

第4回iRICオンラインワークショップ

密度流の基礎知識と適用例

北海道大学 清水康行

iRIC オンライン ワークショップ(第4回)

- 日時: 2020年12月22日 16:00-18:00
形式: Zoomによるオンライン会議およびYouTubeによるライブ配信
- テーマ: iRICによる密度流モデル
- 話題提供予定者:
 - (1) 北見工業大学 **吉川泰弘准教授**: iRICへの平面2次元河氷変動計算モデルの組み込みに向けて
 - (2) (株)開発工営 **濱木道大氏**: iRICによる結氷河川の2次元水温・氷厚計算モデル
 - (3) 北海道大学 **清水康行教授**: 密度流モデルの基礎知識と事例
 - (4) (株)エコー **Chamila Niroshinie氏**: iRIC新規搭載密度流モデル **【Nays2dv】** と **【Nays3dv】** の概要および事例集のデモンストレーション
- オンライン申し込みサイトは近日オープン予定

鉛直2次元の流体の基礎式

連続式

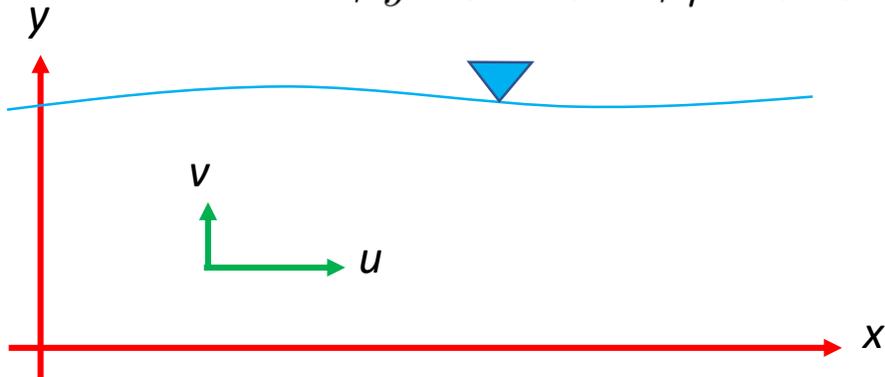
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

鉛直2次元運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] - g \quad (3)$$

ここで、 x および y はそれぞれ水平方向および鉛直上方向の距離、 t は時間、 u および v はそれぞれ x 、 y 方向の流速、 ρ は流体の密度、 ν は渦動粘性係数、 g は重力加速度、 p は圧力。



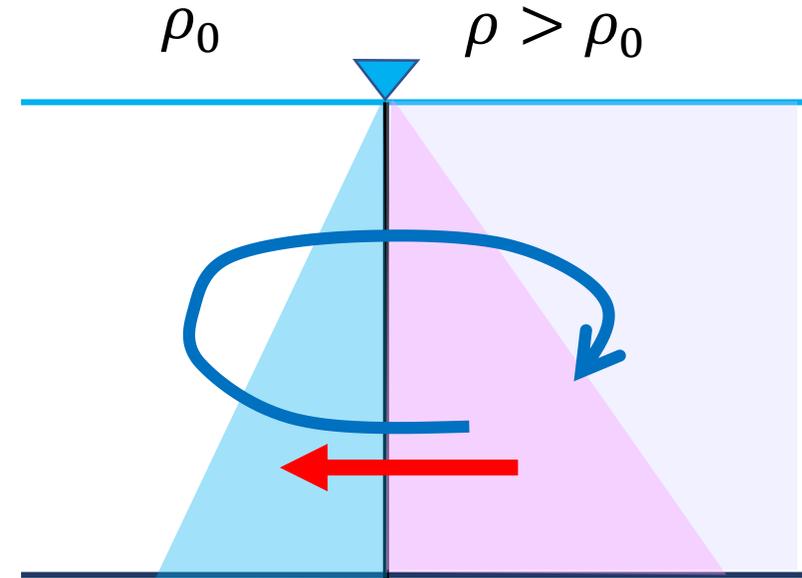
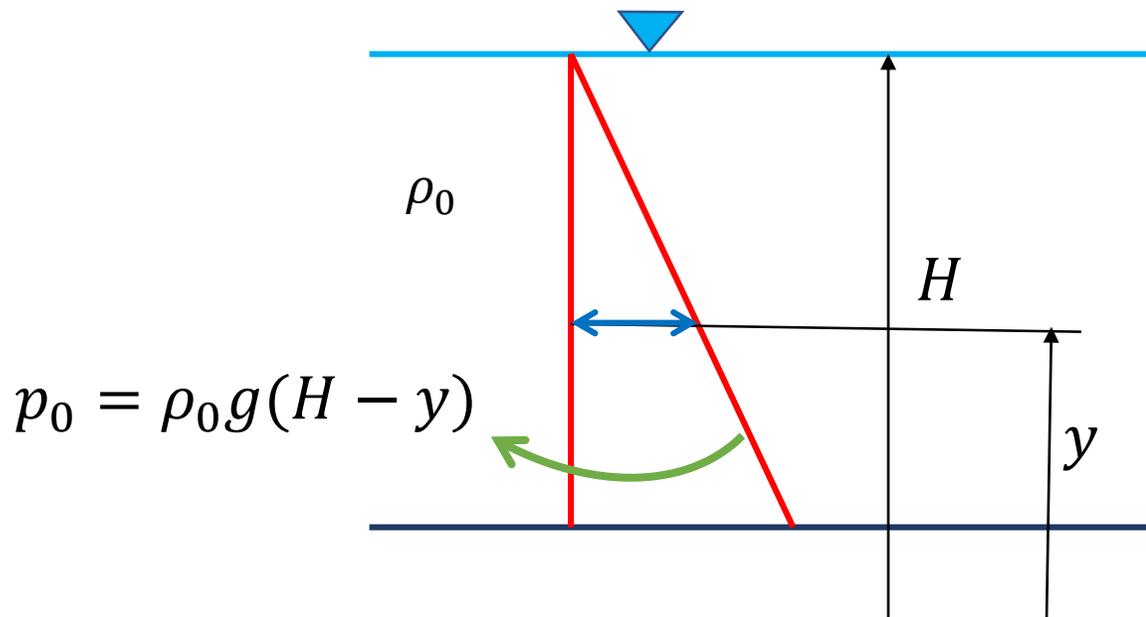
(3)式右辺に $-g$ が付いただけ。
水深 h (水位 H) が無い?

圧力 p を，静水圧 p_0 と静水圧からの変動成分 p' に分けて考える．

ただし，ここでの静水圧とは流体全部が密度 ρ_0 で静止状態にあるときの水圧．

$$p = p_0 + p' = g \int_y^H \rho_0 dy + p' = \rho_0 g(H - y) + p' \quad (4)$$

ただし ρ_0 は基準密度 (バックグラウンド密度, 参照密度... = 一定値), H は水位である．



この関係を用いると, x, y 方向の圧力項と重力項は,

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\rho_0}{\rho} g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} \quad (5)$$

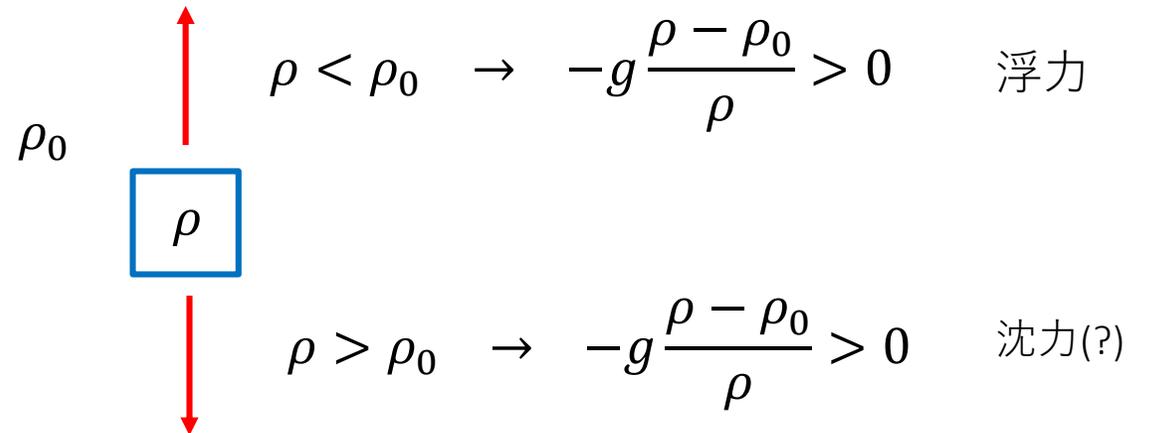
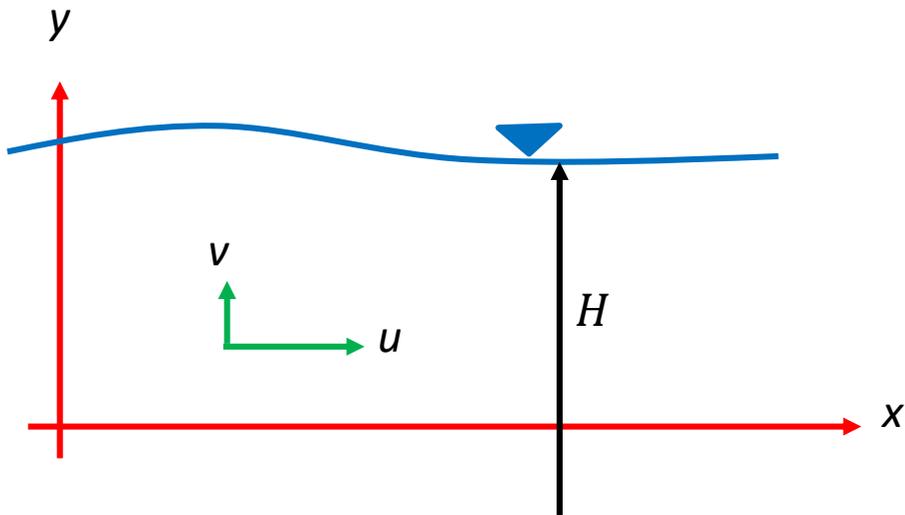
$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \{\rho_0 g(H - y) + p'\}}{\partial y} - g = \frac{\rho_0}{\rho} g - g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} = -g \frac{\rho - \rho_0}{\rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} \quad (6)$$

p' を p に置き換え, 分母にある ρ はすべて ρ_0 に等しいと近似 (ブシネスク近似) すると, 鉛直2次元運動方程式は以下となる. なお, ブシネスク近似とは「密度変化は重力に比例した浮力としてのみ流体の運動に影響を及ぼし, 運動量の変化を無視する.」ということである.

