復習　開水路の流れの分類

<table>
<tr><th>時間的変化</th><th>空間的変化</th><th></th></tr>
<tr><td rowspan="3">なし
定常流
Steady Flow</td><td>なし
(定常)等流
Uniform Flow</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">あり
(定常)不等流
Non-Uniform Flow</td><td>漸変流
Gradually Varied Flow</td></tr>
<tr><td>急変流
Rapidly Varied Flow</td></tr>
<tr><td rowspan="2">あり
非定常流
Unsteady Flow</td><td>なし
非定常等流
Unsteady Uniform Flow</td><td></td></tr>
<tr><td>あり
非定常不等流
Unsteady Non-uniform Flow</td><td></td></tr>
</table>

第5章　開水路の非定常流

基本に戻って・・・　$F = m\alpha$

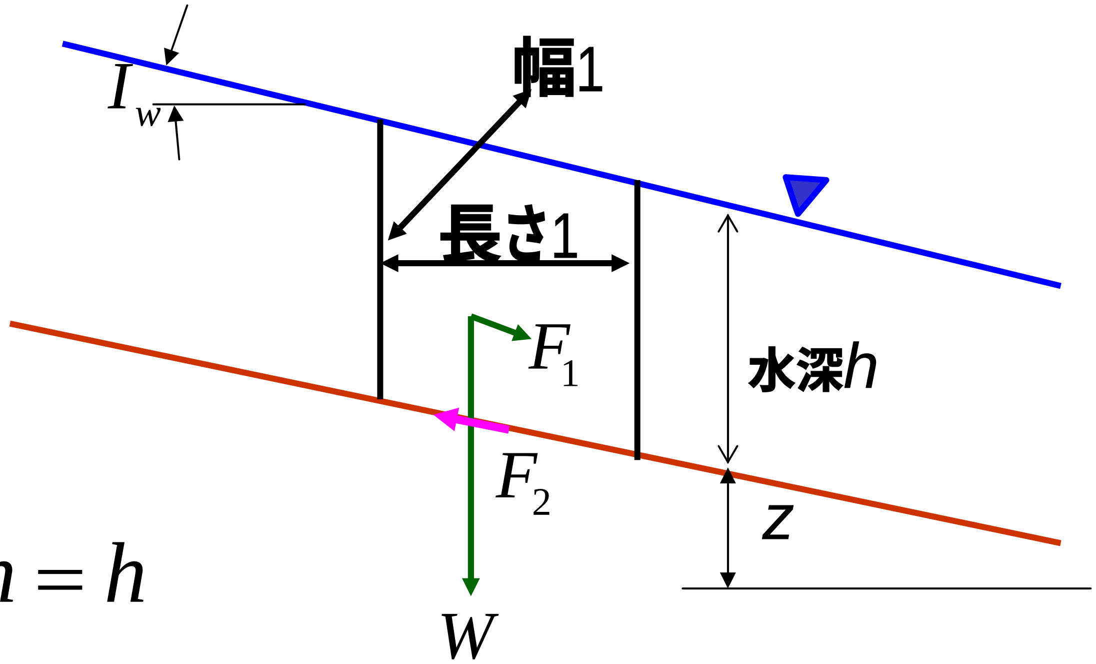
F = **力**, m = **質量**, and α = **加速度**.

$$\alpha = \frac{Dv}{Dt} = \frac{v(x+\Delta x, t+\Delta t) - v(x,t)}{\Delta t}$$

$$= \frac{v + \dfrac{\partial v}{\partial x}\Delta x + \dfrac{\partial v}{\partial t}\Delta t - v}{\Delta t} = \frac{\dfrac{\partial v}{\partial x} v\Delta t + \dfrac{\partial v}{\partial t}\Delta t}{\Delta t}$$

$$= \boxed{\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x}}$$

流体の加速度は $\dfrac{\partial v}{\partial t}$ **だけじゃない。**



体積：$V = 1 \times 1 \times h = h$

質量：$m = \rho h$

重量：$W = \rho g V = \rho g h$

水塊に働く力 $F_1 = \rho g h I_w = -\rho g h \dfrac{\partial}{\partial x}(z + h)$

摩擦抵抗 $F_2 = \tau_b \times 1 \times 1 = \tau_b$

$$F = m\alpha$$

$$F_1 - F_2 = m\alpha$$

$$-\rho g h \frac{\partial (z+h)}{\partial x} - \tau = \rho h \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \boxed{v \frac{\partial v}{\partial x}} = \boxed{-g \frac{\partial (z+h)}{\partial x}} - \frac{\tau}{\rho h}$$

$$v \frac{\partial v}{\partial x} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{\partial v^2}{\partial x}$$

$$-g \frac{\partial (z+h)}{\partial x} \rightarrow gi - g \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -i$$ 河床勾配

不等流と同様に

$$\tau_b = \rho g h I_f$$

$$\boxed{\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2g} \right) - i + \frac{\partial h}{\partial x} + I_f = 0}$$

重要

開水路非定常流の運動方程式

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)-i+\frac{\partial h}{\partial x}+I_f=0$$

非定常流の運動方程式

時間変化無し、定常 $\dfrac{\partial}{\partial t}=0$

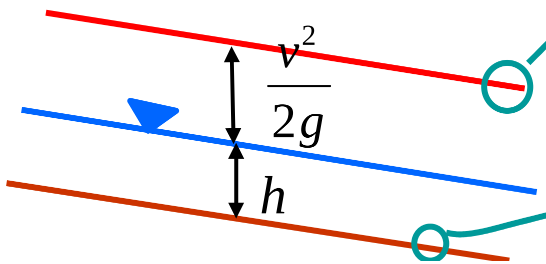
$$-i+\boxed{\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)}+I_f=0$$

不等流の運動方程式
(漸変流のベルヌイの式)

空間変化無し、 $\dfrac{\partial}{\partial x}=0$

$$-i+I_f=0 \longrightarrow I_f=i$$

等流の条件



等流の式
(マニングの式、ジェジーの式)

