 沖の流れは河川の流入水よりも湖流の流れ（北西から南東）が卓越しており、姉川から琵琶湖の湖心方向への流れは見られない。

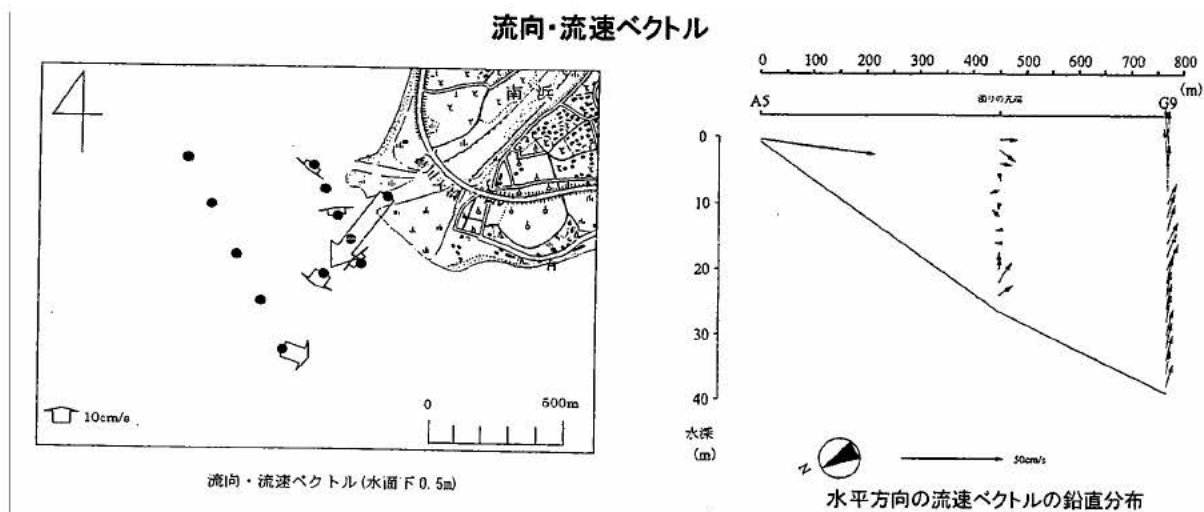
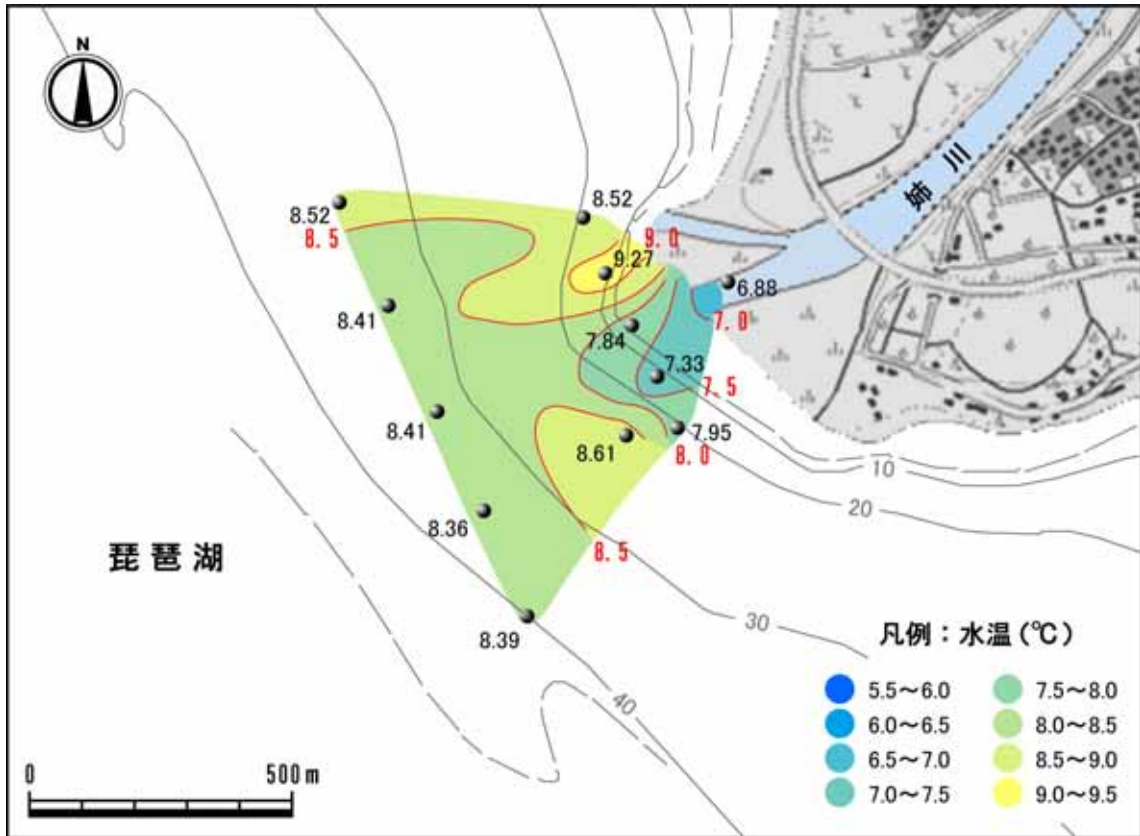
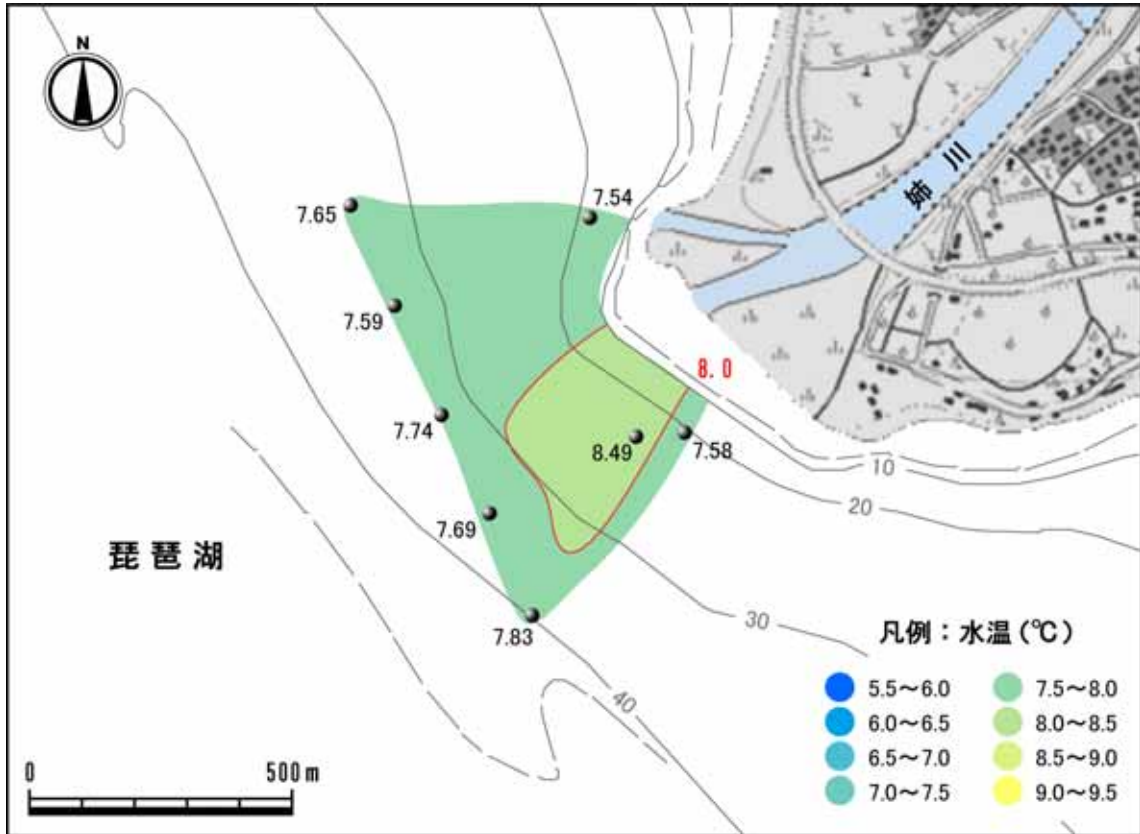


図 4.2.1 姉川河口部における流動調査結果（平成 14 年 3 月 28 日）



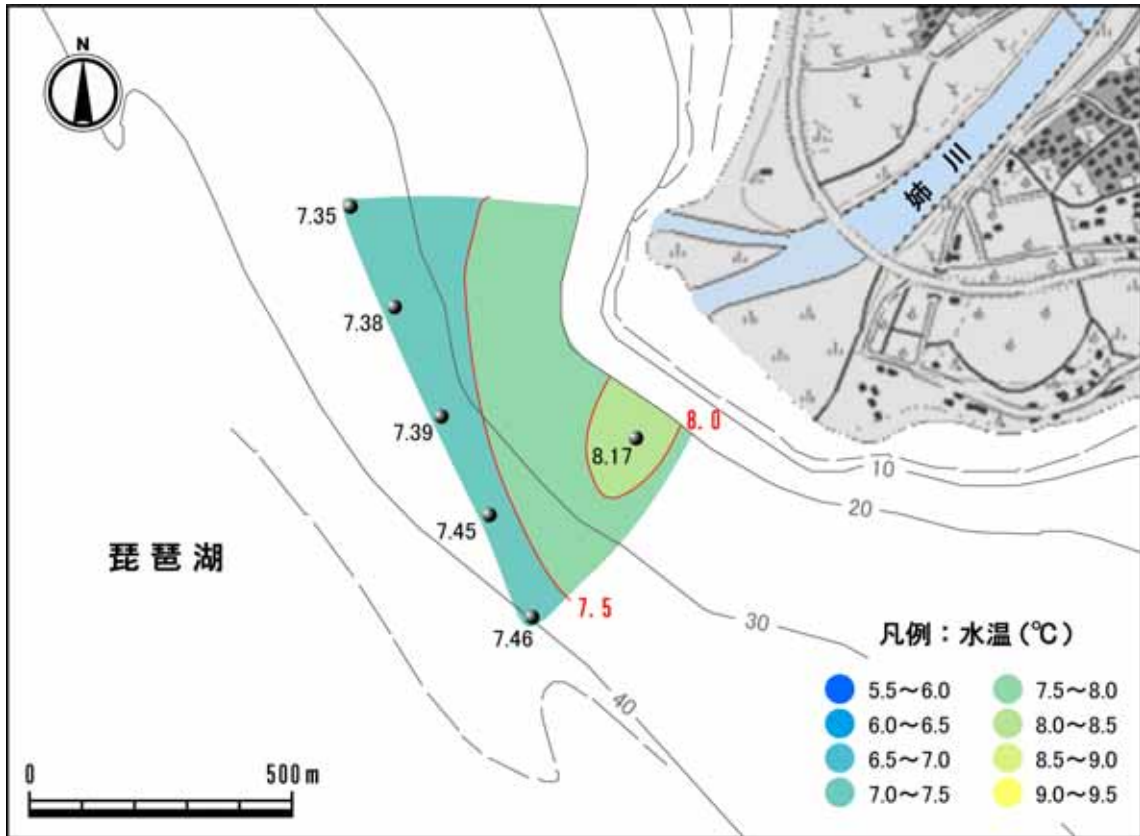


(a) 水深 0.5m

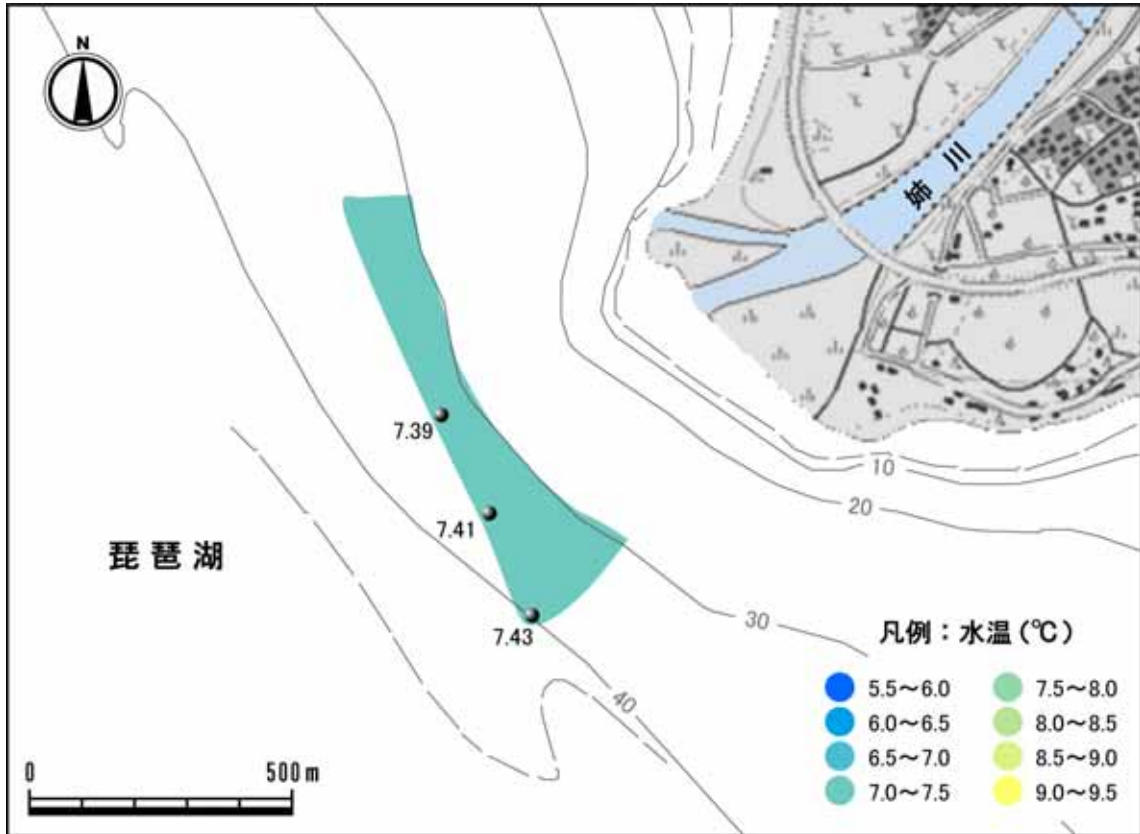


(b) 水深 10m

図 4.2.2 姉川河口部における水温 (平成 14 年 3 月 28 日)