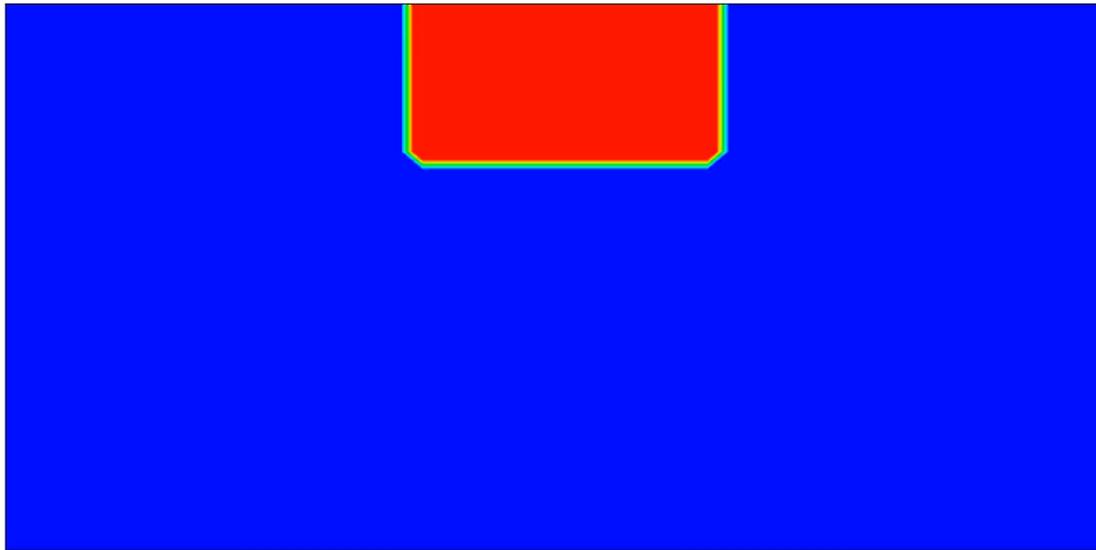
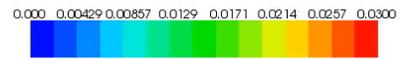
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} - g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - g \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (8)$$

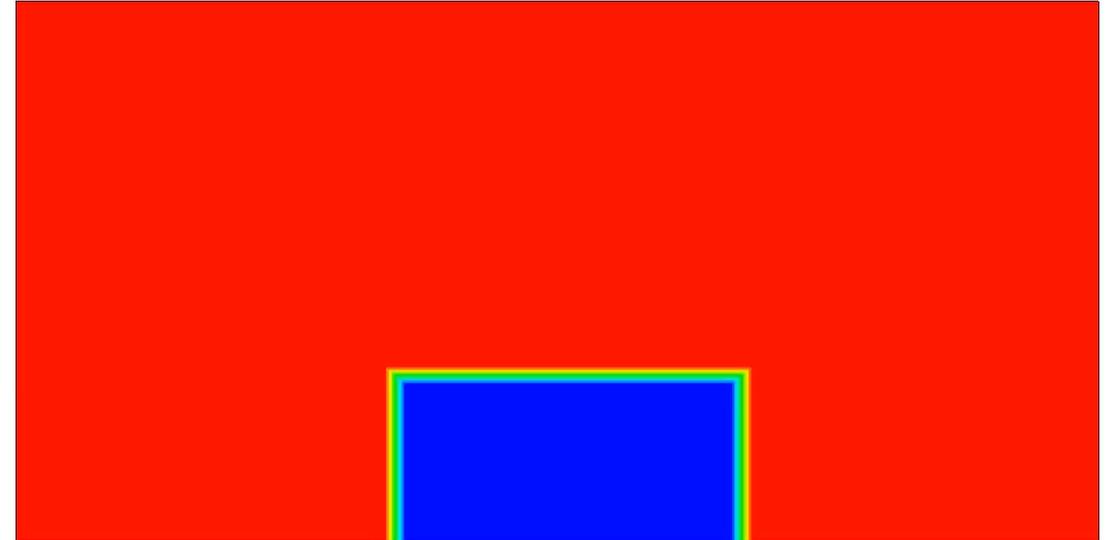
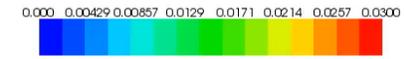
浮力項