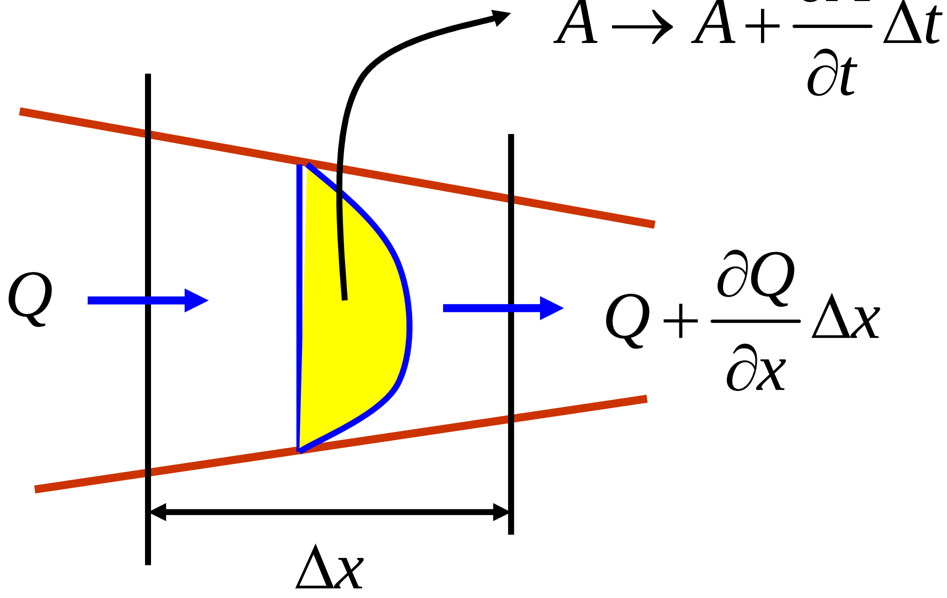
$$eg.)\rightarrow \quad v=\frac{1}{n}R^{2/3}i^{1/2}$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)-i+\frac{\partial h}{\partial x}+I_f=0$$

Chezy公式では $I_f=\dfrac{v^2}{C^2R}$ ➡ $\dfrac{1}{g}\dfrac{\partial v}{\partial t}+\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{v^2}{2g}\right)-i+\dfrac{\partial h}{\partial x}+\dfrac{v^2}{C^2R}=0$

Manning公式では $I_f=\dfrac{n^2v^2}{R^{\frac{4}{3}}}$ ➡ $\dfrac{1}{g}\dfrac{\partial v}{\partial t}+\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{v^2}{2g}\right)-i+\dfrac{\partial h}{\partial x}+\dfrac{n^2v^2}{R^{\frac{4}{3}}}=0$

非定常流れの連続の式



$$\left\{Q - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x}\Delta x\right)\right\}\Delta t = \left(A + \frac{\partial A}{\partial t}\Delta t - A\right)\Delta x$$

$$\therefore \boxed{\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0}$$

重要

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0$$

一様幅の長方形断面では、 $A=Bh,\quad Q=Av=Bhv$

$$\frac{\partial A}{\partial t}=B\frac{\partial h}{\partial t},\quad \frac{\partial Q}{\partial x}=\frac{\partial (Bhv)}{\partial x}$$

より

$$\boxed{B\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (Bhv)}{\partial x}=0}$$

$\rightarrow$ x**方向に幅が変化する場合の連続式** $\dfrac{\partial B}{\partial x}\neq 0$

$\dfrac{\partial B}{\partial x}=0$ **の場合は,** $\boxed{\dfrac{\partial h}{\partial t}+\dfrac{\partial (hv)}{\partial x}=0}$

または

$$\boxed{\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q}{\partial x}=0}$$

$$\cancel{\frac{\partial A}{\partial t}} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

定常状態 $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$ $Q = $ 一定

$$Q = Av$$

定常状態を考えると・・

$$\cancel{\frac{\partial A}{\partial t}}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0$$

$$\boxed{\begin{aligned}&Q=\text{constant}\\&Q=Au\end{aligned}}$$

$$\cancel{\frac{\partial u}{\partial t}}+u\frac{\partial u}{\partial x}=-g\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{gn^2u|u|}{h^{4/3}}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{u^2}{2g}\right)+\frac{n^2u^2}{h^{4/3}}=0$$

$$\boxed{\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{2A^2g}\right)+\frac{n^2Q^2}{A^2h^{4/3}}=0}$$

$$u\frac{\partial u}{\partial x}=-g\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{gn^2u|u|}{h^{4/3}}$$

Non-uniform flow equation
in open channel flow
(不等流の式)

$$u\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{1}{2}\frac{\partial u^2}{\partial x}$$

非定常の連続式と運動方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)-i+\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{n^2v^2}{R^{\frac{4}{3}}}=0$$

等流や不等流のときのように、このままの形でその特性を議論したり、解を求めたりするのは難しい → **卒業研究や、大学院で。。**

$$\boxed{\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0}$$

→ 連続の式だけを使って運動を表す → Kinamatic Wave 理論 キネマティックウェーブ

$$\cancel{\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)}-i+\cancel{\frac{\partial h}{\partial x}}+\frac{n^2v^2}{R^{\frac{4}{3}}}=0$$

→ **擬似等流条件**

ただし、ある条件の下ではその特性を調べることができる。

たとえば、 $i>1/1000$ **比較的急流な河川**

$$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{\partial h}{\partial x}=\boxed{-i+\frac{n^2v^2}{R^{\frac{4}{3}}}\approx 0}$$

等流の条件

$$v=\frac{1}{n}R^{2/3}i^{1/2}$$

Kinematic Wave 理論

等流の一般的表示は

$$Q = Av = Q(A) \qquad A = A(x,t)$$

$\because$ vはRの関数であり、RはAの関数なので

一般的に　$F(x,y)$のとき $\dfrac{dF}{dt} = \dfrac{\partial F}{\partial x}\dfrac{dx}{dt} + \dfrac{\partial F}{\partial y}\dfrac{dy}{dt}$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t}\frac{dt}{dt} + \frac{\partial A}{\partial x}\frac{dx}{dt}$$

$$\boxed{\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + c\frac{\partial A}{\partial x}} \quad \boxed{c \equiv \frac{dx}{dt}}$$

速度そのもの

一方　連続式

比較すると・・・・・・

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \rightarrow \boxed{\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{dQ}{dA}\frac{\partial A}{\partial x} = 0}$$

$$\frac{dA}{dt} = \boxed{\frac{\partial A}{\partial t} + \boxed{c}\frac{\partial A}{\partial x}} = \boxed{}$$

$$\boxed{\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{dQ}{dA}\frac{\partial A}{\partial x}} = 0$$