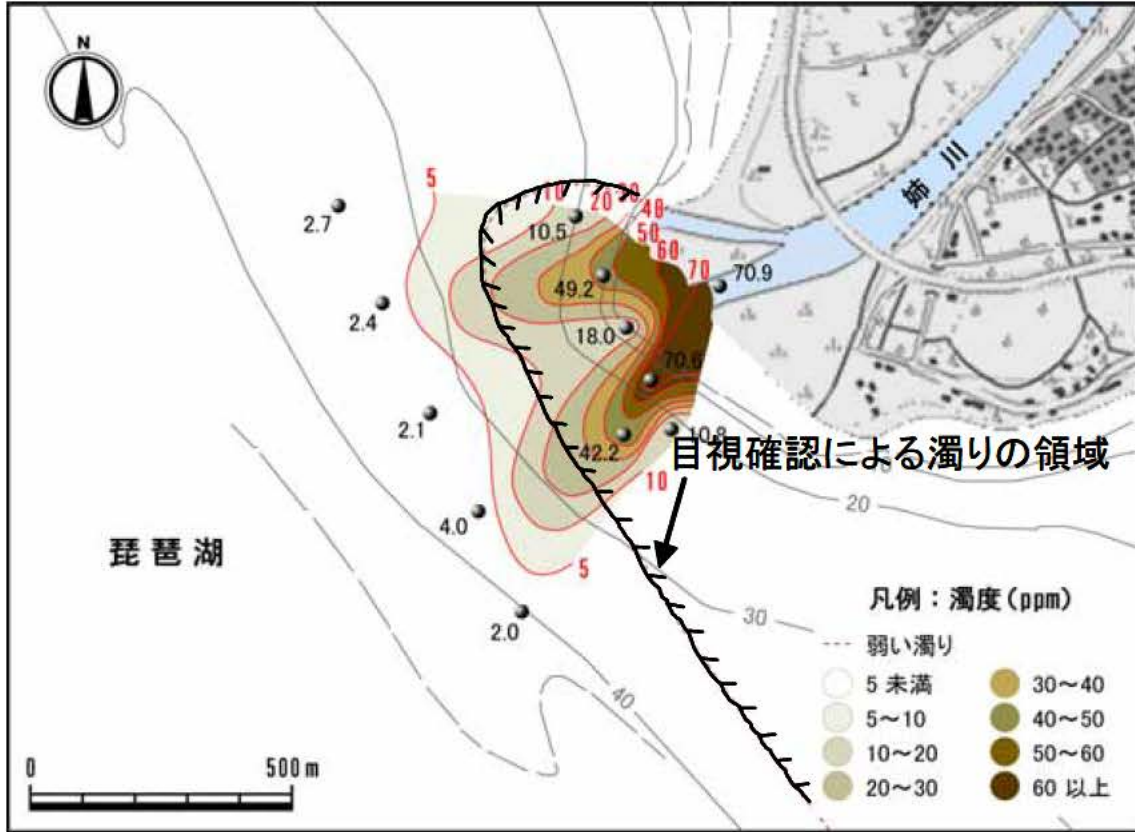


(c) 水深 20m

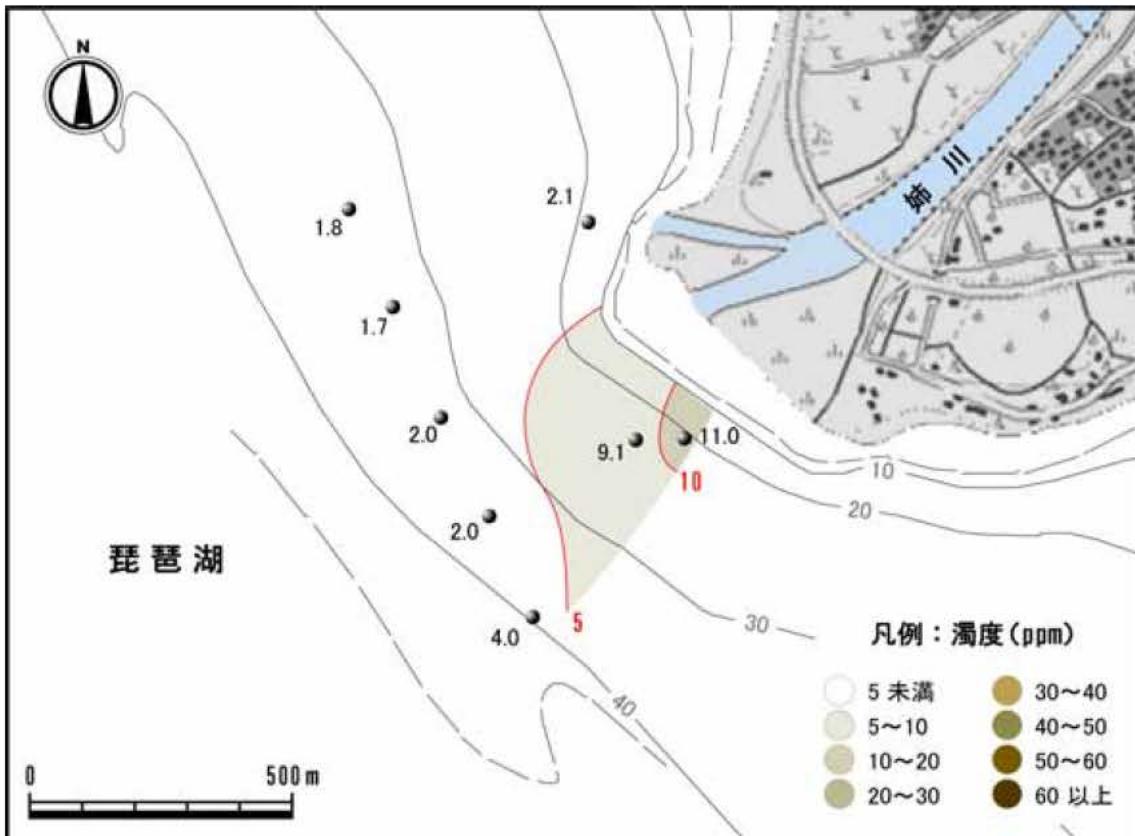


(d) 水深 30m

図 4.2.3 姉川河口部における水温 (平成 14 年 3 月 28 日)



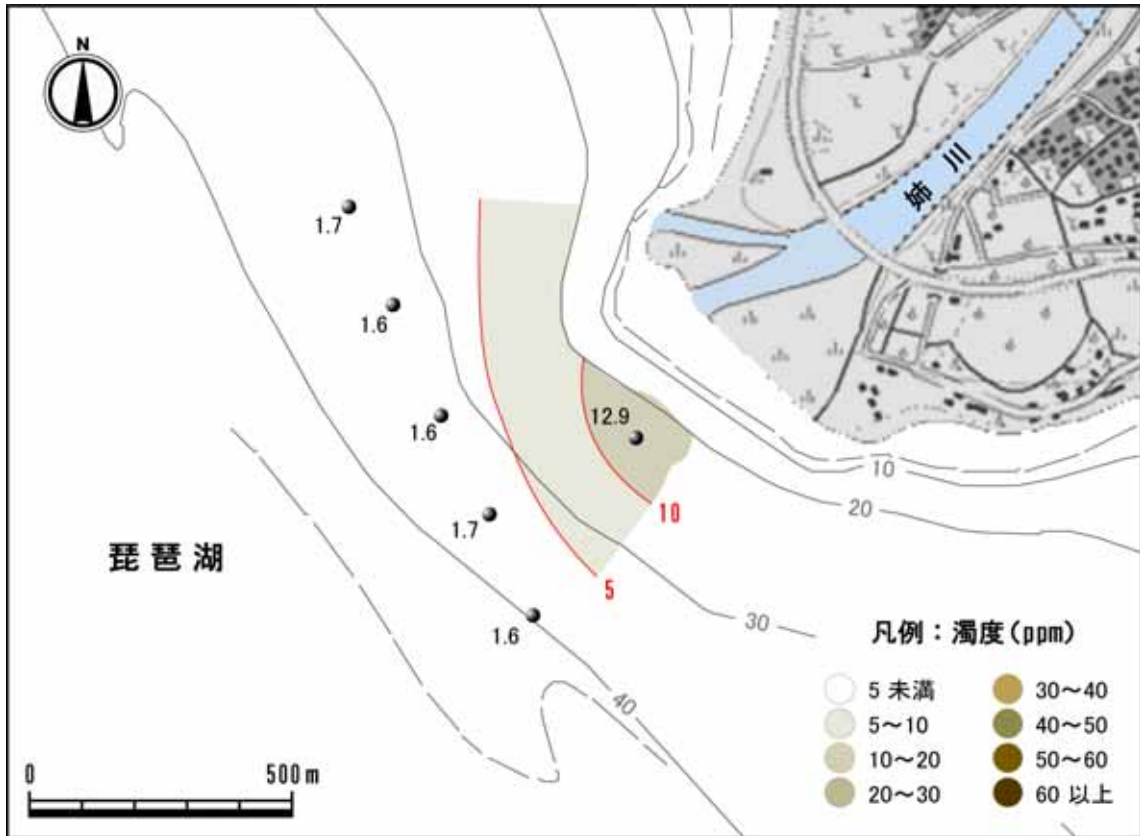
(a) 水深 0.5m



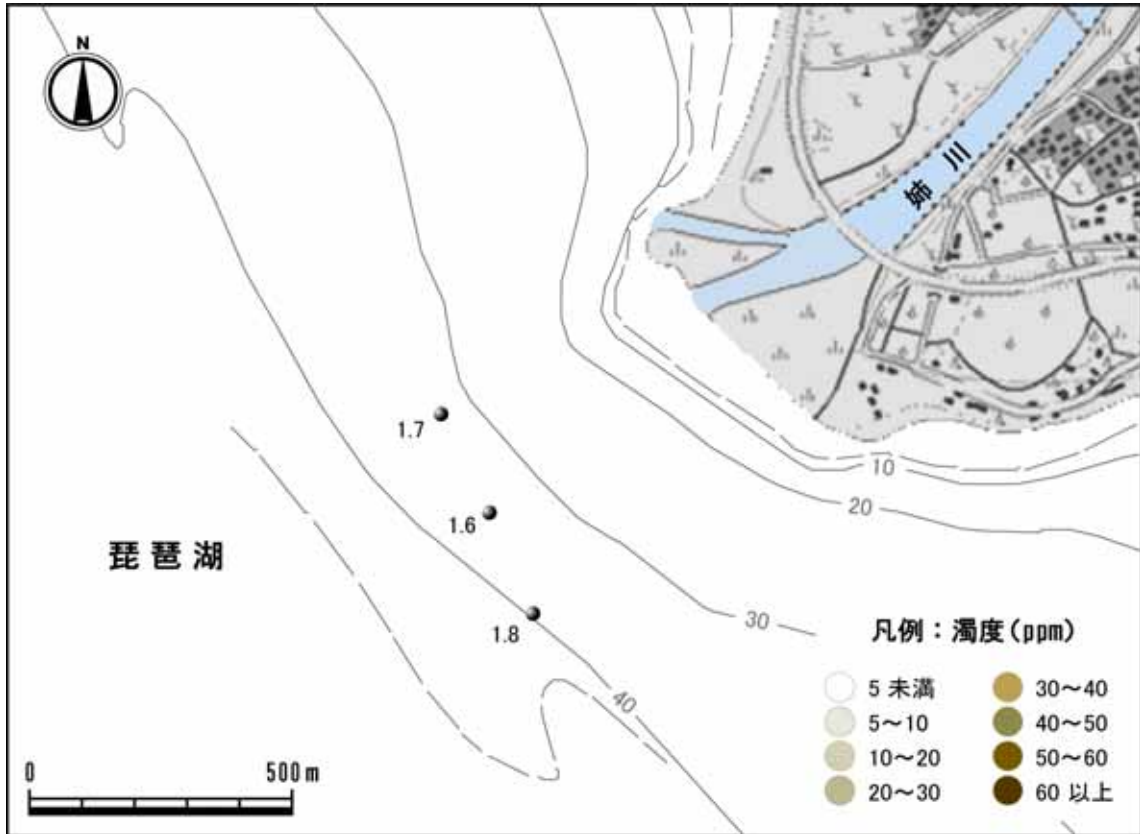
(b) 水深 10m

図 4.2.4 姉川河口部における濁度 (平成 14 年 3 月 28 日)