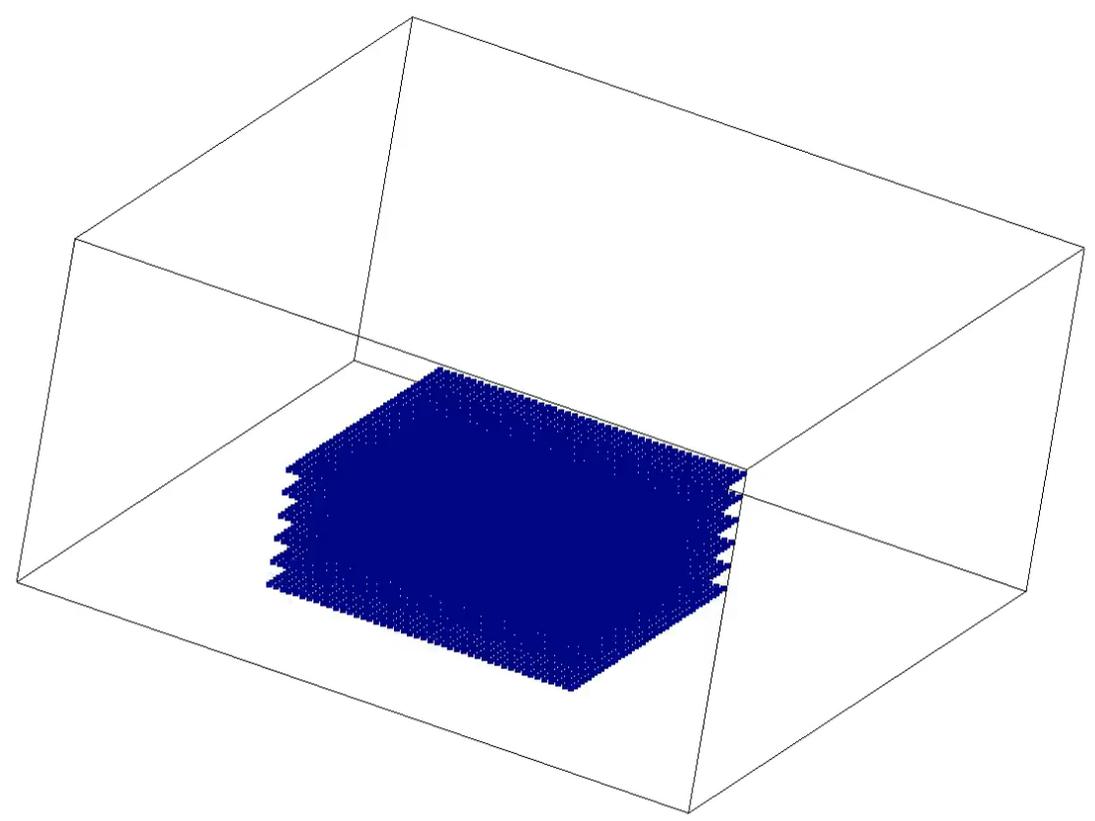


Concentration

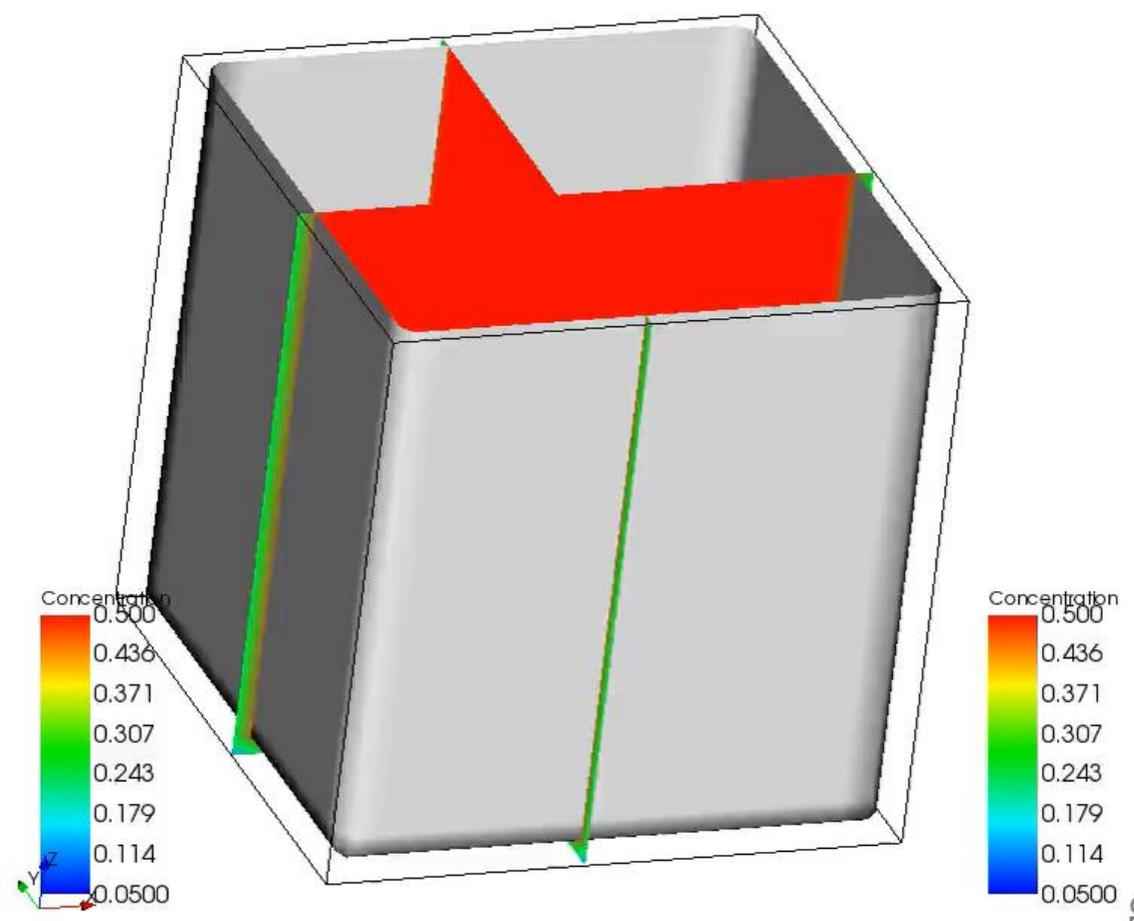


Concentration





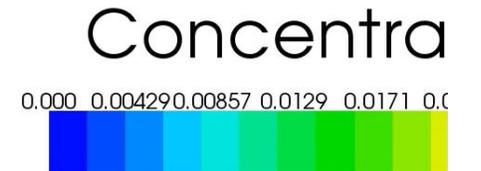
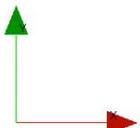
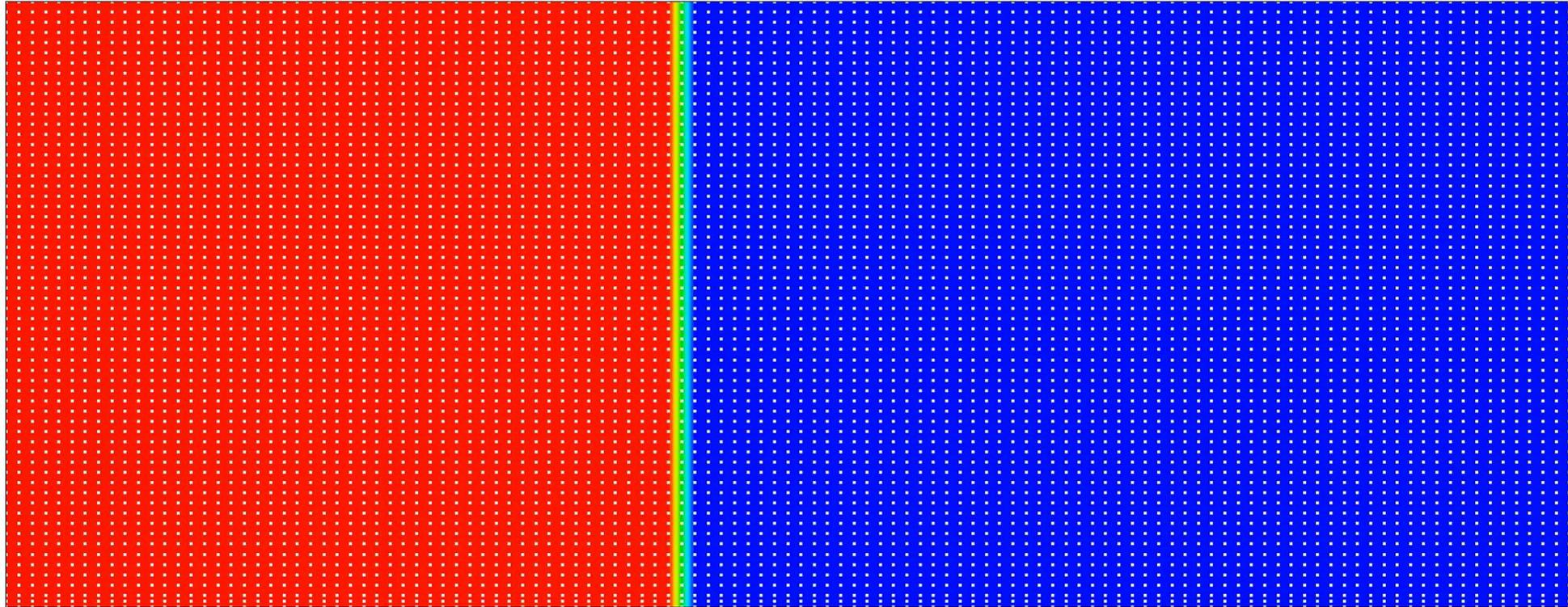
Time: 0 sec



Time: 0 sec

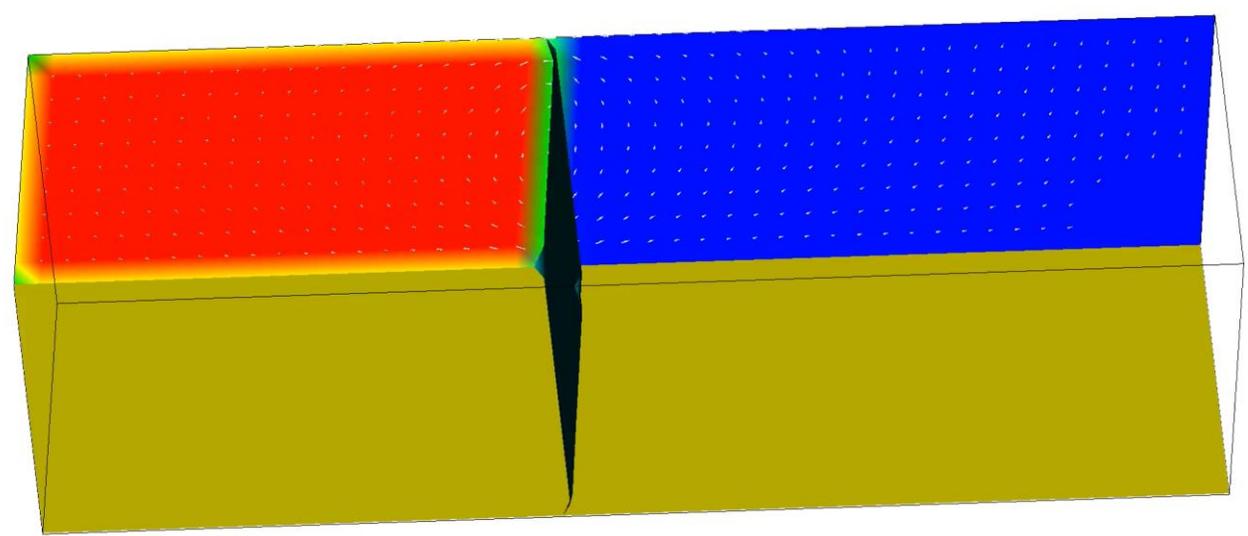
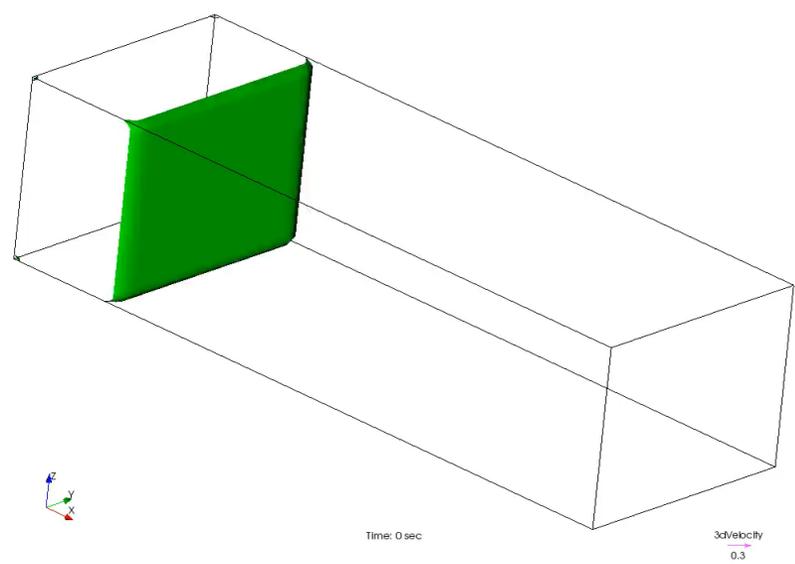
3dVelocity
→
1