$A \to$ 増加

$v \to$ 増加

ゆえに$\dfrac{dv}{dA} > 0$

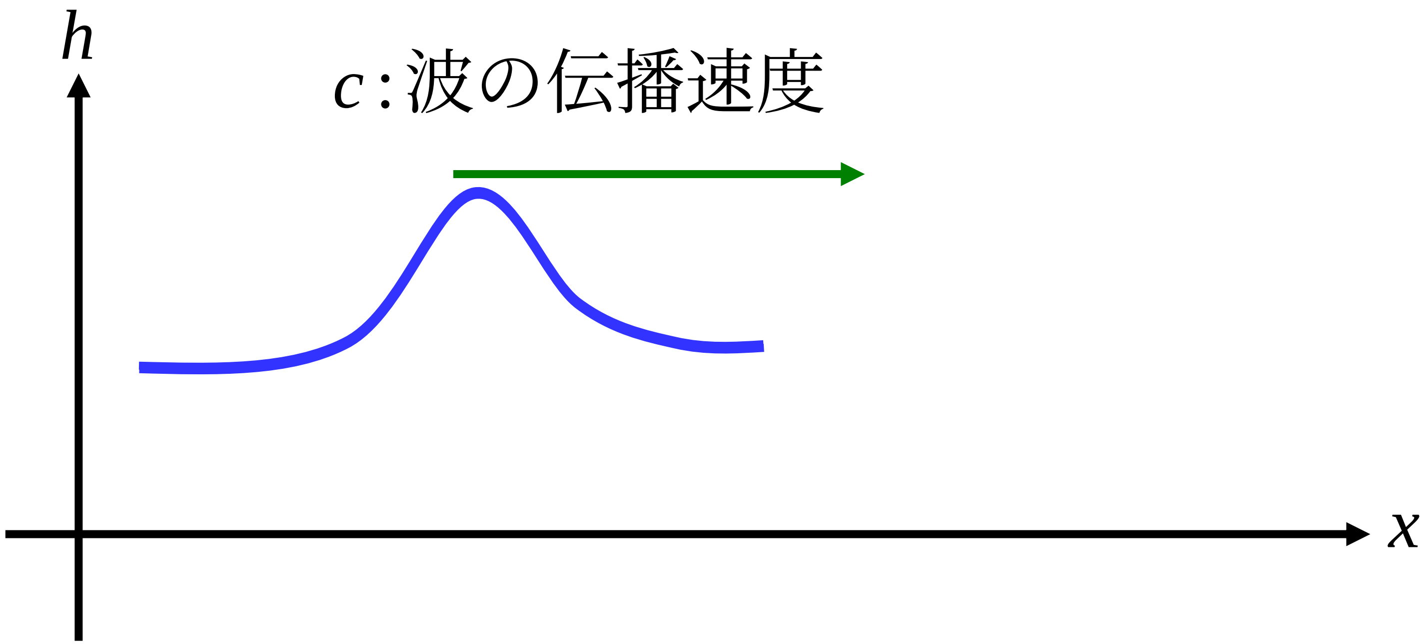
$$c = \frac{dQ}{dA} = \frac{d(vA)}{dA} = v\frac{dA}{dA} + A\frac{dv}{dA} = v + A\boxed{\frac{dv}{dA}} > v$$

$$\frac{dA}{dt} = 0$$

断面積が変化せずに下流に伝播する。
(キネマティック型洪水波)

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{dQ}{dA}\frac{\partial A}{\partial x}=0 \qquad \frac{\partial A}{\partial t}+c\frac{\partial A}{\partial x}=0$$

Aが一定速度cで形を保ってx方向に移動する



$$\frac{\partial A}{\partial t} + c\frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

代入

$$X = x - ct, \quad T = t$$

という変数変換を行う

速度 c で移動する座標に変換

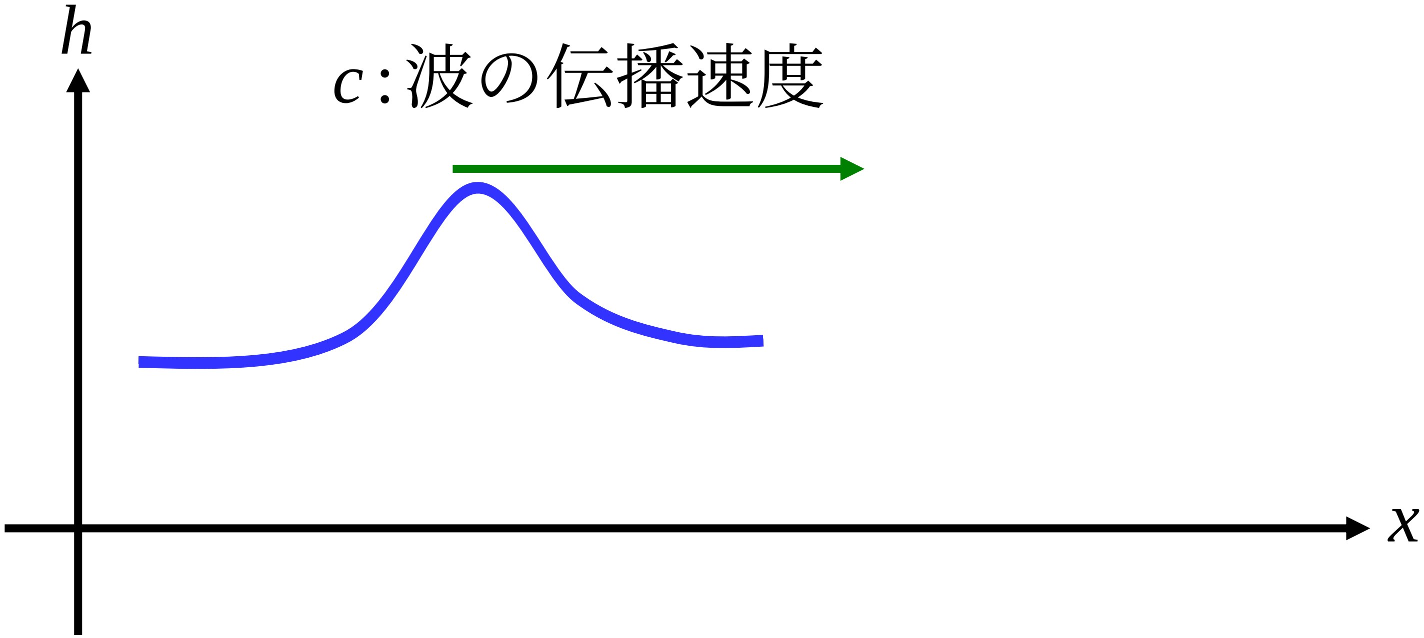
$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial}{\partial X} + \frac{\partial T}{\partial x}\frac{\partial}{\partial T}, \qquad \frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial t}\frac{\partial}{\partial X} + \frac{\partial T}{\partial t}\frac{\partial}{\partial T}$$

$$\frac{\partial X}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial X}{\partial t} = -c, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 1$$

$$\boxed{\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial X}}, \qquad \frac{\partial}{\partial t} = \boxed{-c\frac{\partial}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial T}}$$

$$-c\frac{\partial A}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial T} + c\frac{\partial A}{\partial X} = 0 \qquad \frac{\partial A}{\partial T} = 0 \qquad A = \text{constant}$$