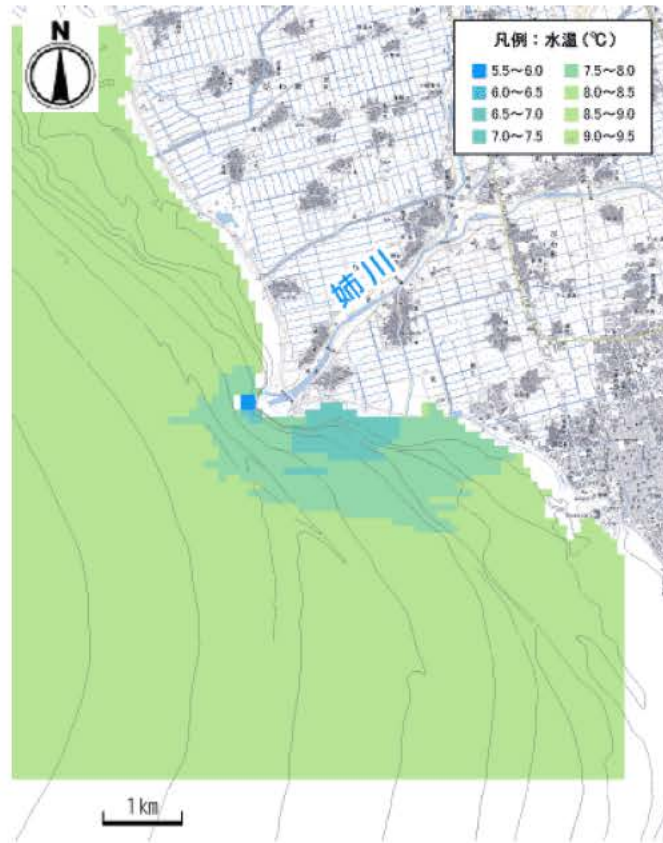
(c) 水深 20m



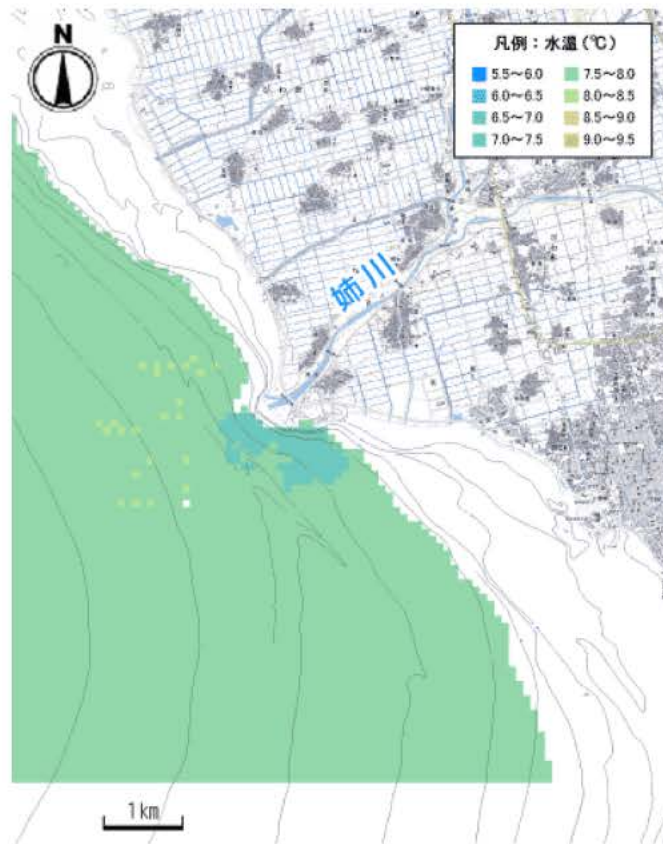
(d) 水深 30m

図 4.2.5 姉川河口部における濁度 (平成 14 年 3 月 28 日)

(2) 数值解析結果

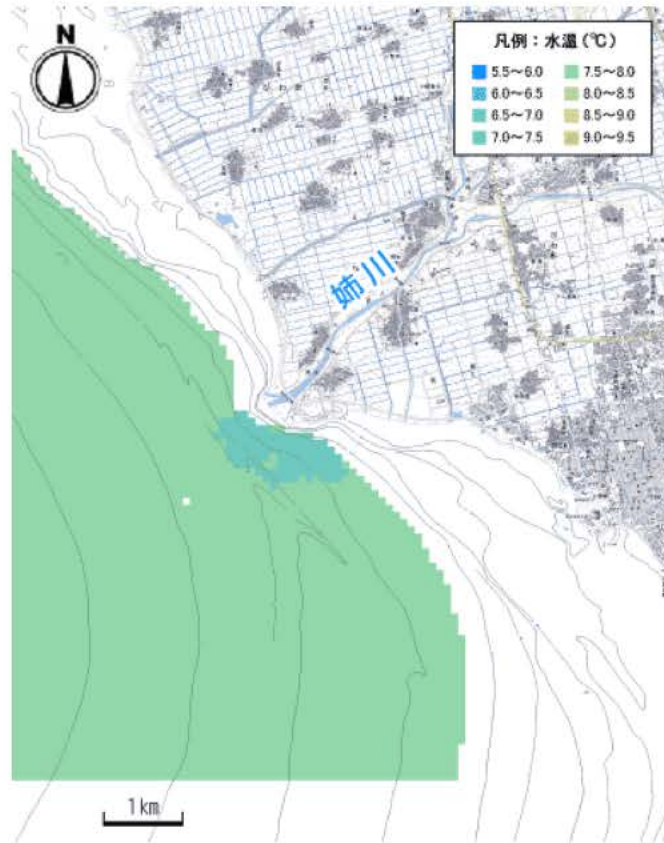


(a) 水深 0.5m

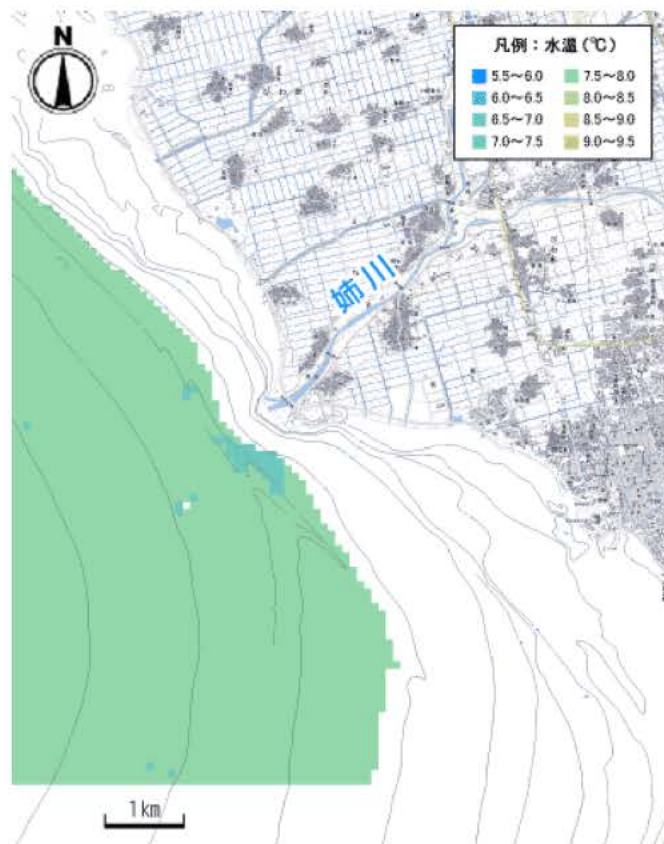


(b) 水深 10m

図 4.2.6 姉川河口部における水温数值解析結果 (平成 14 年 3 月 28 日 12 時)



(c) 水深 20m



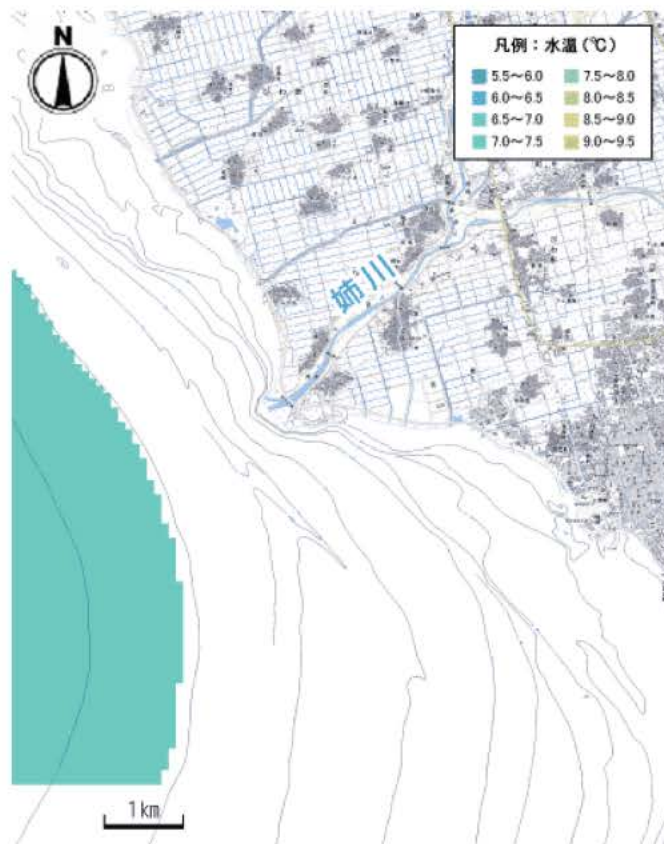
(d) 水深 30m

図 4.2.7 姉川河口部における水温数値解析結果 (平成 14 年 3 月 28 日 12 時)





(e) 水深 40m

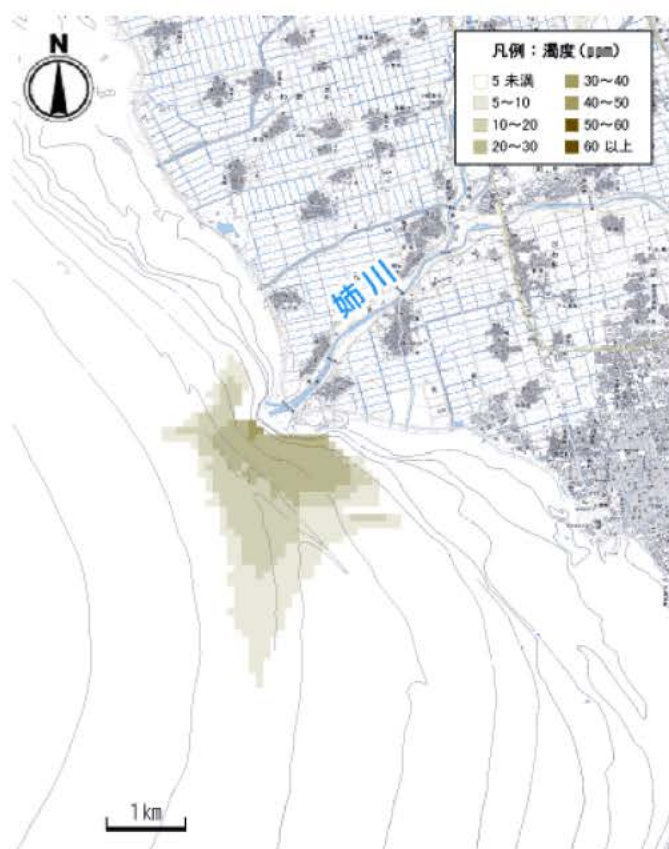


(f) 水深 50m

図 4.2.8 姉川河口部における水温数値解析結果（平成 14 年 3 月 28 日 12 時）

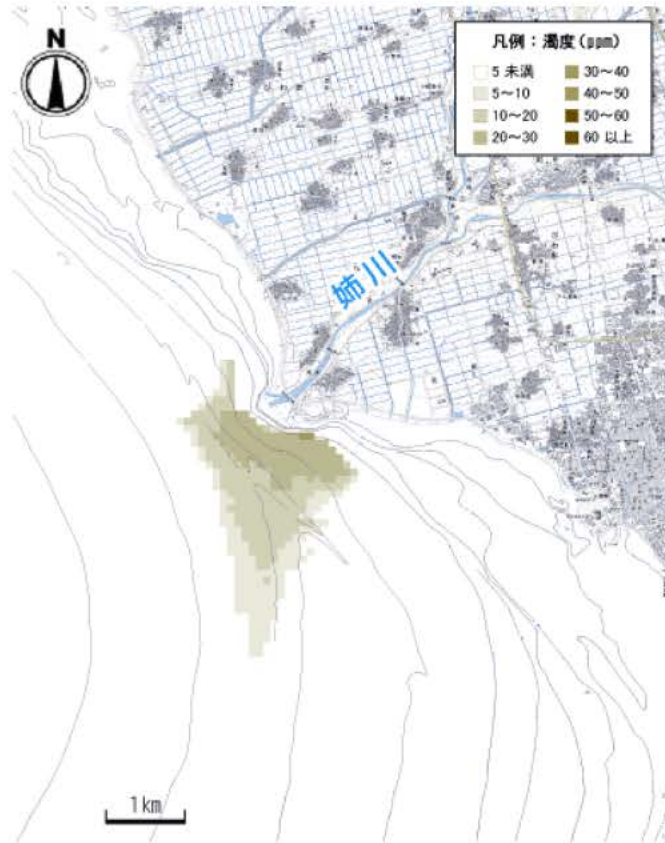


(a) 水深 0.5m

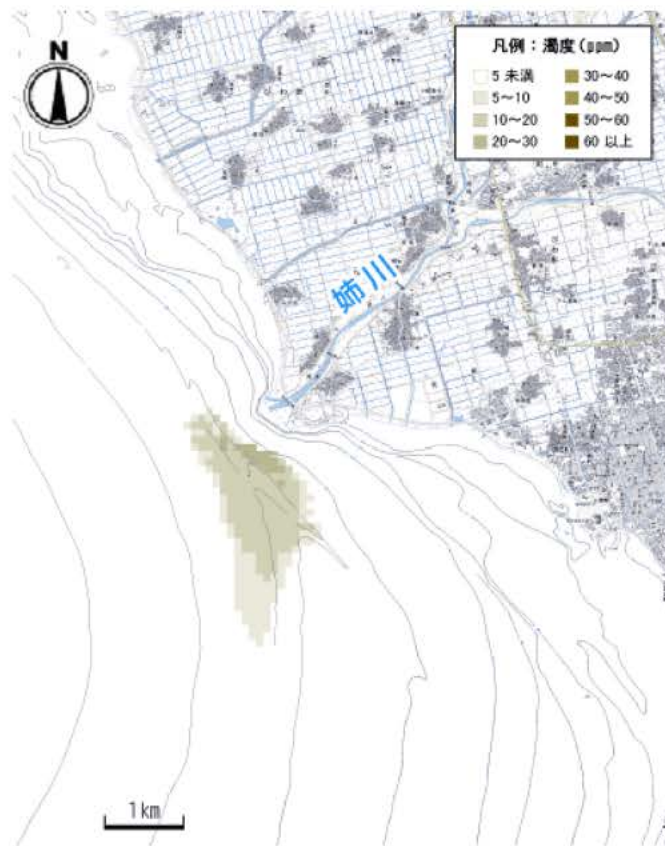


(b) 水深 10m

図 4.2.9 姉川河口部における濁度数値解析結果 (平成 14 年 3 月 28 日 12 時)