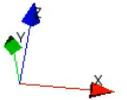
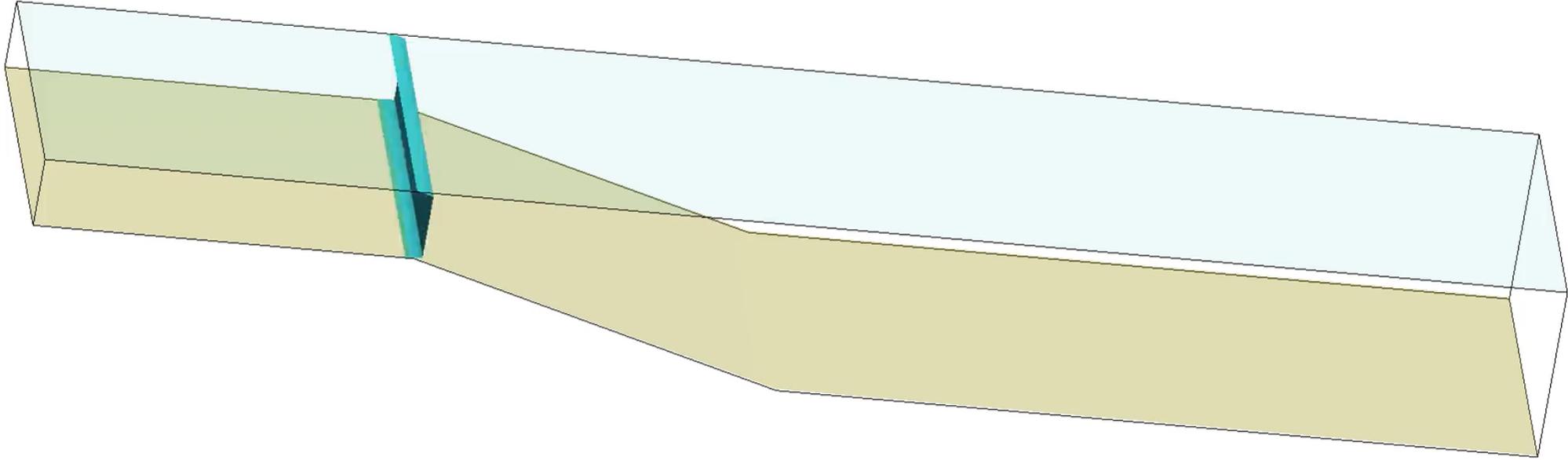






iRIC Software
Changing River Science

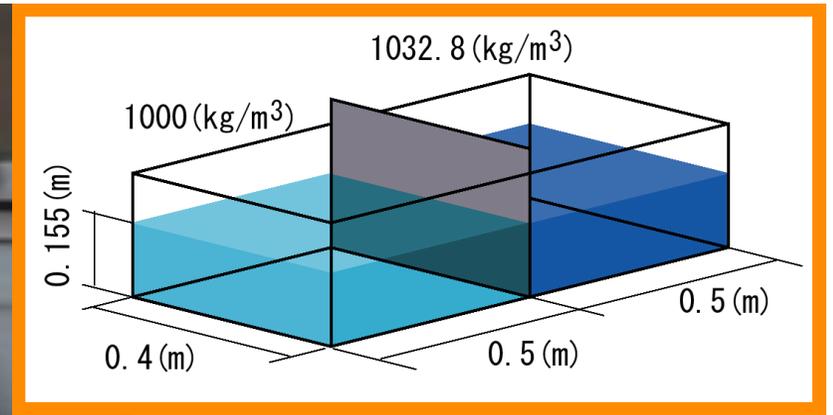




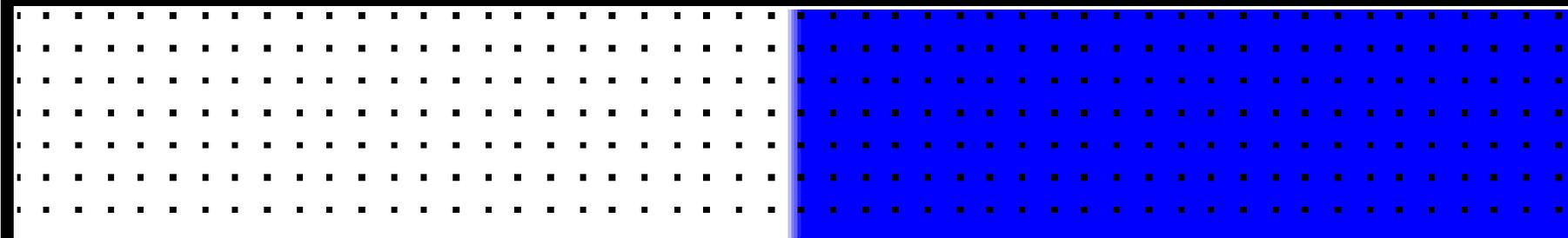
Time: 0 sec

3D Velocity





赤堀ら(2001)



time : 0.00000

Experiment



t=0.0(sec)



t=2.1(sec)



t=4.1(sec)



t=6.1(sec)

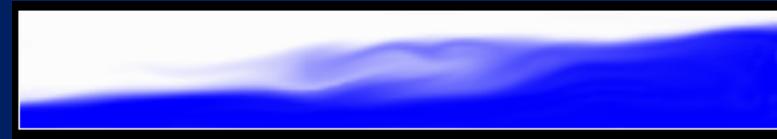
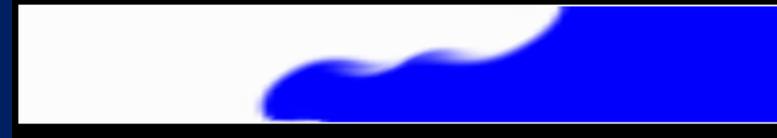
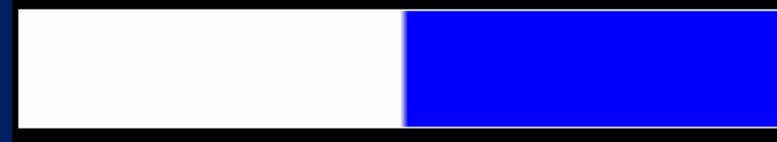


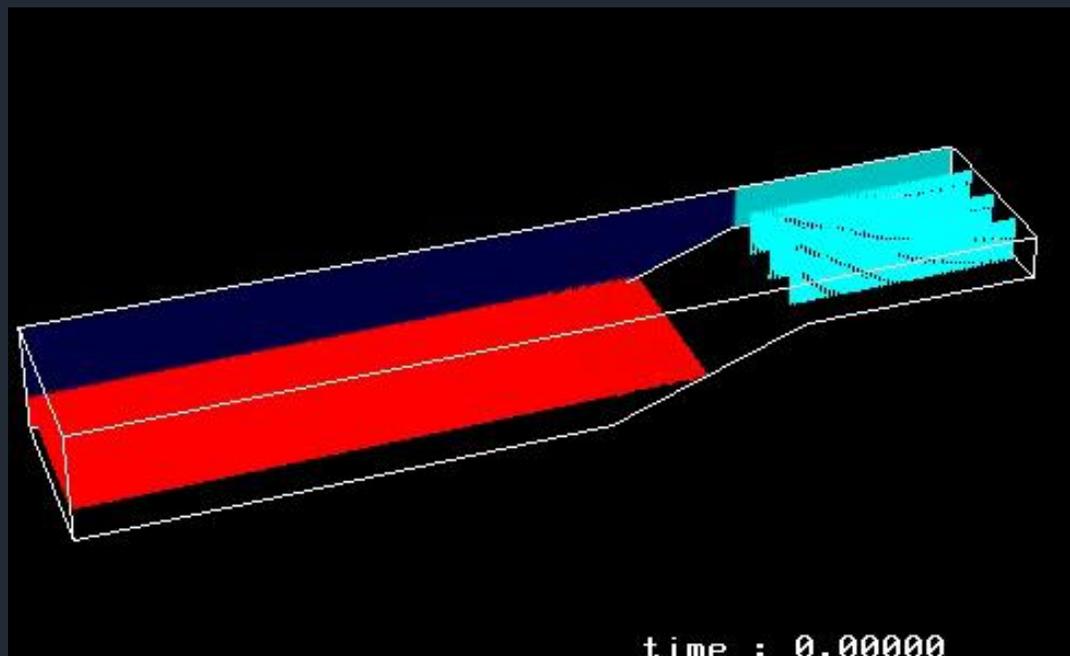
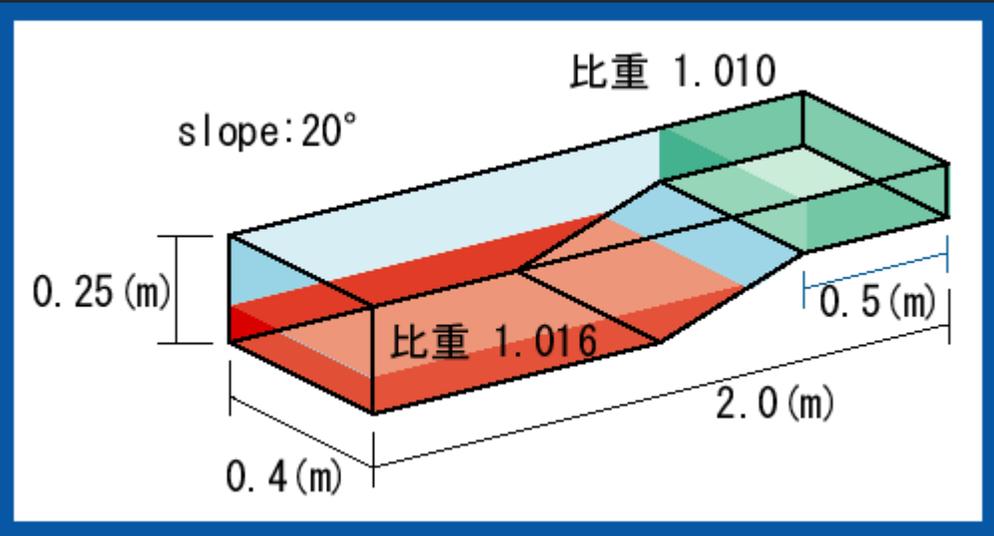
t=12.2(sec)