速度 c で移動する座標上ではAは一定



$$c = v + A\frac{dv}{dA} > v$$

波の伝播速度は流速より速い

Kleitz(1887), Seddon(1900)**の式**

広長方形断面，Manningの流速公式を用いると

$$c = v + A\frac{dv}{dA} = v + Bh\frac{d}{dh}\left(\frac{1}{n}h^{2/3}i^{1/2}\right)\frac{dh}{dA}$$

$$A = Bh \quad dA = Bdh \quad \frac{dh}{dA} = \frac{1}{B}$$

$$c = v + Bh\frac{2}{3}h^{-1/3}\frac{1}{n}i^{1/2}\frac{1}{B} = v + \frac{2}{3}\frac{1}{n}h^{2/3}i^{1/2} = v + \frac{2}{3}v = \frac{5}{3}v \quad > v$$

広長方形断面，Chezyの流速公式を用いると

$$c = v + A\frac{dv}{dA} = v + Bh\frac{d}{dh}\left(C\sqrt{hi}\right)\frac{dh}{dA}$$

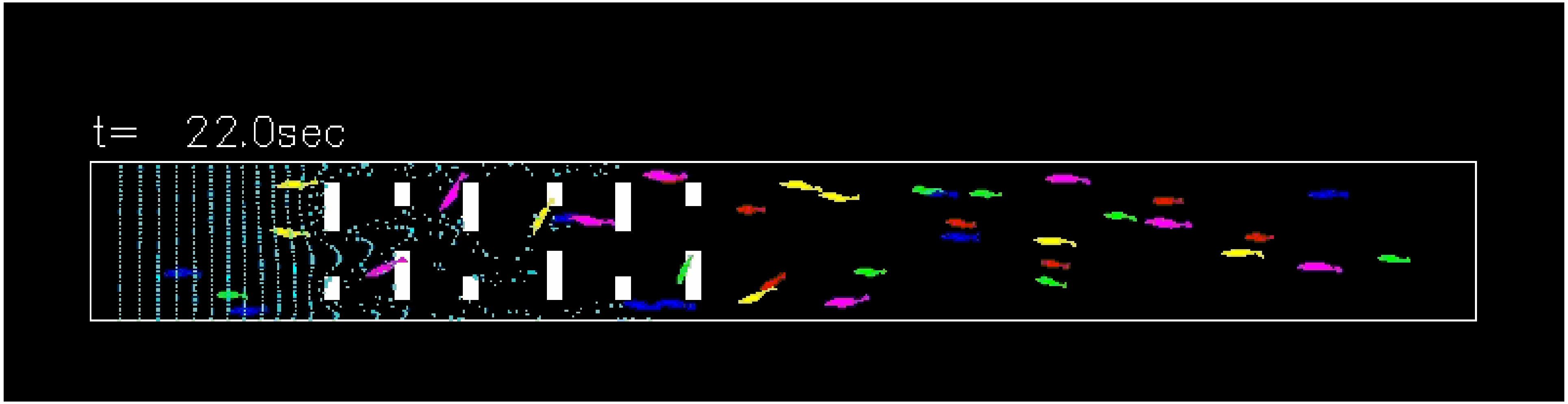
$$A = Bh \quad dA = Bdh \quad \frac{dh}{dA} = \frac{1}{B}$$

$$c = v + Bh\frac{1}{2}h^{-1/2}Ci^{1/2}\frac{1}{B} = v + \frac{1}{2}Ch^{1/2}i^{1/2} = v + \frac{1}{2}v = \frac{3}{2}v > v$$