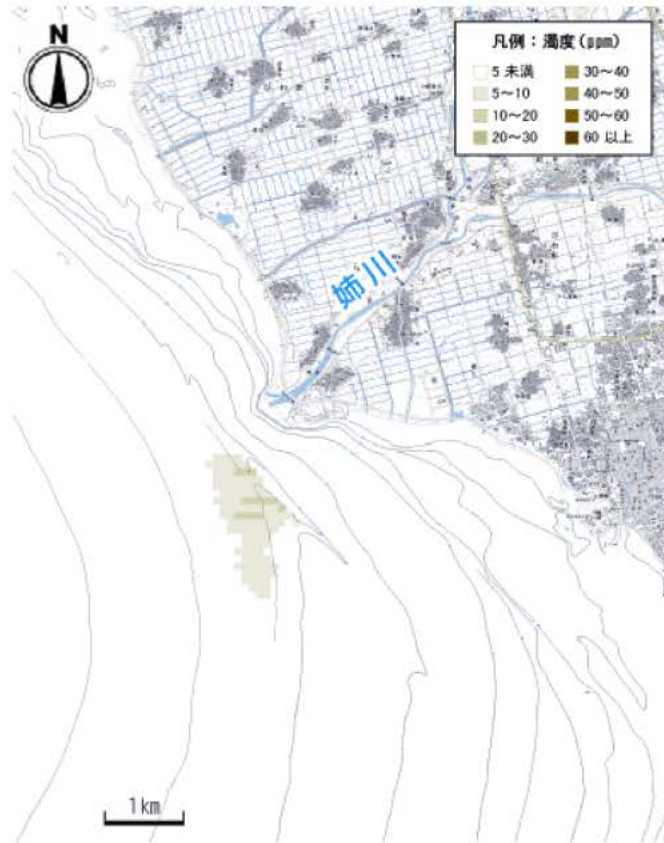
(c) 水深 20m



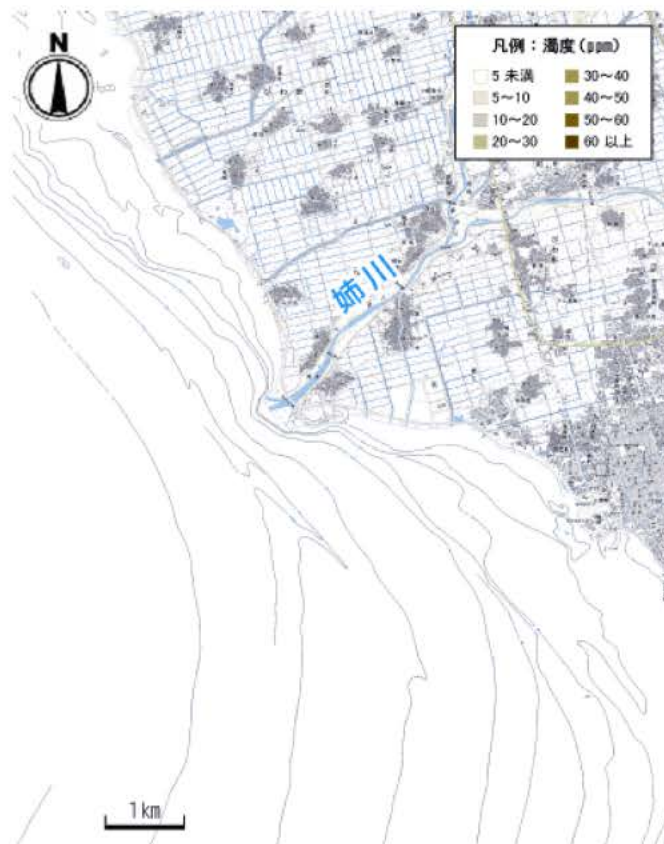
(d) 水深 30m

図 4.2.10 姉川河口部における濁度数値解析結果 (平成 14 年 3 月 28 日 12 時)





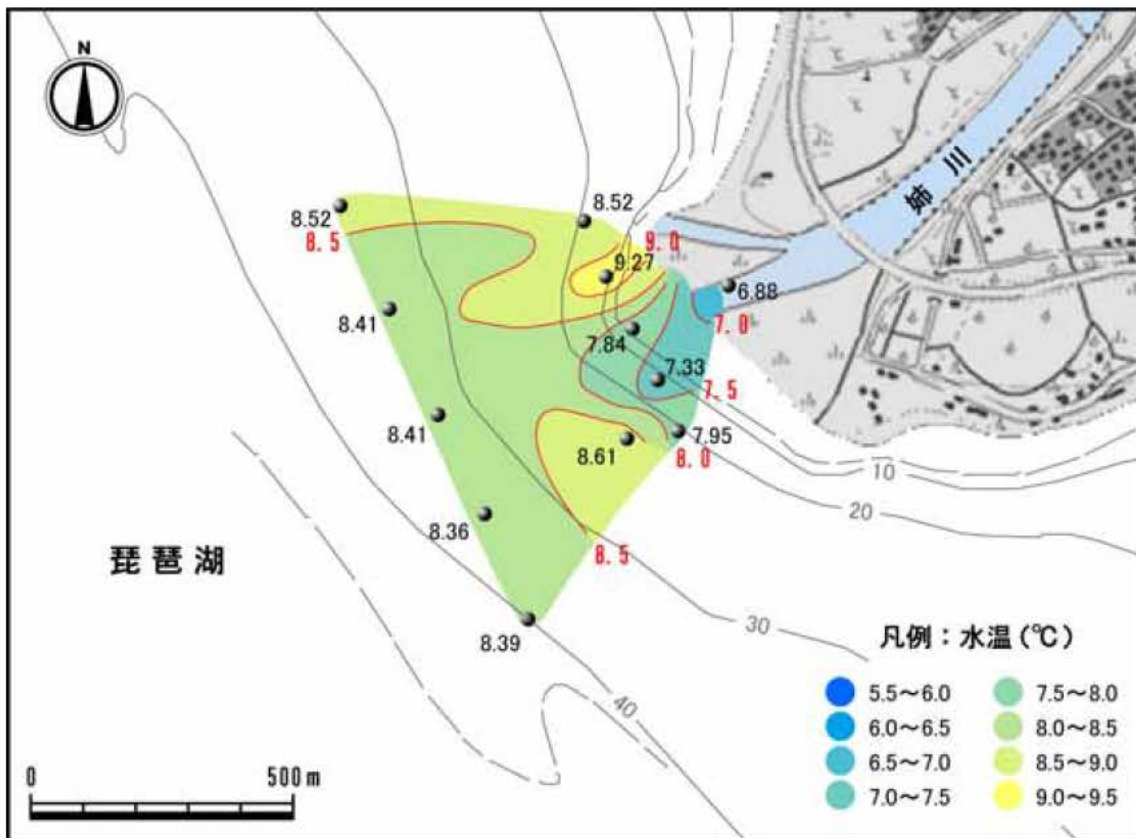
(e) 水深 40m



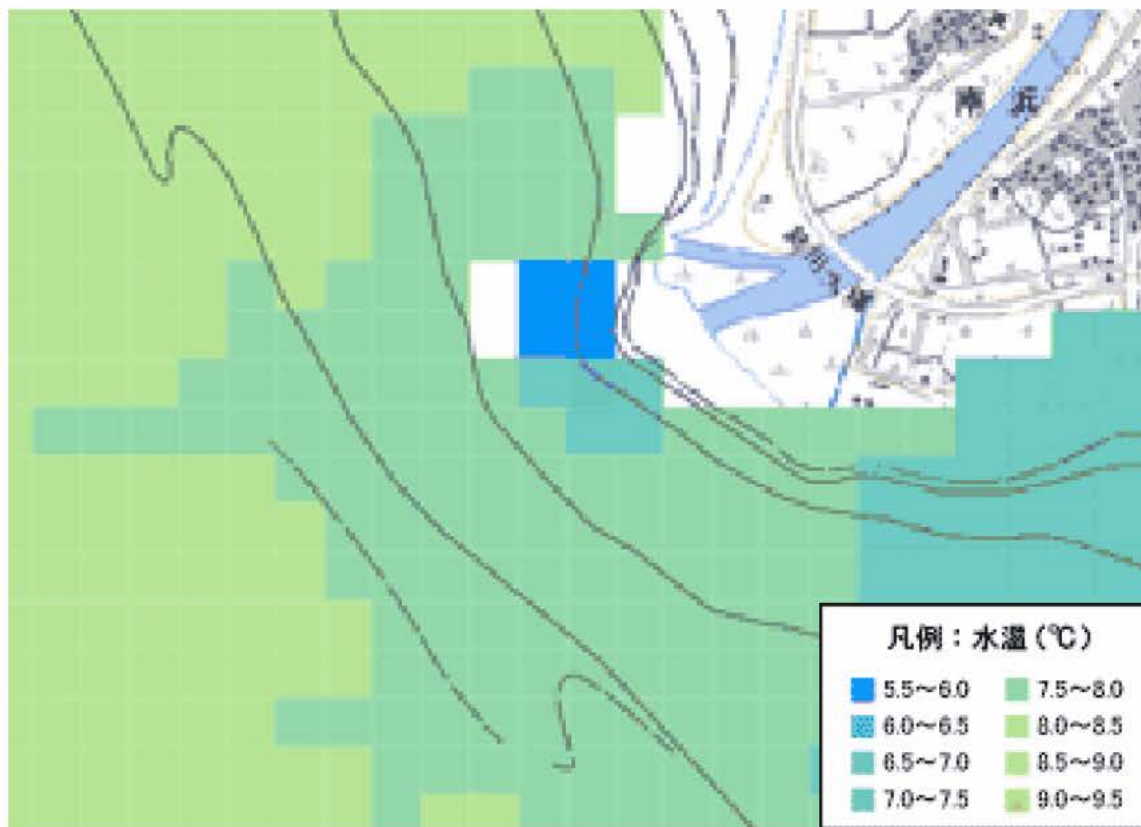
(f) 水深 50m

図 4.2.11 姉川河口部における濁度数値解析結果 (平成 14 年 3 月 28 日 12 時)

(3) 数値解析計算と現地調査結果との比較 (平成 14 年)