t=25.1(sec)

Calculation



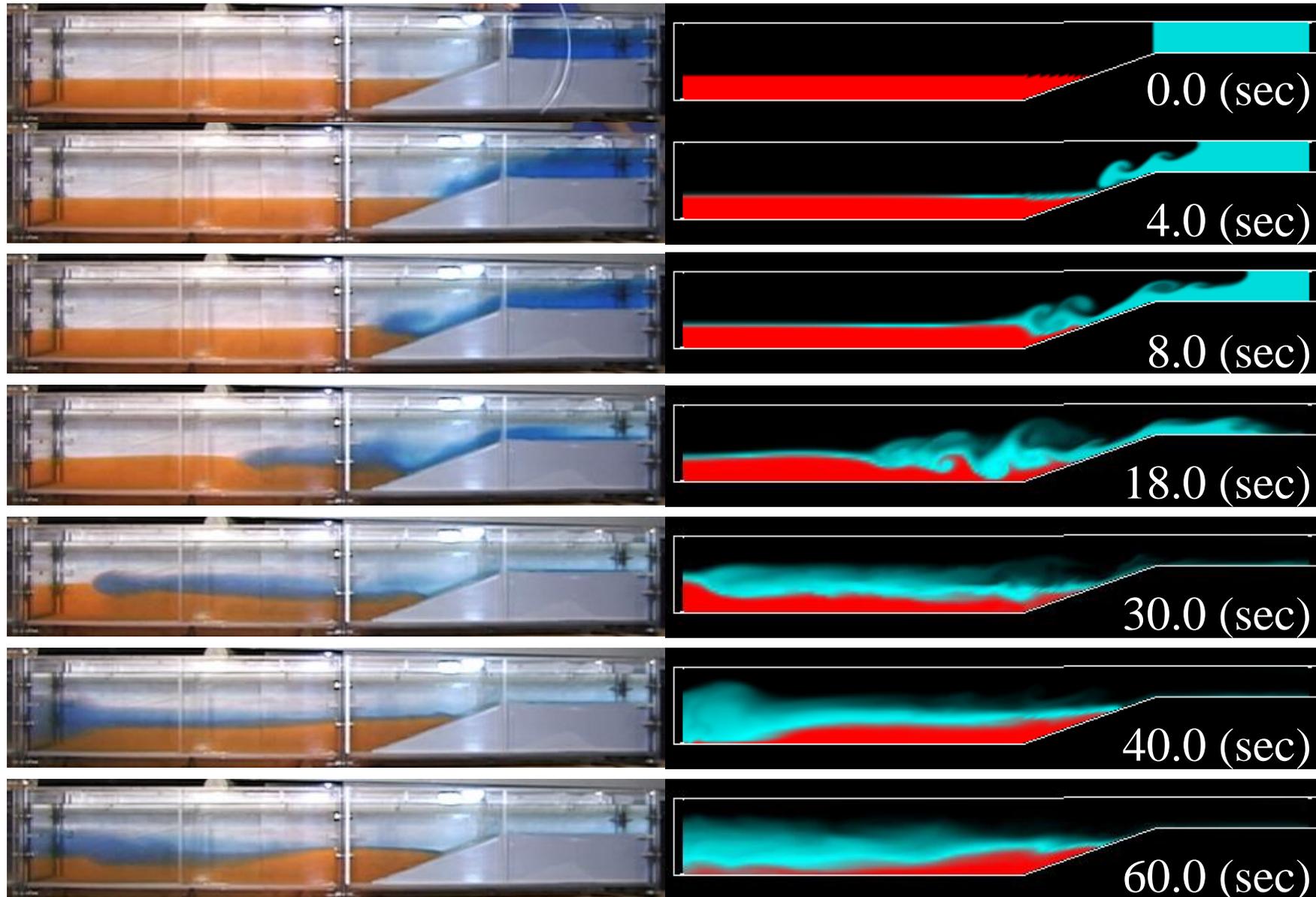


赤堀ら(2001)

Experiment

Calculation

赤堀ら(2001)