大学院では、

多次元問題、水＋α（土砂、植物、動物、水質。。。）

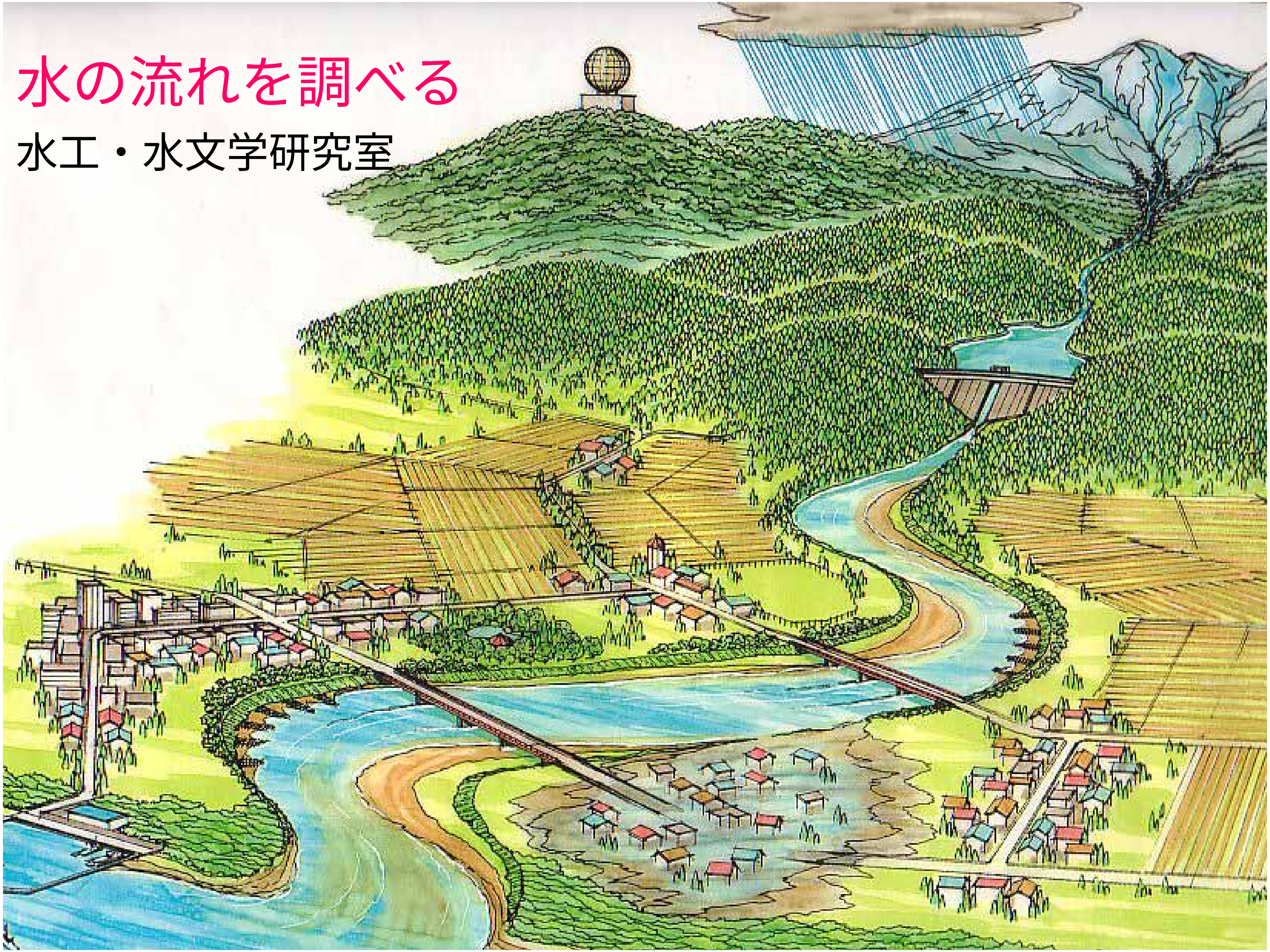
卒論・大学院での研究の紹介



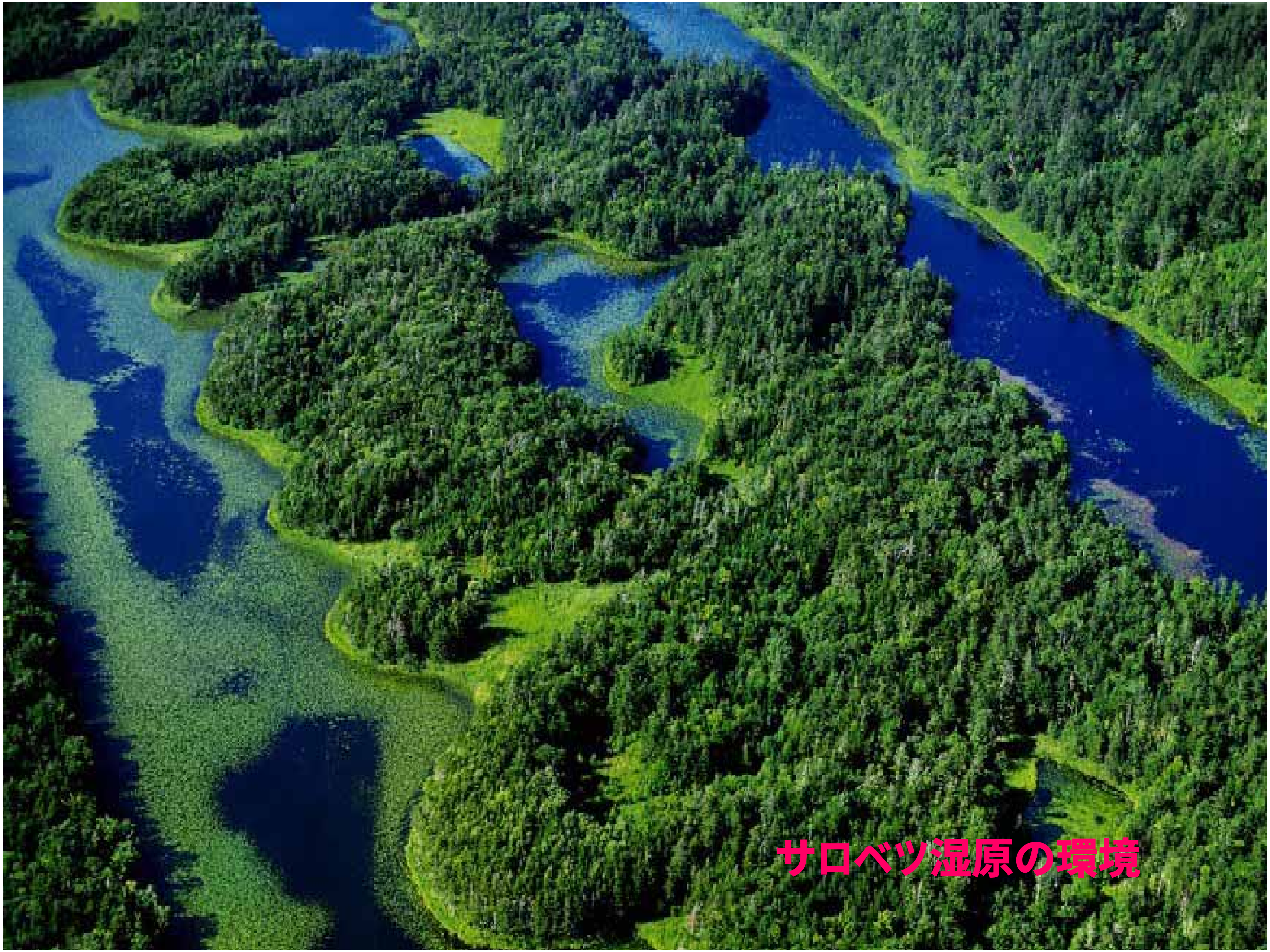
水工・水文学研究室

水の流れを調べる

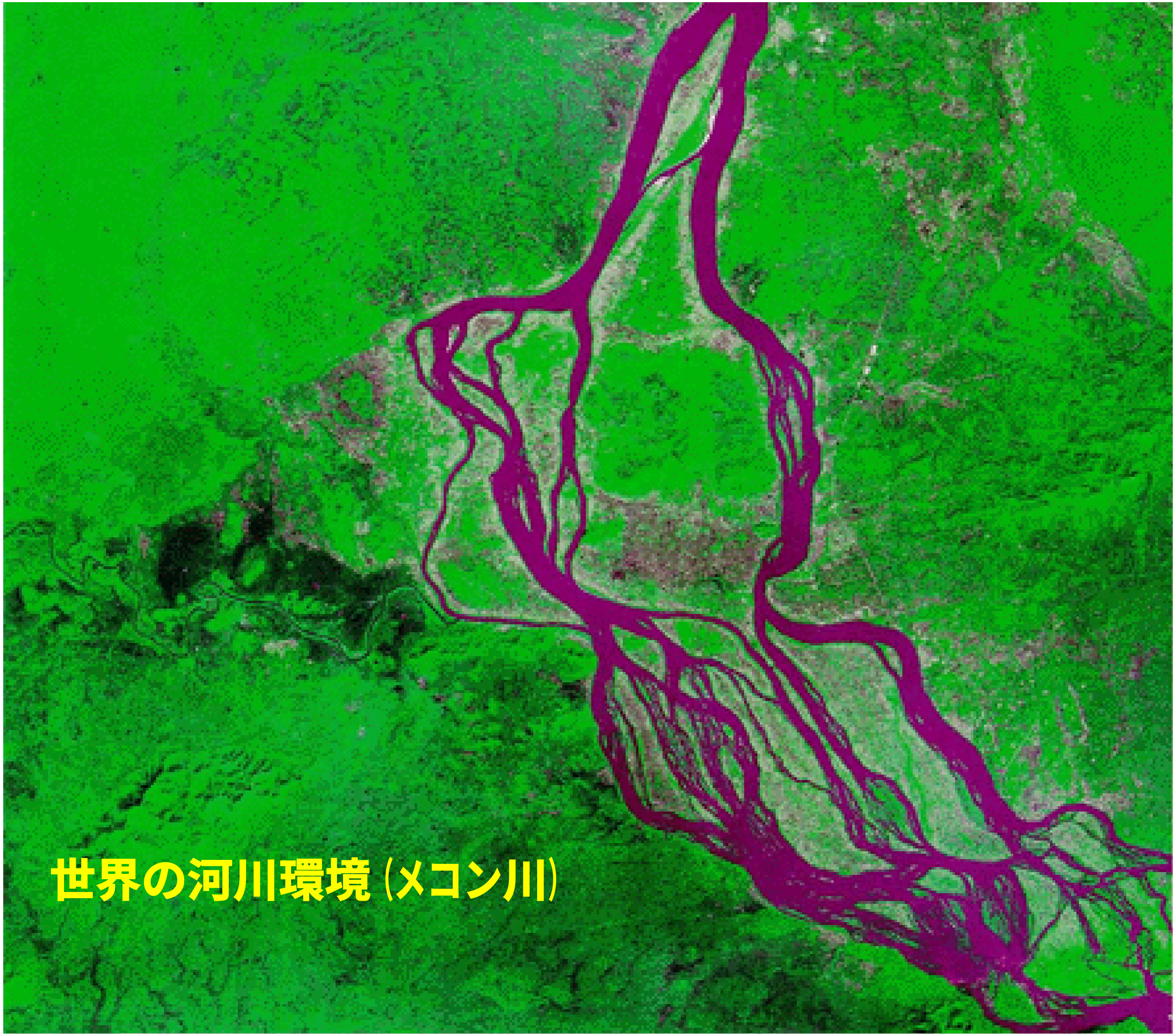