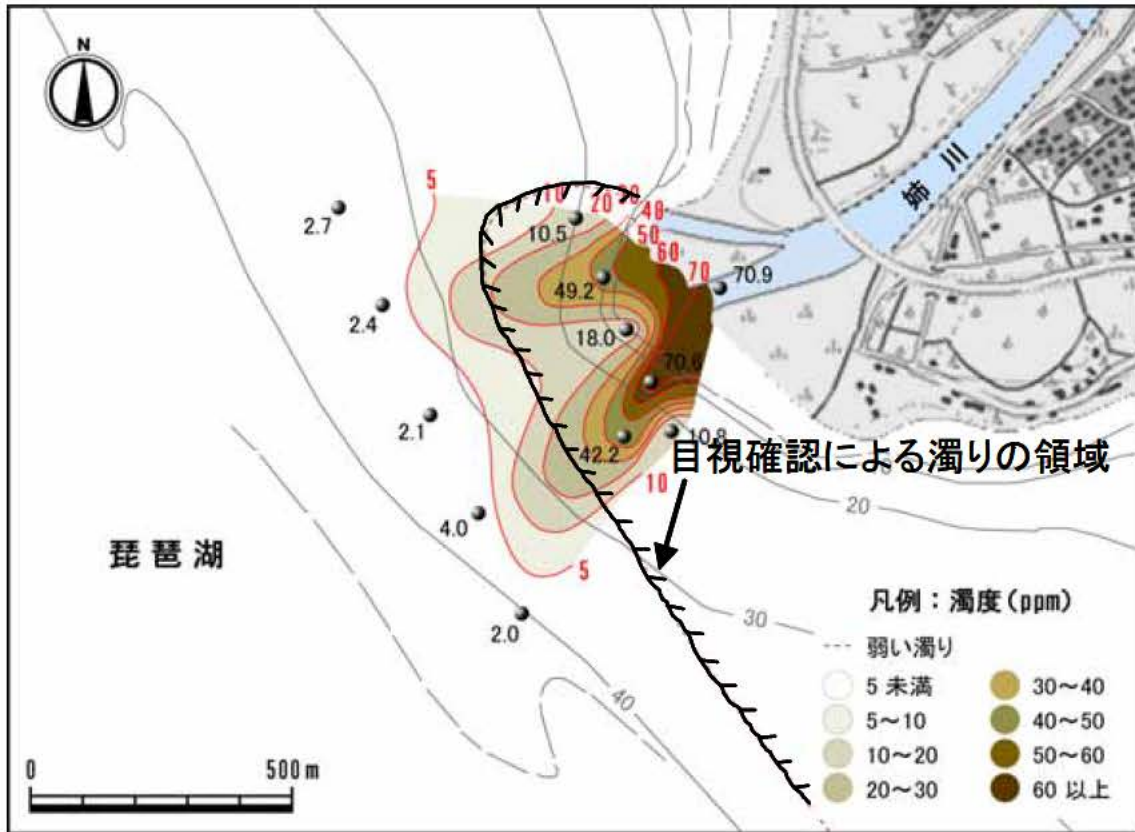


(a) 現地調査結果 水深 0.5m

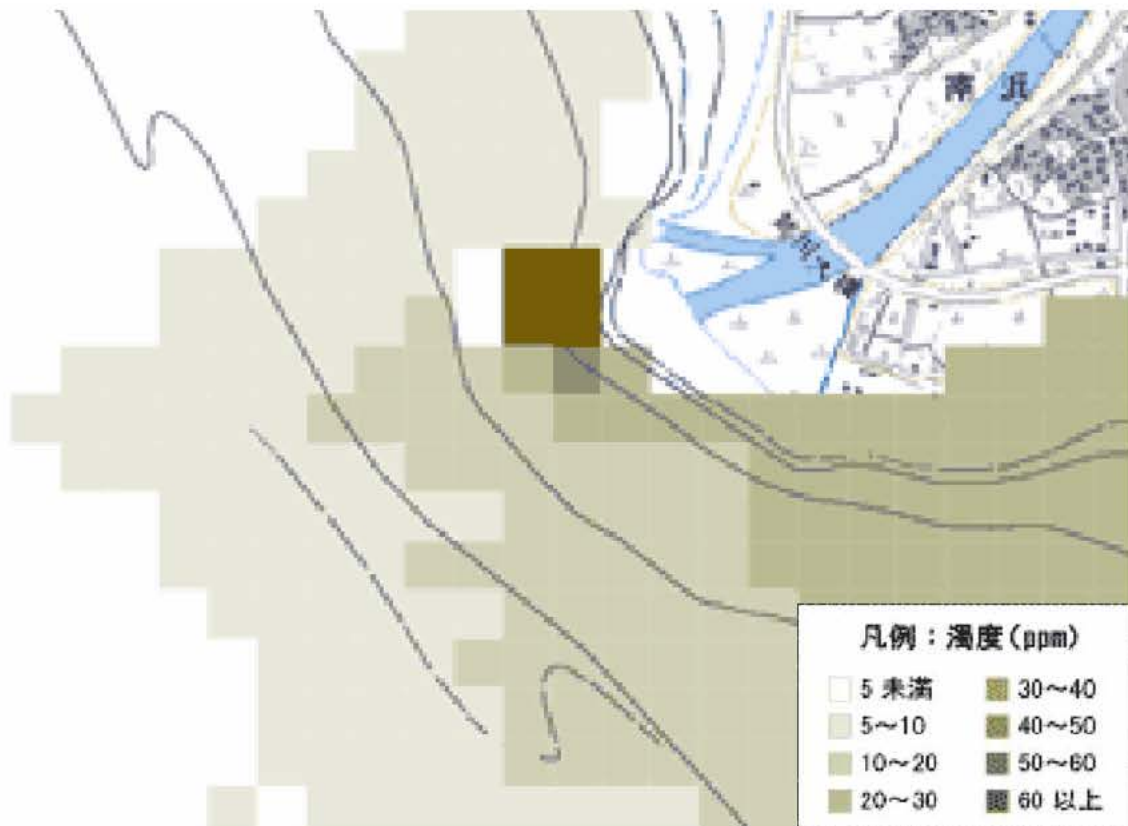


(b) 数値解析結果 水深 0.5m (12時)

図 4.2.12 姉川河口部における水温 (平成 14 年 3 月 28 日)



(a) 現地調査結果 水深 0.5m



(b) 数値解析結果 水深 0.5m (12時)

図 4.2.13 姉川河口部における濁度 (平成 14 年 3 月 28 日)



## まとめ（現地調査および数値解析について）

### H16 現地調査より

- ・水温
  - ・琵琶湖表層（水深 0.5m）の水温をみると、河口から 500m 以遠では姉川の河川水温の影響は見られなかった。
  - ・水深 10m 以深では、河口から 500m 以遠では明確な低水温域の拡がりは見られなかった。
- ・濁度
  - ・表層(水深 0.5m)から水深 10m までは南から東南東方向へ濁度の高い領域がのびていた。
  - ・水深 20m 以深では濁度の高い領域は、第 1 回調査では南方向への拡がりが見られたが、第 2 回調査では河口付近にとどまり、周辺への拡がりは見られなかった。
- ・流向・流速
  - ・姉川から琵琶湖の湖心方向への明確な流れは見られなかった。

### 数値解析より

- ・3次元流動解析により深さごとの河川水の拡がり状況がおおむね再現できた。
- ・水温・濁度から見た河川水の影響範囲は、河口より南から東方向ではおおむね 2 ~ 3 km 程度であり、河口より北から西方向では数 100m 程度の結果となった。
- ・雪解け水は湖心方向に貫入するのではなく、琵琶湖流の影響を受けながら、徐々に拡散する結果となった。

## 5. 琵琶湖溶存酸素変化と融雪期の河川流入量の関係

### 目的

姉川の雪解け出水と琵琶湖の底層溶存酸素の関係について実測値により考察する。

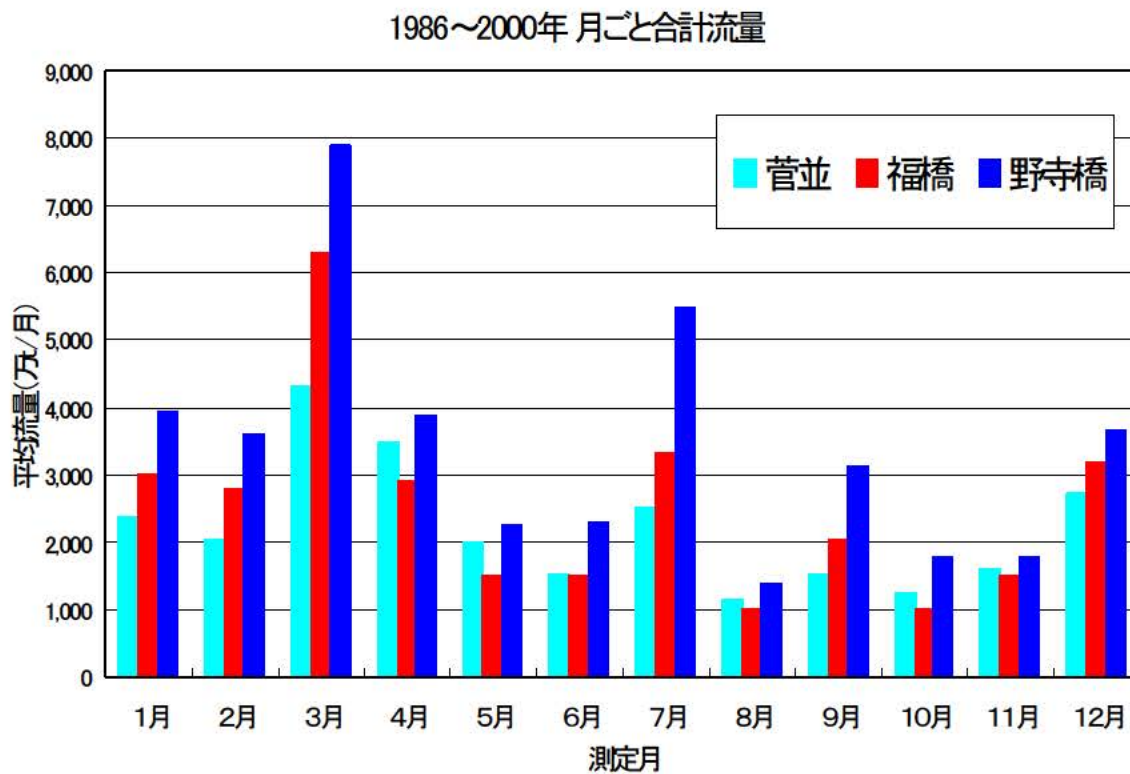
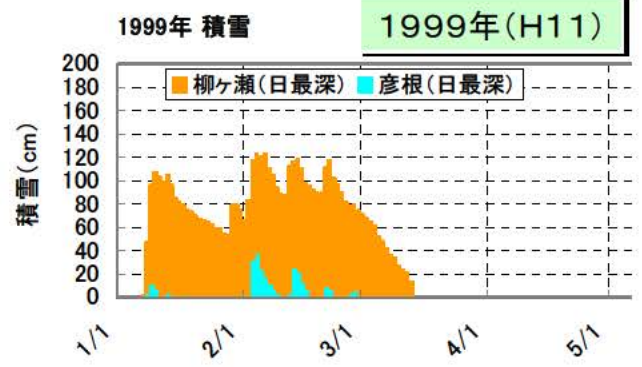
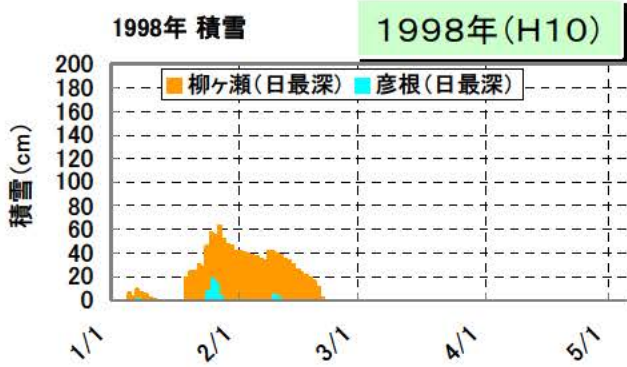


図 5.1 河川からの月別流出量 (15年平均)



### 琵琶湖今津沖中央 (DO)

	1月		2月		3月		4月	
水面-0.5m	10.6	10.0	10.5	10.1	10.6	10.6	11.2	11.2
水面-5.0m	10.5	10.0	10.4	10.0	10.5	10.7	11.5	11.8
水面-10.0m	10.7	9.9	10.3	9.9	10.5	10.7	11.4	11.6
水面-15.0m	10.7	9.9	10.3	9.9	10.5	10.7	11.3	11.3
水面-20.0m	10.5	9.9	10.2	9.9	10.5	10.7	11.1	11.3
水面-30.0m	10.5	9.9	10.2	10.0	10.4	10.7	11.0	10.9
水面-40.0m	10.5	8.9	10.2	10.0	10.4	10.7	11.0	10.8
水面-60.0m	6.7	6.2	10.2	9.7	10.3	10.6	10.8	10.5
水面-80.0m	5.2	3.8	6.5	9.7	10.0	10.4	10.4	10.3
水底+1.0m	4.7	3.7	4.5	9.8	10.0	10.0	10.2	9.7

### 琵琶湖今津沖中央 (DO)

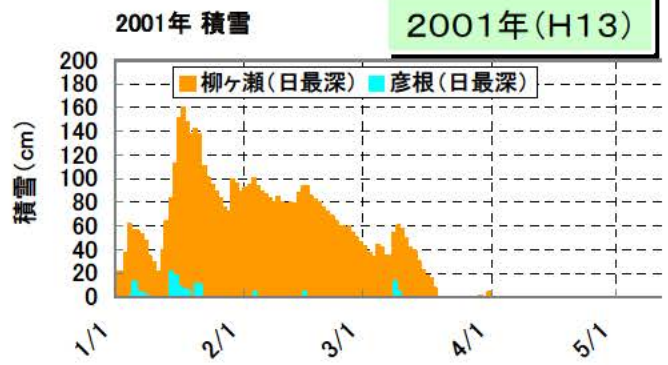
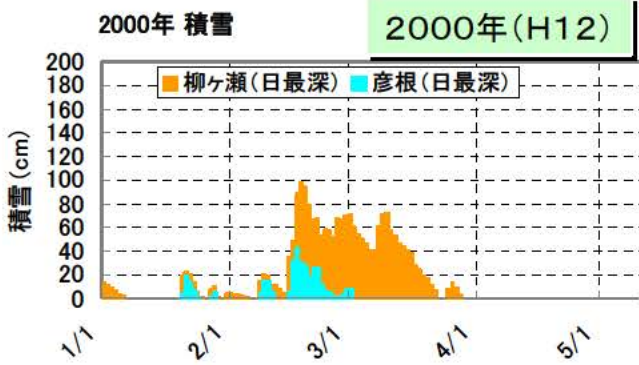
	1月		2月		3月		4月	
水面-0.5m	9.9	10.0	9.3	10.6	10.8	11.1	11.1	
水面-5.0m	9.9	10.0	9.3	11.0	10.8	11.2	11.3	
水面-10.0m	9.8	10.0	9.2	10.8	10.8	11.3	11.2	
水面-15.0m	9.8	10.0	9.2	10.9	10.8	11.3	11.0	
水面-20.0m	9.7	10.0	9.3	11.0	10.8	11.2	10.9	
水面-30.0m	9.7	9.9	9.4	10.7	10.7	11.1	10.8	
水面-40.0m	9.7	9.8	9.5	10.8	10.6	11.0	10.7	
水面-60.0m	9.7	9.8	9.4	11.0	10.6	10.9	10.4	
水面-80.0m	4.9	5.0	9.4	11.0	10.2	10.8	10.1	
水底+1.0m	4.5	4.6	9.4	10.9	10.0	10.7	9.7	



凡例: DO 2未満 2~3.9 4~4.9 5~5.9 6~6.9 7~7.9 8~8.9 9~9.9 10~10.9 11~11.9 12以上 (単位: mg/l)

図 5.2 積雪量・琵琶湖溶存酸素・河川流入量 (1998 から 1999 年)



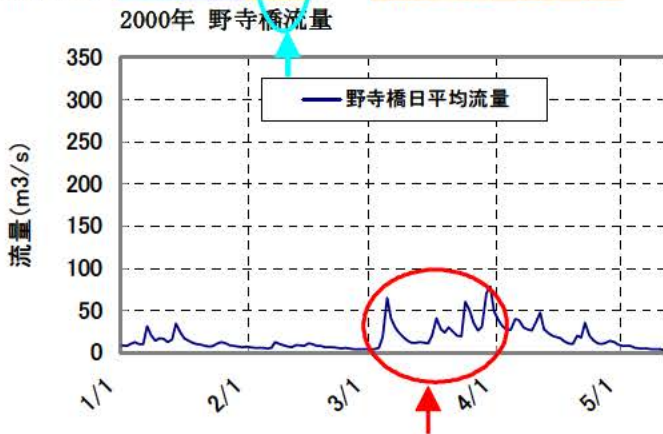


#### 琵琶湖今津沖中央 (DO)

	1月		2月		3月		4月	
水面-0.5m	10.5	10.2	9.7	10.8	10.9	11.4	11.4	11.3
水面-5.0m	10.3	10.2	9.7		11.1	11.4	11.5	11.4
水面-10.0m	10.3	10.2	9.7		11	11.4	11.5	11.4
水面-15.0m	10.3	10.1	9.6		11.1	11.4	11.5	11.4
水面-20.0m	10.2	10	9.4		11.1	11.4	11.5	11.4
水面-30.0m	10.1	9.8	9.4		11.1	11.4	11.3	11.2
水面-40.0m	9.7	9.6	9.5		11.1	11.4	10.9	11.1
水面-60.0m	6.1	9.2	9.4		11.1	11.3	10.8	10.6
水面-80.0m	5.4	4.6	9.3		10.7	11.3	10.3	10.3
水底+1.0m	4.2	3.5	9.5		10.7	11.3	10.0	10.1