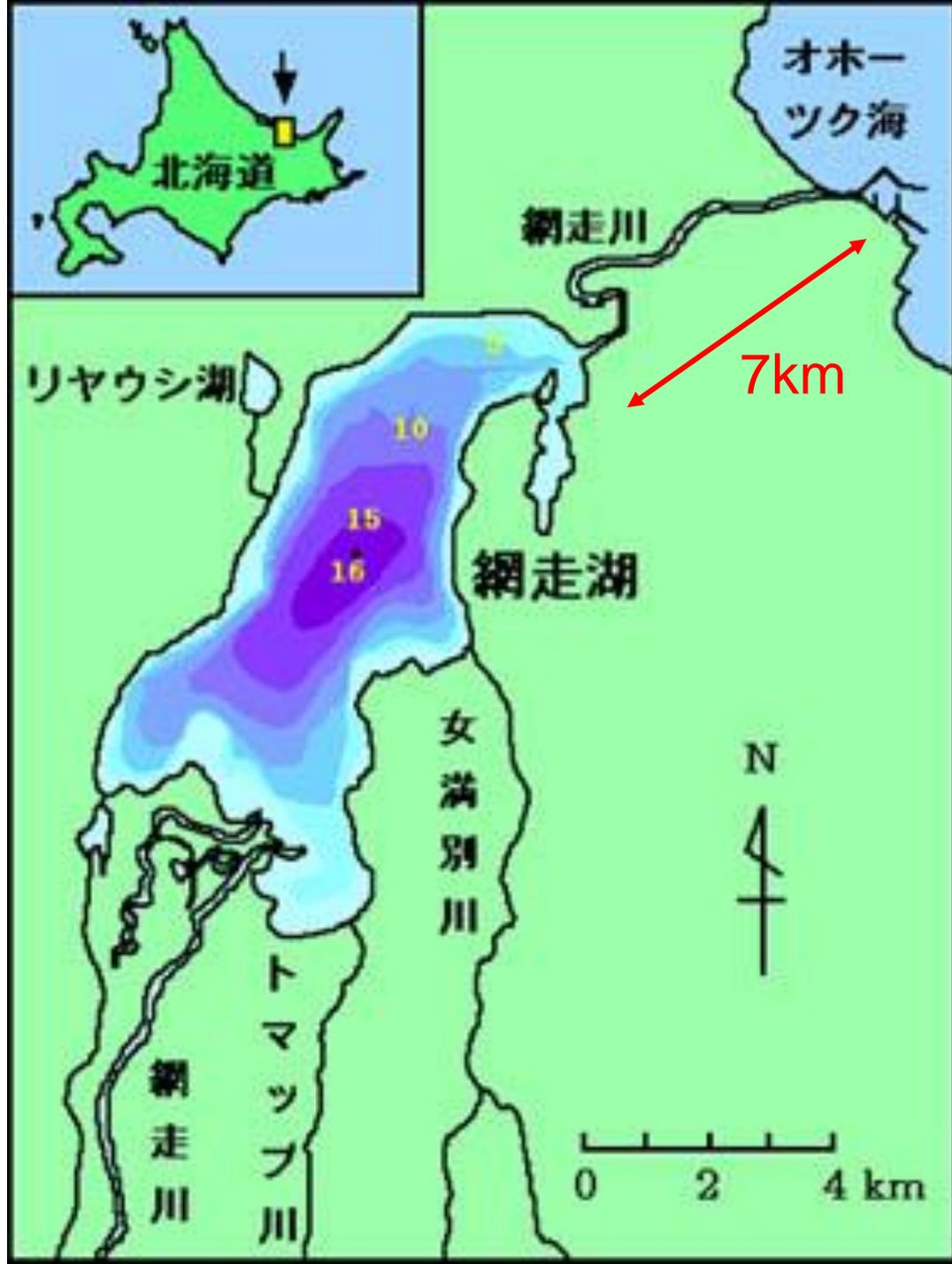


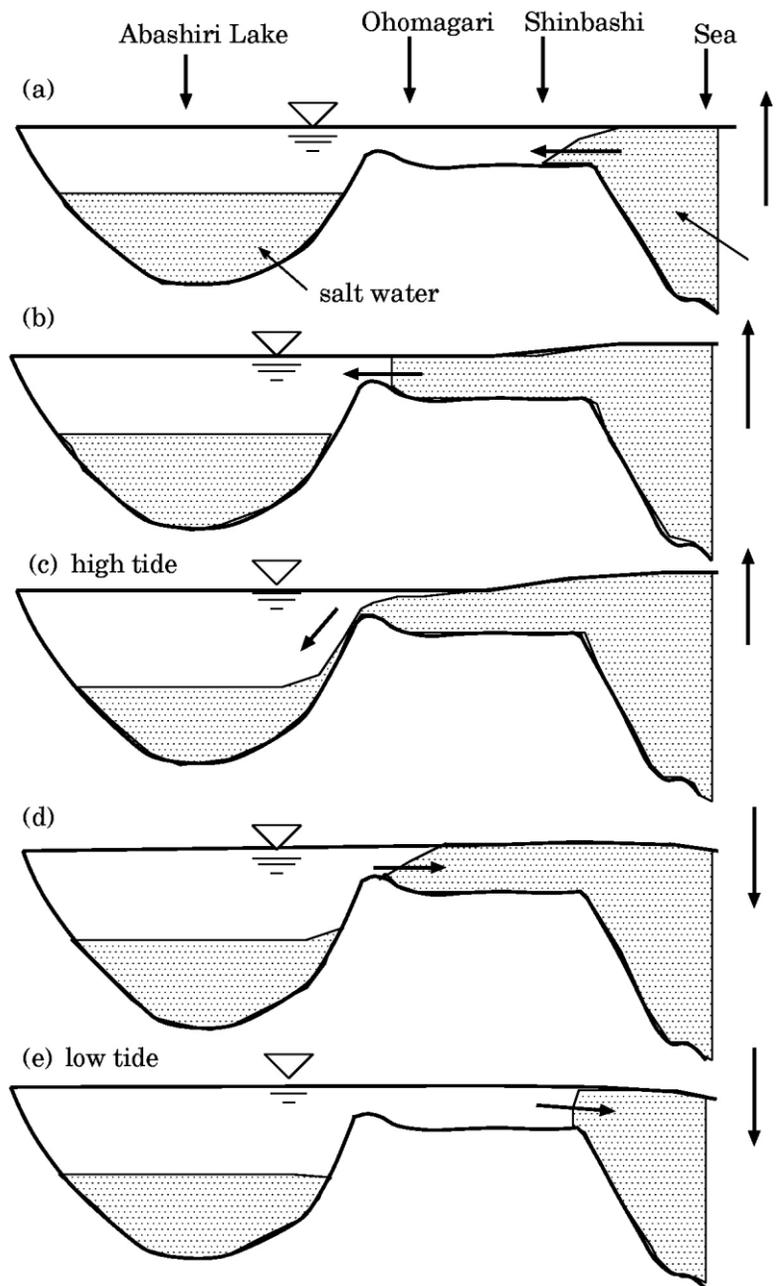


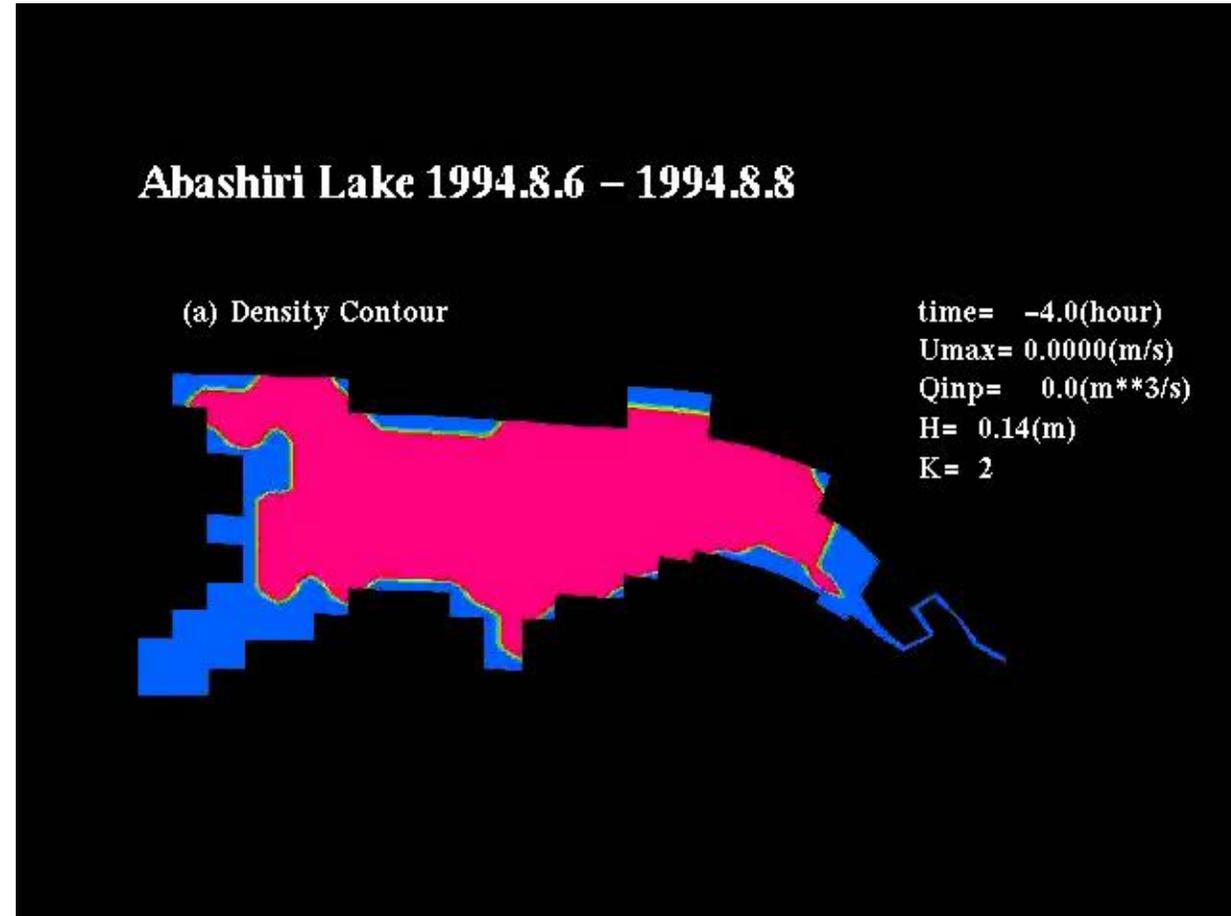
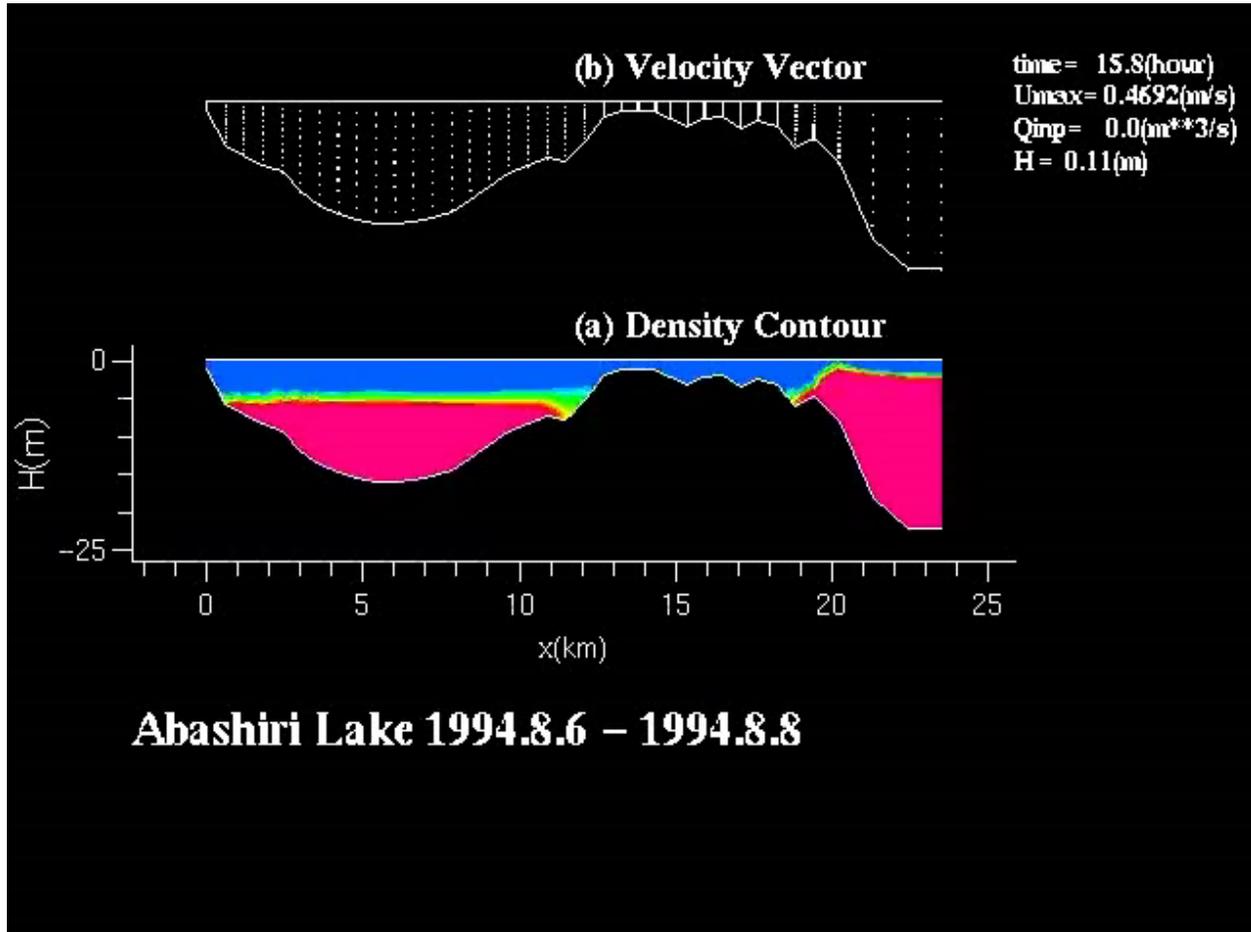
網走川
L=115km
A=1,380km²