水工・水文学研究室




釧路湿原の保全


サロベツ湿原の環境


網状河川


世界の河川環境（メコン川）


洪水災害の防止


厚別川 河口部 の氾濫状況


赤無橋
厚別川 赤無橋下流 の氾濫状況

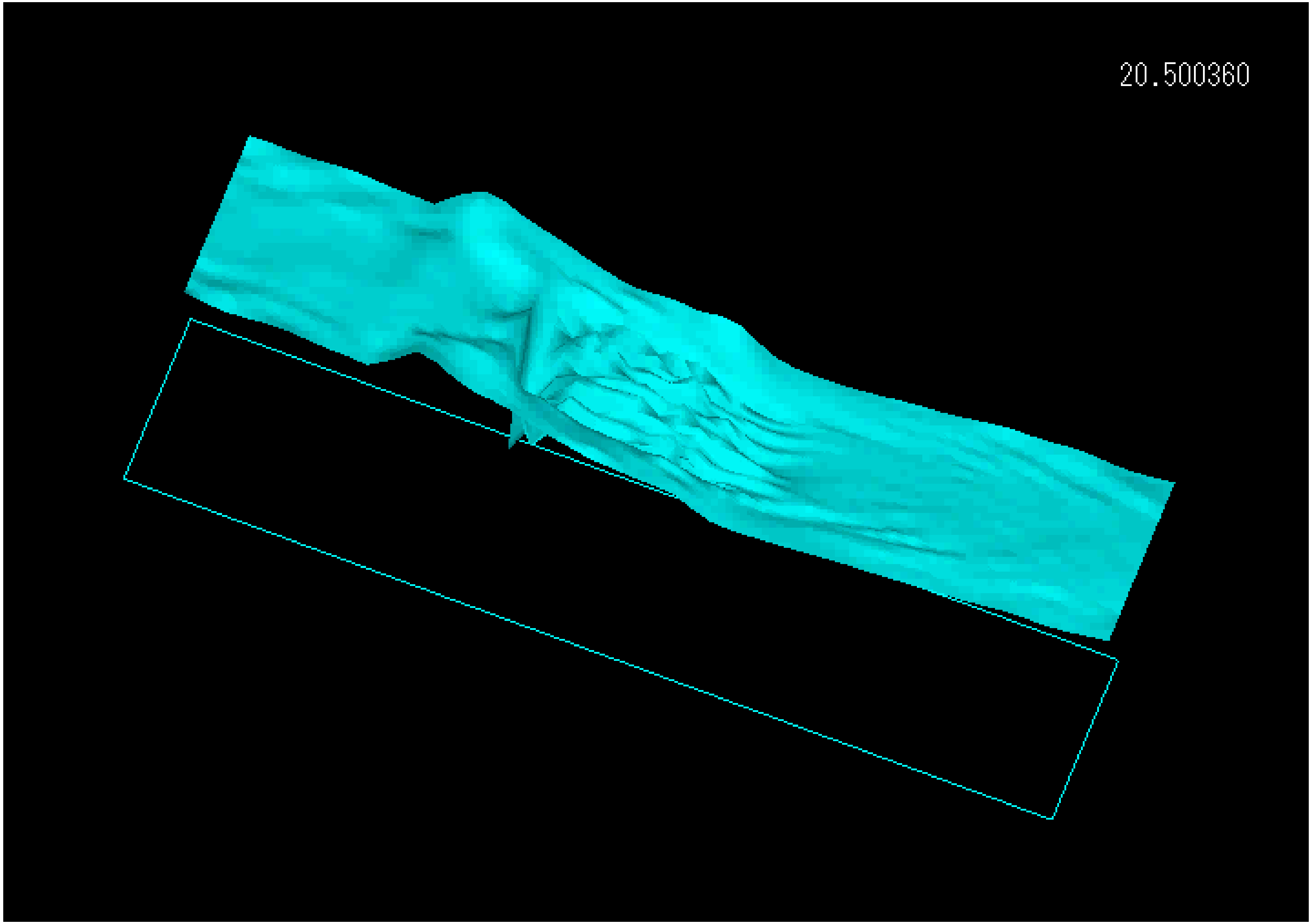
ミューグリッツ川(ドイツ) (2002年8月13日)