#### 琵琶湖今津沖中央 (DO)

	1月		2月		3月		4月	
水面-0.5m	10.2	9.6	10.0	11.5	11.5	10.7	11.3	11.6
水面-5.0m	10.2	9.7	10.0	11.3	11.6	10.7	12.2	11.6
水面-10.0m	10.2	9.6	9.9	11.4	11.8	10.6	11.8	11.5
水面-15.0m	10.1	9.8	9.9	11.4	11.6	10.6	11.4	11.4
水面-20.0m	10.0	9.8	9.9	11.3	11.6	10.6	11.2	11.0
水面-30.0m	10.2	9.8	9.9	11.3	11.4	10.6	11.1	10.9
水面-40.0m	10.1	9.9	9.9	11.3	11.5	10.6	11.1	10.6
水面-60.0m	10.4	10.0	9.9	11.1	11.5	10.6	10.7	10.6
水面-80.0m	10.6	10.2	9.9	11.2	11.5	10.6	10.4	10.2
水底+1.0m	10.6	10.2	9.9	11.2	11.5	10.5	10.2	10.2



凡例: DO 2未満 2~3.9 4~4.9 5~5.9 6~6.9 7~7.9 8~8.9 9~9.9 10~10.9 11~11.9 12以上 (単位: mg/l)

図 5.3 積雪量・琵琶湖溶存酸素・河川流入量 (2000 から 2001 年)

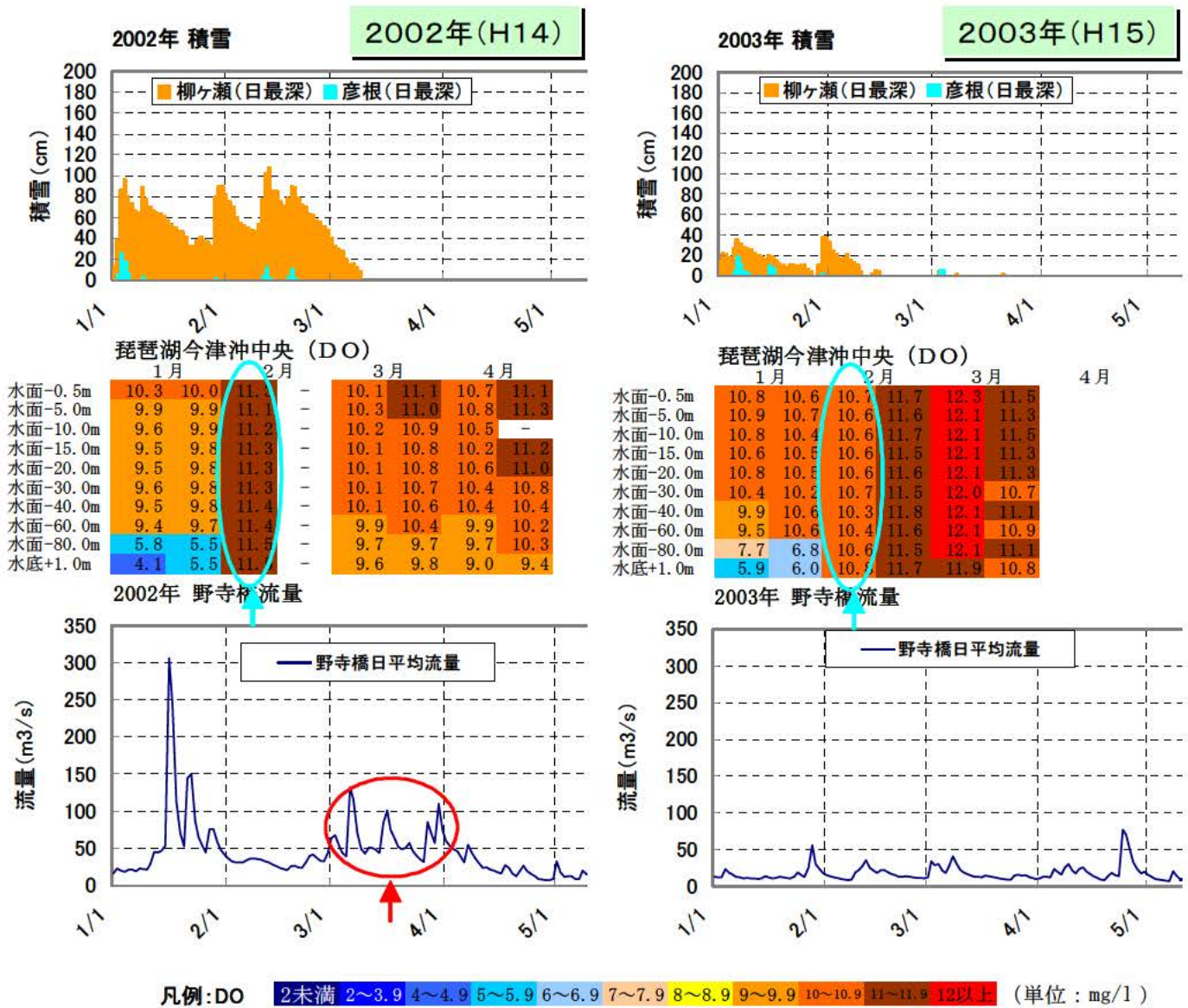


図 5.4 積雪量・琵琶湖溶存酸素・河川流入量 (2002 から 2003 年)

## 琵琶湖溶存酸素変化と融雪期の河川流入量の関係

- ・琵琶湖底層溶存酸素は、琵琶湖の循環によって2月前半から後半に回復している。
- ・月別流出量より、河川からの月別流出量は、3月が最も多い。
- ・雪解け出水の大小・時期と琵琶湖底層の溶存酸素回復との間には、明確な関係は見られない。



(1) 支配方程式

支配方程式は、格子平均操作を行った回転系における連続式、非圧縮性ナビアーストークス方程式、スカラー（水温・水質）輸送方程式である。

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} u_i u_j - \lambda_{ij})}{\partial x_j} = \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial P}{\partial x_j} + \bar{\rho} F_j \frac{\partial x_3}{\partial x_i} + f \bar{\rho} \left( -u_2 \frac{\partial x_1}{\partial x_i} + u_1 \frac{\partial x_2}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\bar{\beta})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\beta}_i u_j - \chi_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \kappa \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x_j} \right) + \bar{\beta}_p \quad (3)$$

ここで  $x_i$  は東西方向( $i=1$ ), 南北方向( $i=2$ ) そして上下方向( $i=3$ )を,  $u_i$  ( $i=1,2,3$ )水の流速、 $\beta$  スカラー量（水温、水質）、 $\mu$  : 水の粘性計数、 $\kappa = k/\rho_0$ :  $k$  水温伝導率,  $\rho_0$  水の標準比重,  $P$  : 水圧,  $\rho$  水の密度、 $F$  重力加速度、 $S$  : スカラー量（水温・水質）の生成・消滅項である。  $f$  は次式のとおりのコリオリ力である。

$$f = 2\omega \sin \phi \quad (4)$$

ここで  $\omega$  および  $\phi$  はそれぞれ地球自転の角速度( $7.27 \times 10^{-5}$  rad/s) および対象水域の緯度である。

$\lambda_{ij}$ ,  $\chi_j$  はそれぞれ SGS dynamic 応力と SGS フラックスであり、次式で定められる。

$$\lambda_{ij} = \overline{\rho u_i u_j} - \overline{\rho} \overline{u_i u_j}, \quad \chi_j = \overline{\beta u_j} - \overline{\beta} \overline{u_j} \quad (5)$$

(2) VLES における SGS Model (乱流モデル)

DMM としては, Zang らの Dynamic Mixed Model と Wong & Lilly の Scaling Formulation Dynamic SGS Model をもとにした、Mixed Scaling Formulation Model (Yamashiki, 1999)を用いている。MSFM の定式化を用いると、SGS dynamic 応力は以下の通りとなる。

$$\lambda_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} \lambda_{kk} = -2\rho C \Delta^{-4/3} \overline{S_{ij}} + L^m - \frac{\delta_{ij}}{3} L^m \quad (6)$$

ここで  $\Delta$  格子フィルター幅,  $\overline{S_{ij}}$  は以下の通りである。

$$\overline{S_{ij}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

$L^m$  は次式で示される修正密度レナード項である:

$$L^m = \overline{\overline{\rho u_i u_j}} - \overline{\overline{\rho}} \overline{\overline{u_i u_j}} \quad (8)$$

モデル係数  $C$  は次式で示される。

$$C_{\mu} = \frac{(\kappa_{ij} - \Psi_{ij})S}{2\Gamma S} \quad (9)$$

ここで

$$\kappa_{ij} = \rho u_i u_j - \rho u_i u_j \quad (10)$$

$$\Psi_{ij} = \rho u_i u_j - \rho u_i u_i \quad (11)$$

$$\Gamma = \bar{\Delta}^{-4/3} - \Delta^{-4/3} \quad (12)$$

ここで  $\bar{\Delta}$  はテストフィルタ操作を示した。

本計算においてフィルター幅は以下の式で示される。

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\delta x_H \delta x_V} \quad (13)$$

ここで  $\delta x_H, \delta x_V$  はそれぞれ水平・鉛直格子サイズである。またテストフィルター幅は以下の通りである。

$$\bar{\Delta} = 2\sqrt{\delta x_H \delta x_V} \quad (14)$$

スカラーの輸送方程式は以下に示す。

$$\chi_j = -\frac{C_{\mu}}{\rho T} \bar{\Delta}^{-4/3} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x_j} + P_j \quad (15)$$

ここで

$$\frac{1}{T} = \frac{\rho}{C_{\mu}} \frac{(N_j - \Theta_j) B_x}{\Gamma B_x^2} \quad (16)$$

$$N_j = \beta u_j - \beta u_j \quad (17)$$

$$\Theta_j = \beta u_j - \beta u_j \quad (18)$$

$$B_x = \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x_j} \quad (19)$$

$$P_j = \beta u_j - \beta u_j \quad (20)$$

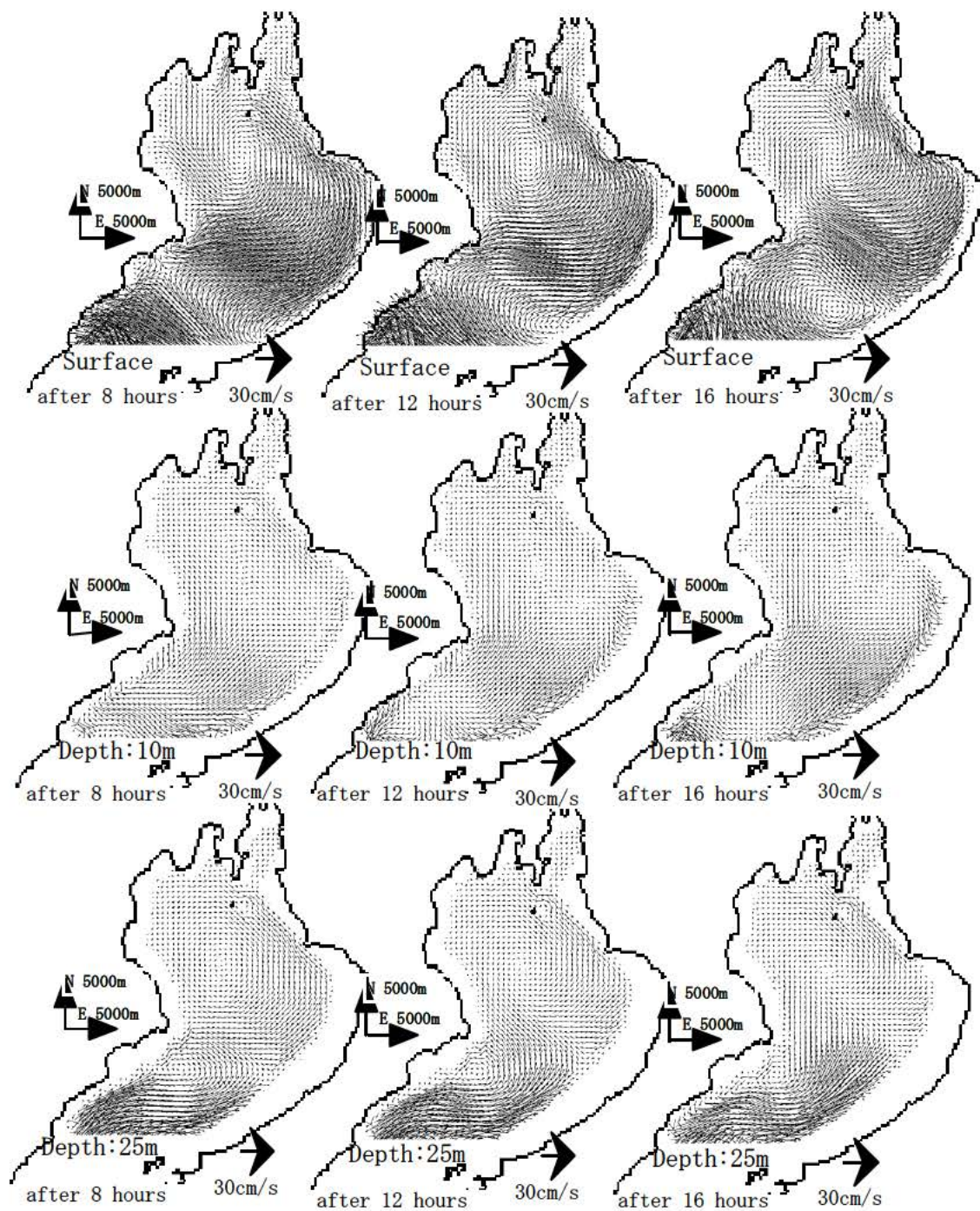


Figure 1.1 Numerical simulation of thermally induced gyre formation process in Lake Biwa using VLES by MSFM . Details will be shown during the experts' meeting.