KODAK







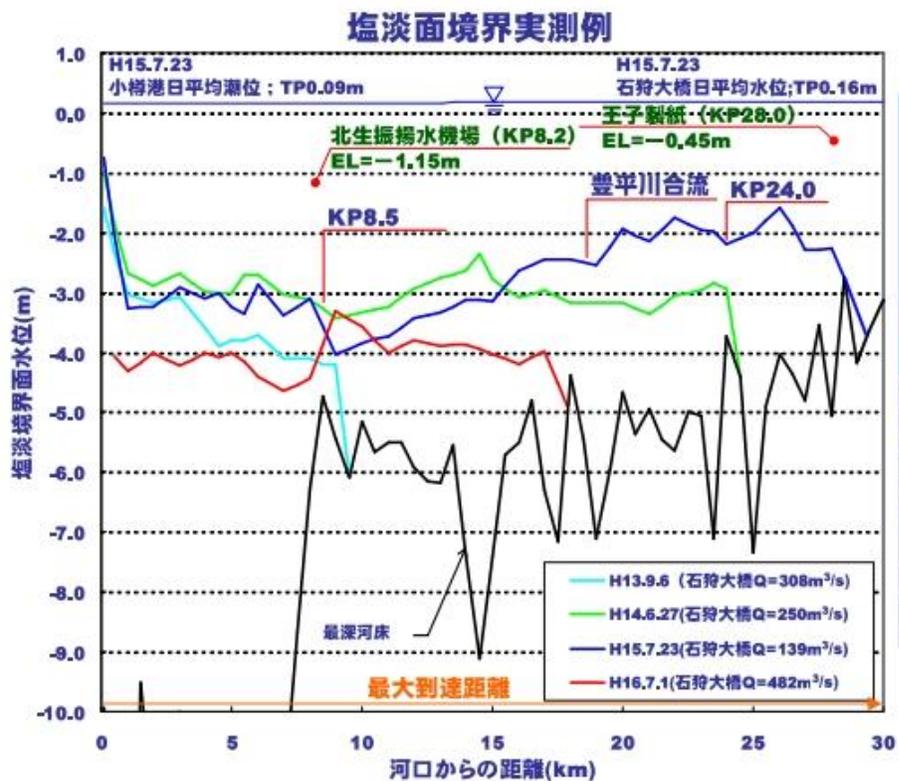
清水ら(1997)

石狩川の 塩水楔遡上

環境

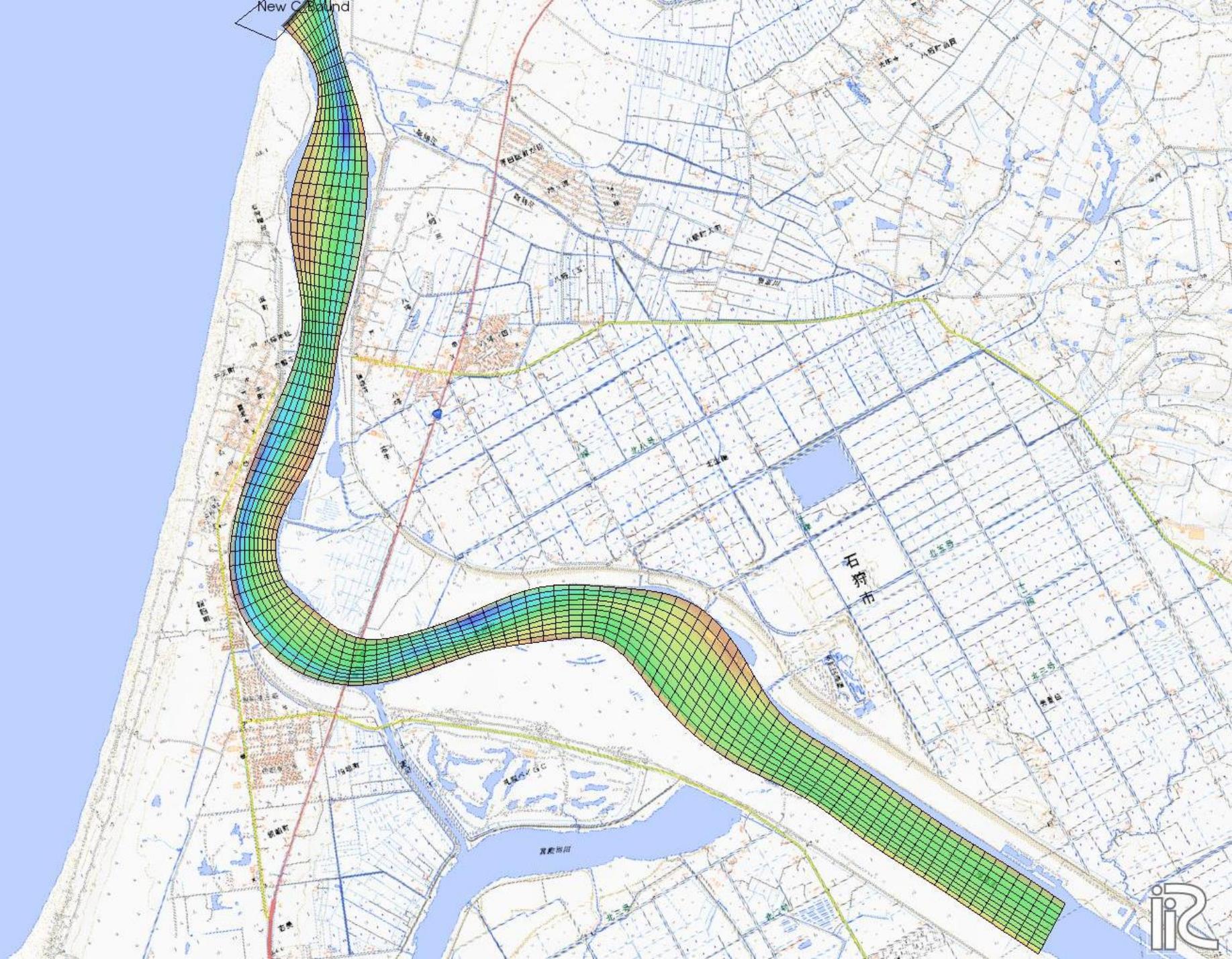
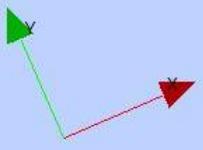
塩水遡上の状況①

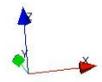
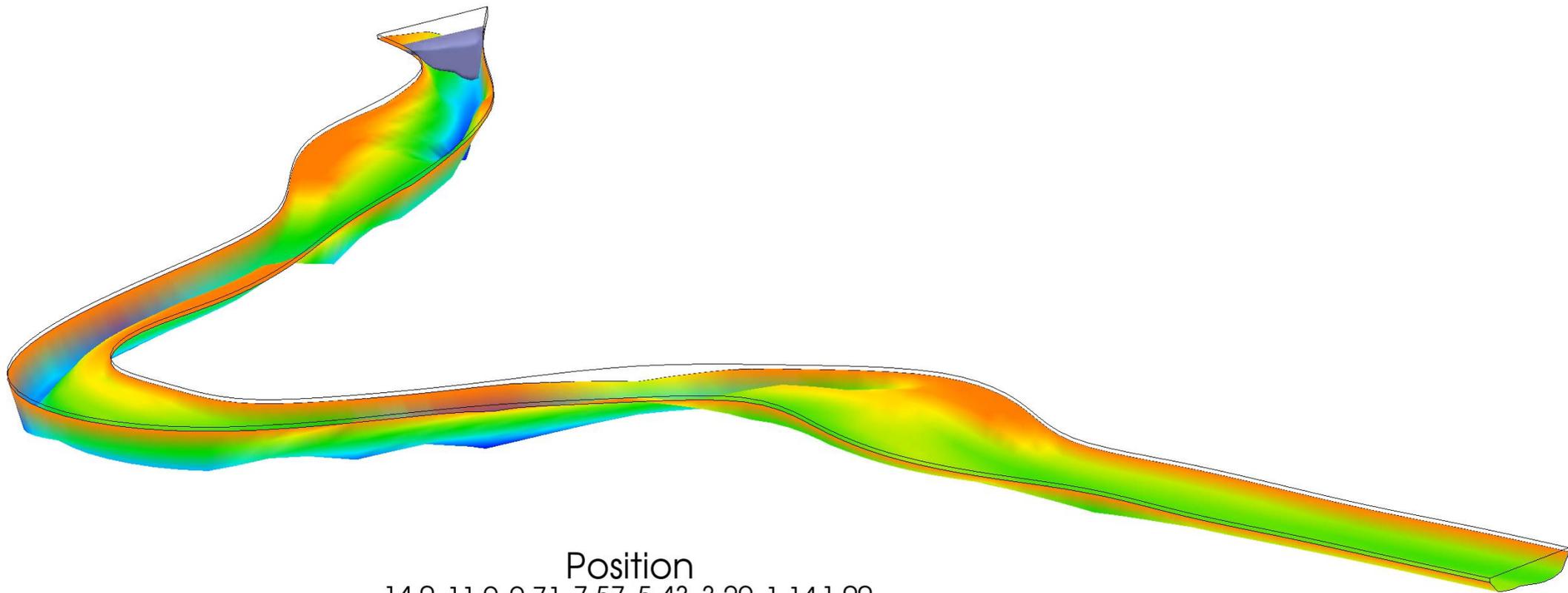
- ◆ 昭和63年～平成16年まで、夏季流況安定時に塩淡水境界を実測。
- ◆ 渇水時期に最長で河口から約30kmまでの遡上を観測。
- ◆ 塩水遡上は、河床地形、流況、潮位に影響される。