ミューグリッツ川の出水

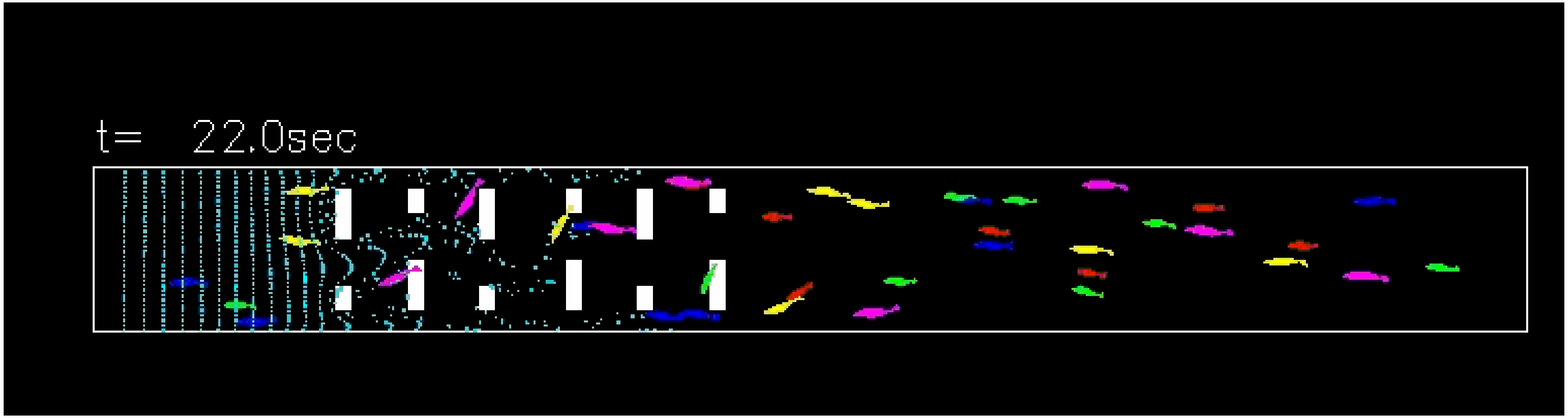
HW-Situation an der Elbe bei Dres

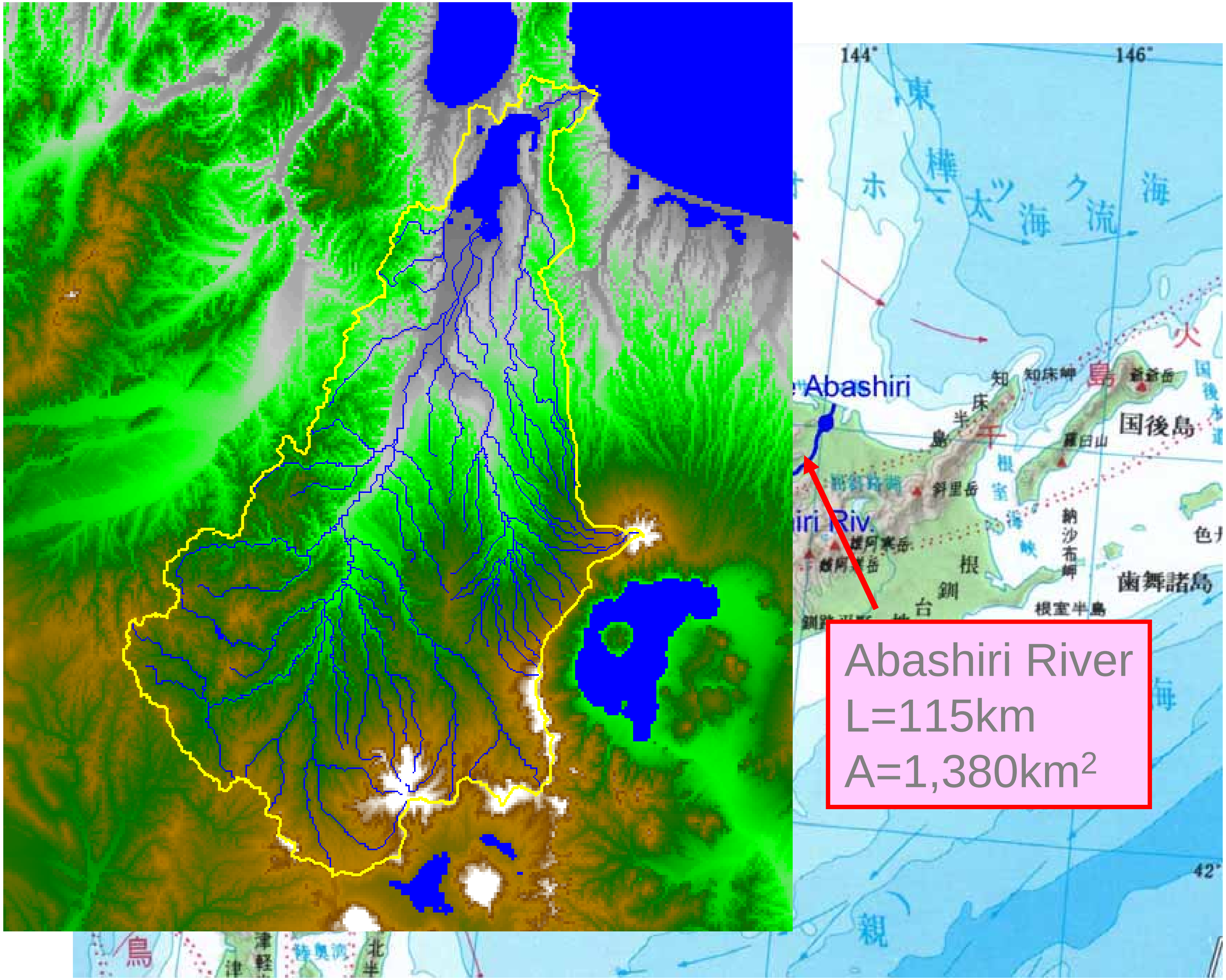

急流都市河川の環境

Flood of Aug. 5, 1981