この定式化によると、十分な格子数を確保した場合は温度躍層の状況に従って鉛直拡散係数を再定義する必要がない。しかしながら VLES を用いると陽解法による計算が必修であるため、計算時間が多くかかる。それをさけるために陰解法を用いる方法も考えられる。



新しいモデルにおいては、湖の流れを解析するため URANS の考え方が適用される。格子平均された値を時間平均値とみなすと、SGS dynamic 応力を以下の式で定義される Reynolds 平均 dynamic 応力と考えることができる。

$$\lambda_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} \lambda_{kk} = -2\mu_t \overline{S_{ij}} \quad (21)$$

乱流エネルギー  $k$  の輸送方程式は以下の通りである。

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_S + G_T + G_W - \rho \varepsilon \quad (22)$$

ここで  $G_S$ ,  $G_T$ ,  $G_W$ ,  $\varepsilon$  はそれぞれ歪みによる生成項、浮力による生成項、風による生成項、そして散逸率であり、次式で示す(Deardorff, 1980, etc.)。

$$G_S = \mu_t \left( 2 \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2 \right) \quad (23)$$

$$G_T = \frac{v_t}{\sigma_t} \left( 2 \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2 \right) \quad (24)$$

$$G_W = \rho_{atr} \frac{C_D}{C_k} W^2, \quad C_D = 0.001(1 + 0.7W) \quad (25)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (26)$$

逸散率の輸送方程式は以下の通りである。

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (G_S + G_T + G_W) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \varepsilon}{k} \quad (27)$$

ここで

$$R_f = -G_T / G_S + G_T \quad (28)$$

水平と鉛直の格子サイズの違いを考慮すると、(26) 式を再定義するか、鉛直方向のみにこのモデルを適用する必要がある。

ここで、(25)式で示す風による生成項は砕波の影響を考慮にいれていない。

また、 $\sigma_k$ 、 $\sigma_\mu$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_\mu$  の係数を標準係数以外に再定義する必要がある。

出典)

山敷庸亮, 松井三郎, 禰津家久, 熊谷道夫: 琵琶湖還流の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第44巻, p.975-980, 2002年2月.

# オウミア

## 琵琶湖研究所ニュース

2003年12月

編集・発行 / 滋賀県琵琶湖研究所  
〒520-0806 大津市打出浜1-10 TEL077-526-4800  
FAX077-526-4803 URL : http://www.lbri.go.jp

プロジェクト研究紹介

「酸素の消費は、湖の健康状態のバロメーター」……2

研究トピックス

「余呉湖の水質形成への琵琶湖揚水の影響」……3

「第10回世界湖沼会議について」……4

## 酸素がなくなる湖

琵琶湖はアムールとフィリピン海の二つのプレートがぶつかり合う地殻構造の上に形成された湖で、周辺には多くの活断層があります(図1)。最も深い場所は、西岸から流入する安曇川の沖2500mの地点にあり、水深は104mです。この湖底は、大阪湾の水面より約20mほど深く、水が循環しにくい所です。したがって、一度汚れたら回復が困難な場所でもあります。

今、琵琶湖の深い場所で酸素がなくなりつつあります。これは、琵琶湖だけの特異的な現象ではなく、レマン湖(スイスとフランスの国境)や撫仙湖(中国雲南省)など、琵琶湖と同じようなサイズの湖で共通に見られる現象です。このように深くて大きな湖の底で、何が起きているのでしょうか。

湖底付近の酸素濃度変化をよく知るために、私たちは、琵琶湖の水深90mの場所で、湖底から1mの高さと10mの高さのところに酸素を自動的に測る機器を2台設置しました。測定したのは2002年10月から2003年3月までのほぼ5ヶ月間です。

図2に示したように、2002年10月末に湖底上1mの高さで計測した溶解酸素濃度(水色)が、1リットル中1mg以下になりました。飽和溶解度で言えば7%よりも小さな値です。

年が明けて、2003年1月19日前後に、一気に酸素濃度は回復しました。そして、これ以降、湖底からの高さ1mにおける酸素濃度が、高さ10mの酸素濃度(橙色)より高くなりました。これは湖底に近い水が、酸素の豊富な重い水と入れ替わったことを意味しています。

毎年、このように琵琶湖の湖底に酸素が吹きこまれます。そのためには、冷たくて重い水が湖底まで到達するような寒い冬が必要です。でも、最近、暖かい冬が続くようになりました。このことが、琵琶湖の酸素低下の最大の原因となっているのです。

地球規模での気温の上昇は、世界の多くの場所で起こっており、さまざまな影響を湖に与えています。タンガニーカ湖(アフリカ)では風速が小さくなり漁獲量が激減していますし、青海湖(中国)では蒸発によって面積がだんだん小さくなっています。

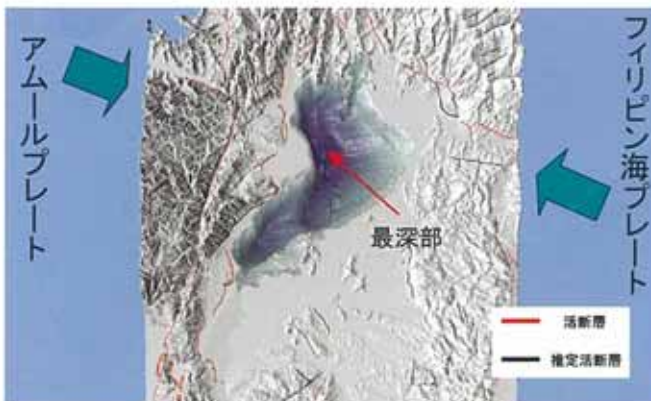


図1 琵琶湖湖底と周辺活断層の合成図(大阪工業大学情報科学部情報科学科横川美和氏および立命館大学理工学部口ス・ウォーカー氏提供の図を熊谷が合成した。)

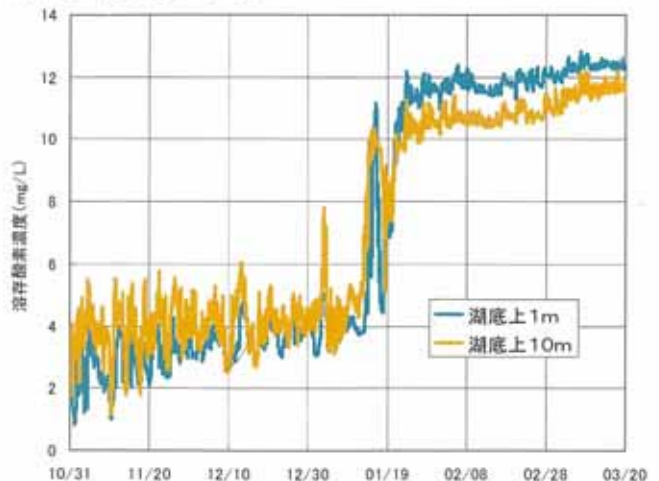


図2 北湖の湖底上1mと10mにおける溶解酸素濃度の変化



## 酸素の消費は、湖の健康状態のバロメーター

### 1. 富栄養化と酸素消費

湖水中の酸素は、空気中の酸素が水に溶けて供給されるものと、水中の植物が光合成によって作り出すものの、2種類あります。これらは、湖の浅い場所で起こっている現象なので、酸素濃度は湖の表面で高く、深くなるほど低くなる傾向があります。太陽の光が届かない深い場所では、もはや光合成ができないので酸素が生成されることはありません。

リンや窒素といった生物生産に必要な栄養塩が、湖や河川で増加する現象を**富栄養化**と呼んでいます。富栄養化が進行すると、植物プランクトンが異常に増殖し、赤潮やアオコ状態となる場合があります。このように湖面で増えた植物プランクトンなどは、衰退したり死滅すると深い場所へ沈んでいきますが、湖底に到達する途中でバクテリアによって分解され、無機物に変わります。この時に、酸素を消費します。したがって、湖内の生物量が多くなればなるほど、分解される有機物量も増え、たくさんの酸素が必要になります。

### 2. 琵琶湖の健康状態

私たちが健康診断をするときに、性別や年齢で分けるように、湖の健康状態を調べるためには、同じようなサイズの湖を比較しなければ正しい判定をすることができません。これまでは、そのような指標となるものさしをもたないで、湖の保全が議論されてきましたが、これは科学的ではありません。そこで、琵琶湖の健康状態を判断するために、琵琶湖と同じようなサイズの湖を比較してみましょう(表1)。

表1 琵琶湖と同じサイズの湖沼の諸元比較

	表面積 (km <sup>2</sup> )	最大水深 (m)	透明度 (m)	滞留時間 (年)
琵琶湖(日本)	670	104	1-6	5.5
ボーデン湖(ドイツ)	476	252	3-15	4.5
レマン湖 (スイス・フランス)	580	310	7-11	11.4
撫仙湖(中国)	211	155	5-11	125-135
タウボ湖 (ニュージーランド)	616	164	11-20	10.6
タホ湖(アメリカ)	499	505	20-28	700

どの湖も、表面積が100~1000km<sup>2</sup>、水深が100~1000mの間にあります。周辺の土地利用の形態や人口密度はさまざまですが、いずれも観光地や保養地として有名です。そのため、湖の水質や環境保全には格別の注意を払っています。

さて、これらの湖の深い場所における**みかけの酸素消費速度**を比較してみましょう。みかけの酸素消費速度とは、単位時間内に単位体積中の酸素が消費される量で、この値が高ければ高いほど、分解される有機物が多いということを意味しています。つまり、みかけの酸素消費速度は、湖の健康状態のバロメーターになるわけです。図3からわかるように、琵琶湖におけるみかけの酸素消費速度は、世界と同じようなサイズの湖沼よりはるかに高いのです。

なぜこんなことが起こるのでしょうか。それは、琵琶湖  
オウミアNo.78, p.2

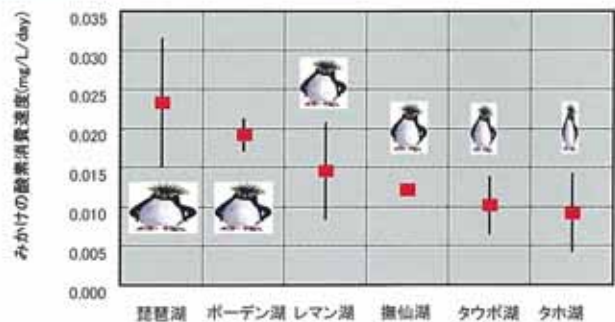


図3 世界の湖沼の健康診断

の周辺に人口が多いということと、琵琶湖が他の湖沼ほど深くないことによります。人口が多ければ、琵琶湖への栄養塩の流入も多くなります。それによって、湖の生物生産量が高くなります。死滅した生物は湖底に向かって沈んでいきますが、湖が十分に深ければ、湖底に届くまでに有機物は完全に分解されてしまいます。でも琵琶湖の深さは、沈降する有機物をすべて分解するには浅すぎるのです。ですから、未分解の有機物が湖底にたまったり、湖底近くで浮遊したりしており、これが酸素消費を高めているのです。つまり、琵琶湖の生物生産量は有機物の分解能力を超えており、人間で言えば肥満状態にあるということを意味しています。

### 3. 酸素濃度が少なくなるわけ

しかしながら、琵琶湖におけるみかけの酸素消費速度は過去からほとんど変化していません。つまり、琵琶湖における有機物生産量はあまり変わっていないのです。ではなぜ、2002年10月には酸素濃度が低くなったのでしょうか。

琵琶湖研究所では1994年から、琵琶湖の定期観測を行っています。その結果を詳細に見ると、2001~2002年にかけての冬期に湖底の水温があまり低下していないことに気がきました(図4)。このことは、上下の循環が不十分で、酸素が湖底に多く供給されなかったことを物語っています。酸素消費速度が変化しなくても、供給が減れば低酸素状態が起こります。こんなところにも気候変動の影響が現れています。ですから、今後温暖化が進行すれば、琵琶湖で慢性的な酸素不足が起こる可能性は非常に高いのです。これを防ぐためには、酸素供給を増やし消費を抑える努力をしなければなりません。(総括研究員 熊谷 道夫)

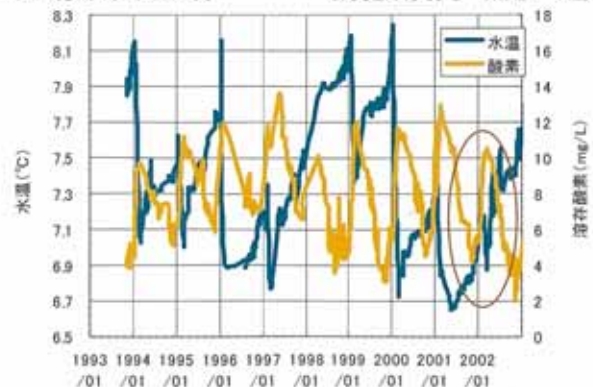


図4 琵琶湖湖底上10m層内における水温と酸素の変化



第20回琵琶湖研究シンポジウム記録①

地球温暖化に伴う深層水温の上昇

遠藤 修一 (滋賀大学教育学部)

1. 地球の温暖化

NOAA (アメリカ大気海洋局) の気象データベースを利用して、わが国の114地点における1940~1990年の年平均気温の変化を回帰直線として求め、50年間の気温の上昇・下降を地図上にプロットした (図1)。これを見ると、わが国の大部分の地点で明らかな気温上昇が認められ、東京、大阪、名古屋、札幌などの大都市では、ヒートアイランドの影響もあってこの50年間に1℃以上の気温上昇が観測されている。

次に、びわ湖の集水域における温暖化の実態を明らかにするために、彦根における過去約100年間の気象データを統計的に解析した。図2は、彦根における年平均気温の経年変化を示したもので、これによれば100年間に約1℃の気温上昇が観測されている。これは、主に最低気温の上昇が著しいためで、夏日や熱帯夜の増加に反映されている。図には示してないが、降水量は約100mm減少し、日照時間や相対湿度などに明らかな減少が見られた。