第25回石狩川流域
委員会資料
(北海道開発局)

New C-bound





Time: 0 sec



高瀬川・小川原湖への塩水侵入

国土交通省
高瀬川河川事務所HPより

小川原湖への塩水の侵入は、高瀬川を通じて行われます。



潮位が湖水位より高くなると、塩水の侵入が始まります(その1、その2)。その後、潮位が湖水位より低くなると大部分の塩水は太平洋へと戻っていきませんが、プランジングポイントと呼ばれる境界点を越えた塩水は小川原湖の浅瀬部分に貯まります(その3)。さらに、小川原湖内のマウンド部分を超えた塩水は、底層密度流と呼ばれる流れとなって、湖底に侵入していきます(その4)。

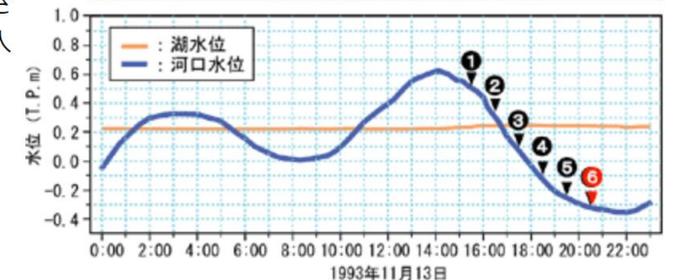
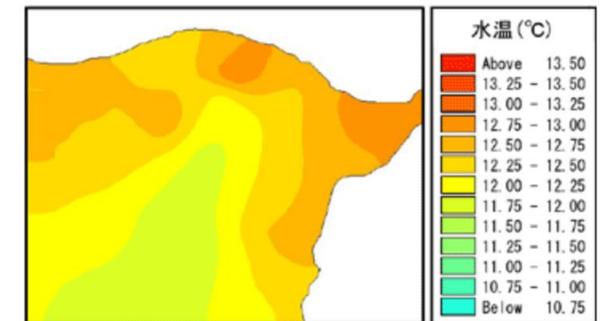


小川原湖への塩水進入経路とプランジングポイント



塩水と湖水との温度差に着目し、水温の状況から塩水の侵入状況を把握する調査がされており、この調査により色々なことがわかりました。大量の塩水が流入した場合には、通常考えられている滞筋の進入経路以外にも複数の経路を辿って湖底へと侵入することがわかりました。また、湖口部の浅い水域には大量の塩水が長時間滞留することや、その後希釈された低濃度の塩水が徐々に湖底へと侵入すること、などがわかりました。

湖口水温分布 1993年11月13日 20時30分



水温分布からみた湖口部の塩水侵入状況

密度流（全国の事例）

天塩川

汽水環境（シジミとか）改善の観点

<https://www.hkd.mlit.go.jp/rm/tisui/dfvnau0000005jq9-att/dfvnau0000005jwl.pdf>

高瀬川、小川原湖

汽水環境、シジミや内水面漁業の関係

高瀬川河川事務所のHP

<https://www.thr.mlit.go.jp/takase/mizu/4-2.html>

利根川

塩水遡上による水利用（水道、農業用水など）への影響、利根川河口堰を設置

https://www.water.go.jp/kanto/kasumiga/kouhoushi/kakouzek_pnf%20151001v.pdf

那珂川

塩水遡上による水利用（水道、農業用水など）への影響

<https://www.ktr.mlit.go.jp/dousui/dousui0009.html>

斐伊川

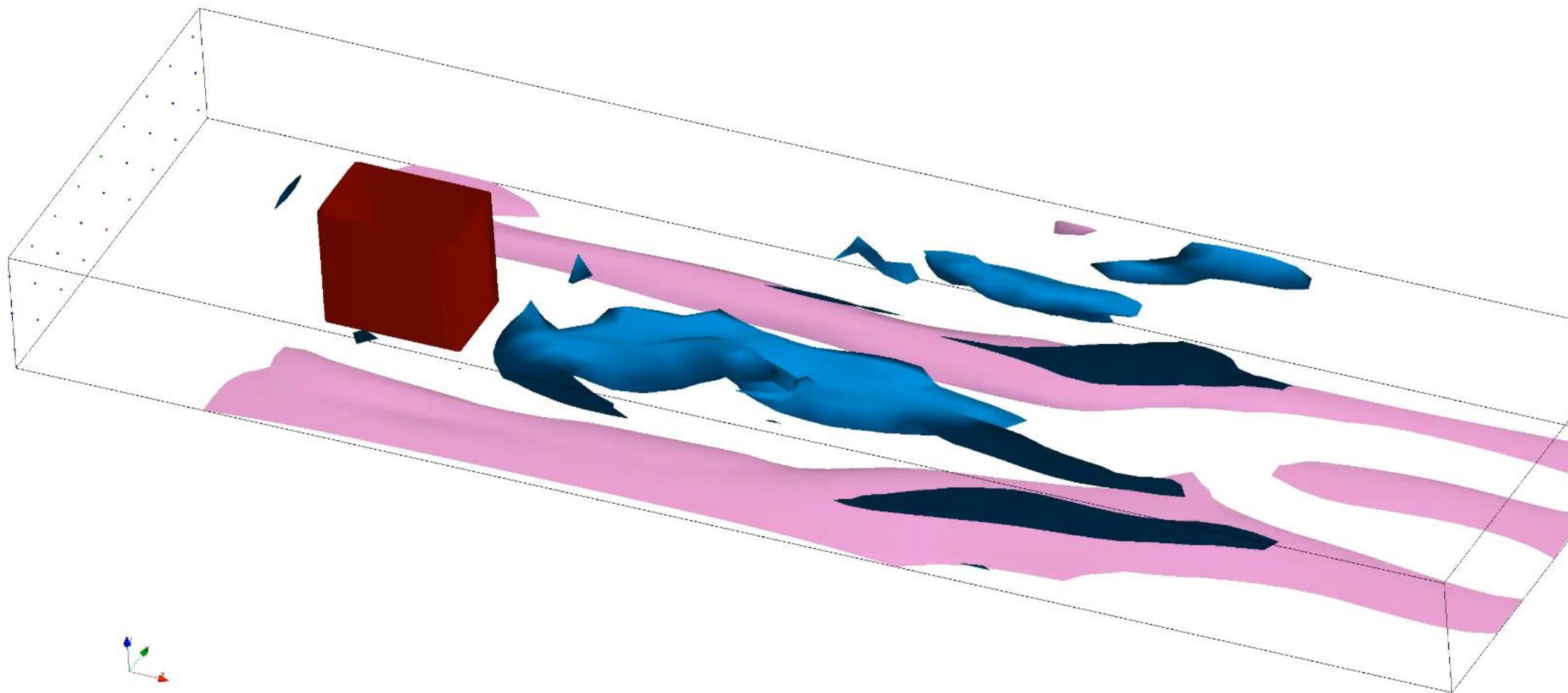
汽水環境（シジミとか）

中海と宍道湖をつなぐ大橋川の改修にあたって、汽水環境への影響

https://www.cgr.mlit.go.jp/izumokasen/iinkai/oohashigawa/kaishu-chousa/saishu/files/honpen_f_3.1-3.2.pdf

Object Browser

- nays3dQ version1.0(Riv...
 - iRICZone
 - Grid shape
 - Contours
 - Z-Vorticity
 - Isosurfaces
 - Z-Vorticity
 - 3dObstacle
 - Y-Vorticity
 - X-Vorticity
 - Sigma
 - Z-Vorticity
 - Y-Vorticity
 - X-Vorticity
 - Arrow
 - Face001
 - Face002
 - Face003
 - Face004
 - Face005
 - Streamlines
 - 3dVelocity
 - Particles (auto)
 - 3dVelocity
 - Label
 - Title
 - Time
 - Axes



Time: 12.0 sec

3dVelocity
0.4