2. びわ湖の温暖化

次に、びわ湖の水温の経年変化を見るために、滋賀県水産試験場による毎月一回の定期観測データから、最も深い地点である測点IV (水深約77m) における水温データと、筆者らが過去約15年にわたって実施した水温観測のデータを解析した。

その結果、最近の約30年間で、どの深さにおいても水温が上昇していることがわかった。特に



図1 日本各地における1940年から1990年までの50年間の気温変化

1984年以降の上昇が顕著であり、温暖な年の連続が、このような水温上昇を生み出したものと考えられる。

図3は、深さ75mにおける各月の水温を時系列として示したものである。びわ湖北湖は1回循環湖 (亜熱帯湖) であり、年間の最低水温は4℃以上に保たれている。したがって、冬季の冷却がもたらす鉛直混合によって形成された最低水温は、その後の成層期における深層水温として保存される。この図をみると、1965年から1984年までは、

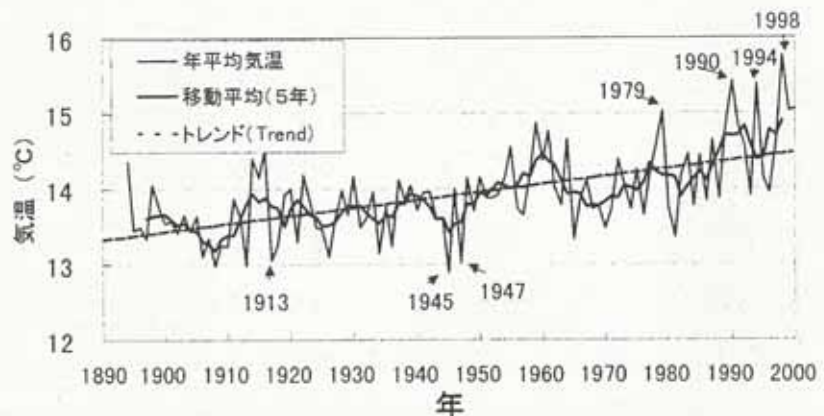


図2 彦根における年平均気温の変化 (彦根地方気象台による)

5～8℃の水温で推移している、寒冷な年には6℃以下の水温が出現している。注目すべきは、1984年以降の急速な温暖化であり、1991年や1994年には底層水温が9℃付近にまで上昇している。

つぎに深さ5m毎の年平均水温和を求め、これを深さ5mごとの容積と掛け合わせて、びわ湖全体の平均水温和(貯熱量)変化を見積もった。これをみると、

図3と同様に1985年から1990年にかけて、湖平均水温和は約1℃の上昇を示している。10℃の湖平均水温和が1℃上昇することは、びわ湖の容積273億m<sup>3</sup>と比熱および密度を用いて計算される総熱エネルギーが約 $2.7 \times 10^{14}$ kJ増加したことになり、これは日本全体で1年間に消費される一次エネルギーの約0.6%に相当する。すなわち、滋賀県民が1年間に消費するエネルギーに匹敵する熱エネルギーがびわ湖に蓄積されたことを意味する。

### 3. 湖水温暖化の影響

このように、近年のびわ湖水の温暖化は顕著であり、湖内での物質循環や生態系に与える影響が心配される。まず考えられることは、水温和が上昇することによって、冬に鉛直循環が十分に発達しなくなることである。びわ湖は春から秋にかけて水温和成層するので、表層と深層の水はほとんど混合しなくなるため、湖底付近の酸素はどんどん減少してゆく。現在は、無酸素になる前に冬の鉛直循環によって、豊富な酸素が供給され、かろうじて無酸素化がくい止められているが、冬季の水温和上昇によって鉛直循環が弱められると、びわ湖の深呼吸が阻害される。また、水は冷たいほど酸素をよく溶かす性質があるので、水温和上昇はますます酸素不足に拍車をかけることになる。

2番目として、温暖化に伴って植物プランクトンの大発生が心配される。これは水温和の悪化に直接関係する。さらに、大量のプランクトンの死骸



図3 びわ湖の底層(75m)における水温和の経年変化  
(滋賀県水産試験場と滋賀大学の観測資料による)

が沈降し、湖底付近で分解されるときに酸素を消費するが、これによって底層の溶存酸素濃度はますます低下する。湖底が無酸素状態になると、湖底堆積物から栄養塩や重金属などが湖水中に溶け出し、水質は急激に悪化することが確実である。

3番目は、温暖化に伴って、流域の降水量が変化するために、びわ湖の水収支や水の入れ替わりに変化が生じる可能性があることである。事実、最近の降水量は減少傾向にあり、びわ湖の水収支にも変化が見られるようになってきている。



## 北湖深水層における酸素変動のもつ意味

熊谷 道夫 (滋賀県琵琶湖研究所)

琵琶湖北湖深水層における溶存酸素濃度の低下について危惧されはじめてから久しい。1970年代に急速に減少した湖底付近の溶存酸素濃度も、1980年代後半から持ち直してきており、現在は小康状態であると言われている。しかしながら、1980年代後半と2001年に琵琶湖北湖湖底を撮影したビデオ映像を比較する限りでは、琵琶湖北湖の湖底環境は、以前より悪化しているように見える。例えば、湖底付近の浮遊物質が多くなっており、水中の透視度も悪くなっている。また漁業者からも湖底環境の悪化が指摘されている。

では、なぜこのような変化が、数値データとしてははっきりと現れないのだろうか。そのことを確かめるために、各関係機関で計測された琵琶湖北湖における溶存酸素濃度を、測定された点としてではなく、一定の幅をもった水塊中の量という形で議論する。というのは、すでに報告されたように、近年、琵琶湖北湖深水層中の水温が上昇してきており、それによって、深水層での鉛直混合が加速される可能性があるからである。

従って、ある幅をもった層で物事を考えないと、点での数値だけでは、実際に減少しているのか、上下の水が混合したために変化したのかが分からない。そこで、測定データを用いて水深80m以深の水塊中に含まれる酸素量を求めた。水深80mより深い場所にある水の容積は、8億トン弱であり、琵琶湖全体の容積の約3%にあたるが、この水塊に含まれる酸素量は、飽和状態で約900万トンになる。

琵琶湖北湖深水層の酸素濃度は主に冬期に供給されるが、いつも飽和状態になるわけではなく、年によって80%~100%の間の数値となる。これは、酸素供給量や混合の強さが年によって異なることを意味している。従来、湖沼における酸素は、

冬期の気温低下に伴う湖面冷却が引き起こす鉛直対流によって湖面から湖底へ供給されると考えられている。また、冬の季節風による鉛直混合も酸素供給に大きく貢献していると思われる。しかしながら、琵琶湖のように大きい湖の深い場所では、必ずしもそうでないことがわかってきた。

例えば、琵琶湖における1982年から2000年までのデータを見る限りでは、冬期の気温と湖底付近(水深約90m)における溶存酸素濃度の間には有意な相関はない。しかしながら、冬期の降水量(1-3月)と湖底酸素濃度の間には非常に強い正の相関関係がある。このことは、湖底への酸素供給に、融雪を含んだ、冬期の降水が大きな役割を果たしていることを示唆している。

また、スイスにあるレマン湖では、1998年まで、湖底付近(307m)の酸素濃度が、1~3mg/Lと低い値を示していたが、1999年に突然9mg/Lまで回復した。一方、この間、気温はほとんど同じような変化をしていた。このことは、湖底付近の酸素が長い間(約13年間)回復しないで、1999年に突然回復した原因が、気温以外の要因によるものと思われる。なぜこのような急激な酸素回復が発生したかは現在調査中であるが、琵琶湖の将来を考える上で非常に参考になると思われる。



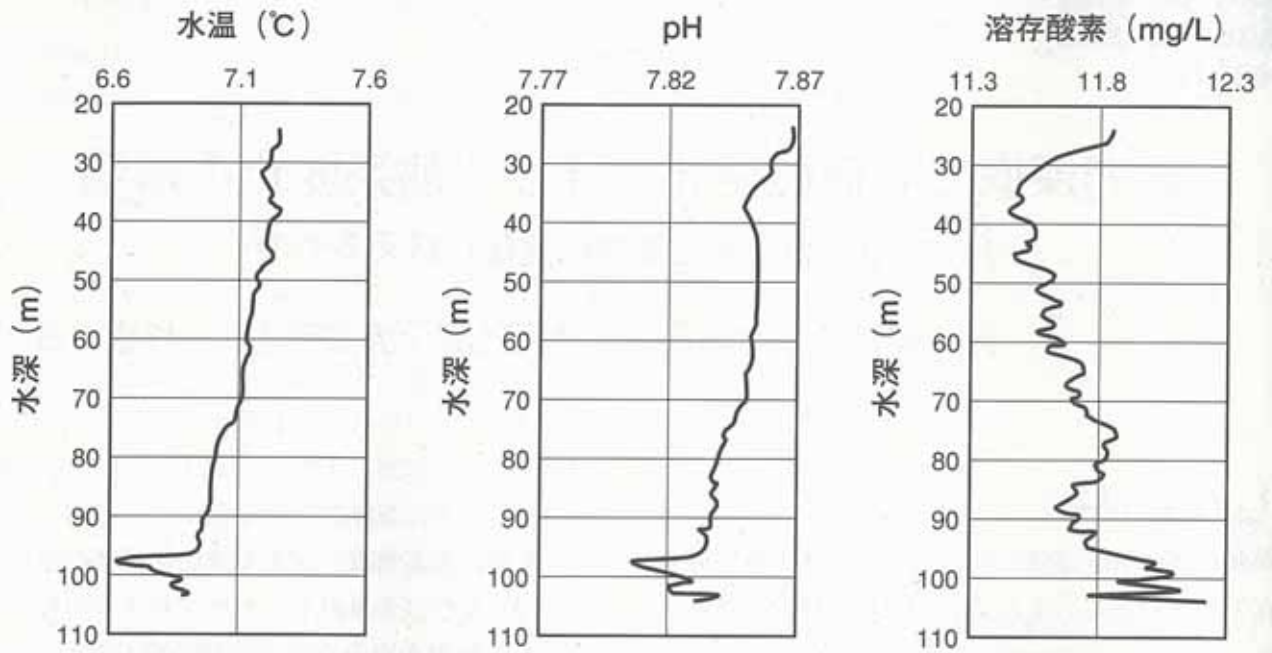


図 淡探が捉えた湖底付近の融雪水の潜り込み。水深97mよりも深いところで水温とpHが低く、溶存酸素濃度が高い水塊があった。

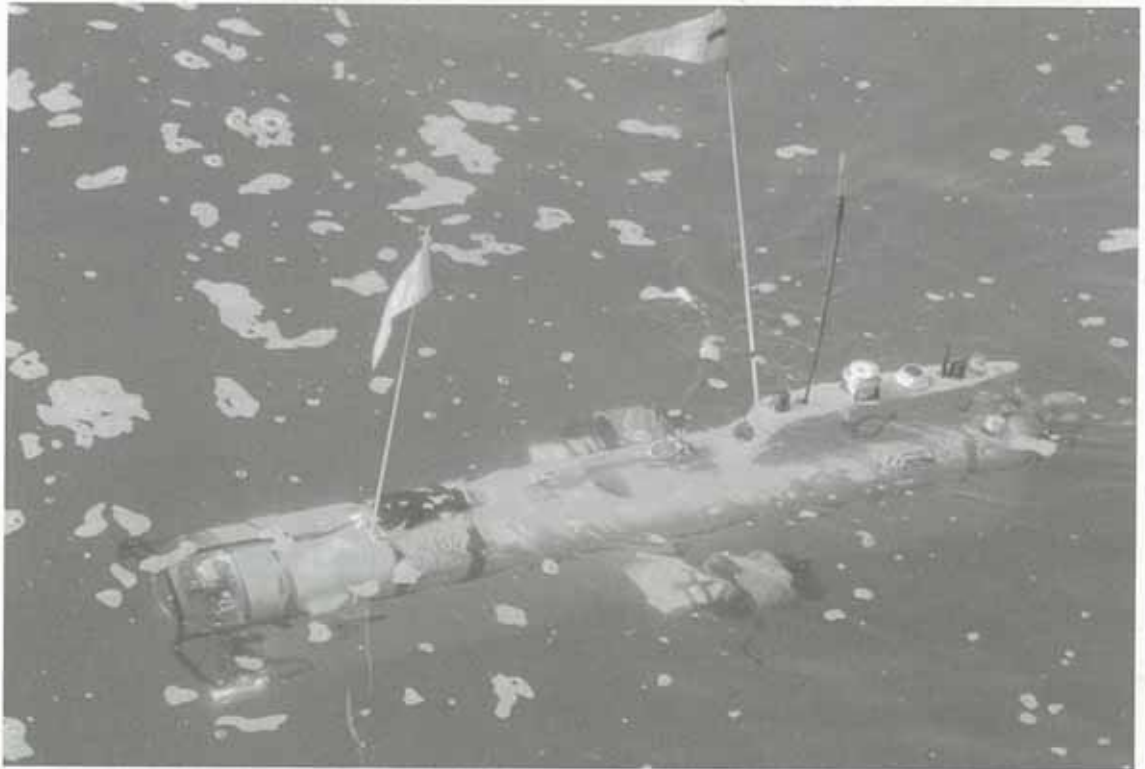


写真 淡探は、2000年に滋賀県琵琶湖研究所、国土交通省（旧建設省）、東京大学、三井造船株式会社が共同で開発した自律型潜水ロボットである。全長は200cm、空中重量は180kgあり、2ノット（秒速1m）で前進することができる。149.4V、29.4A/hの充電可能なリチウムイオン電池を電源としており、12時間の連続航行が可能である。内部に8種類のセンサーを有しており、水温、pH、電気伝導度、濁度、溶存酸素、酸化還元電位、圧力、クロロフィルa蛍光を測定できる。また、水平510ピクセル、垂直492ピクセルのCCDカメラを利用した倍率66倍から445倍までの水中顕微鏡と、水平768ピクセル、垂直494ピクセルの通常のCCDビデオカメラ（SONY EVI-370）を搭載しており、大小様々な水中の画像を記録できる。

(参考) : 姉川河川水の水温と溶存酸素の関係