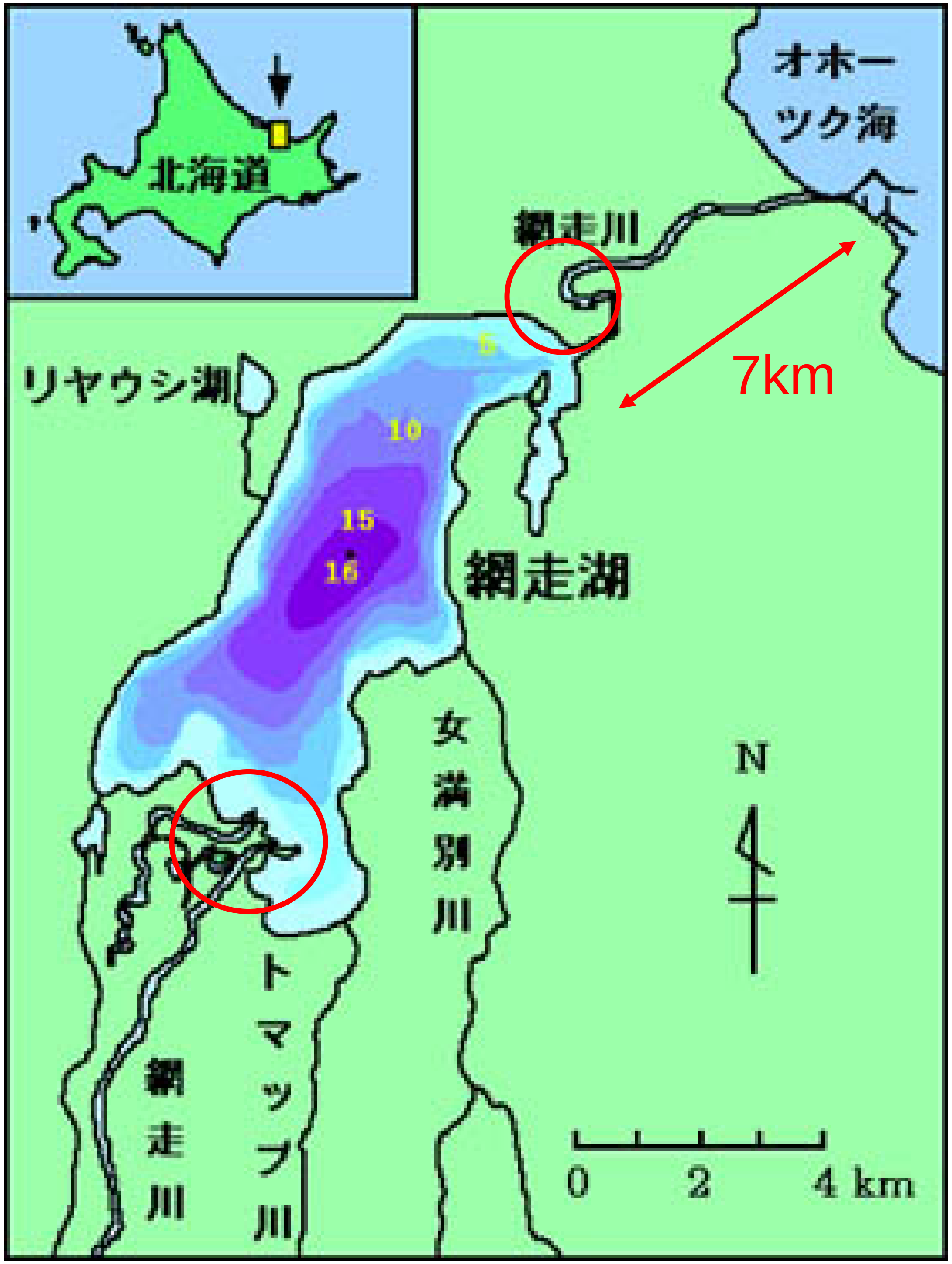

20.500360


Flow and Vorticity around a Fish
.0sec

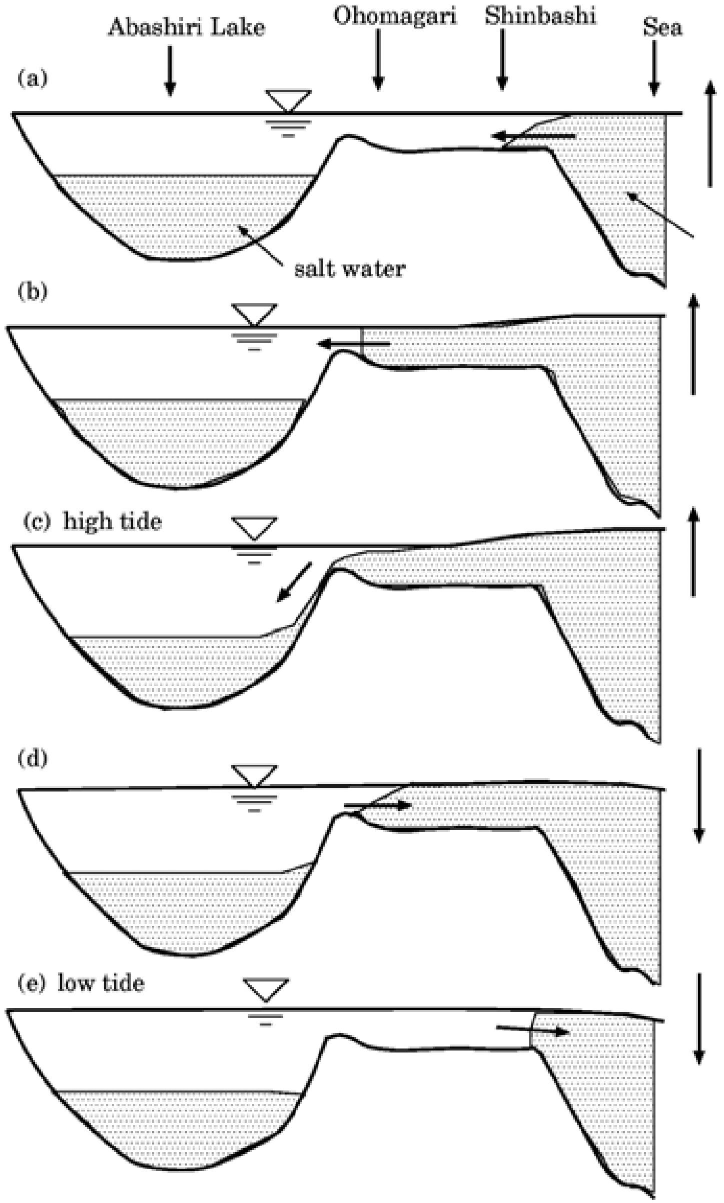

t= 22.0sec

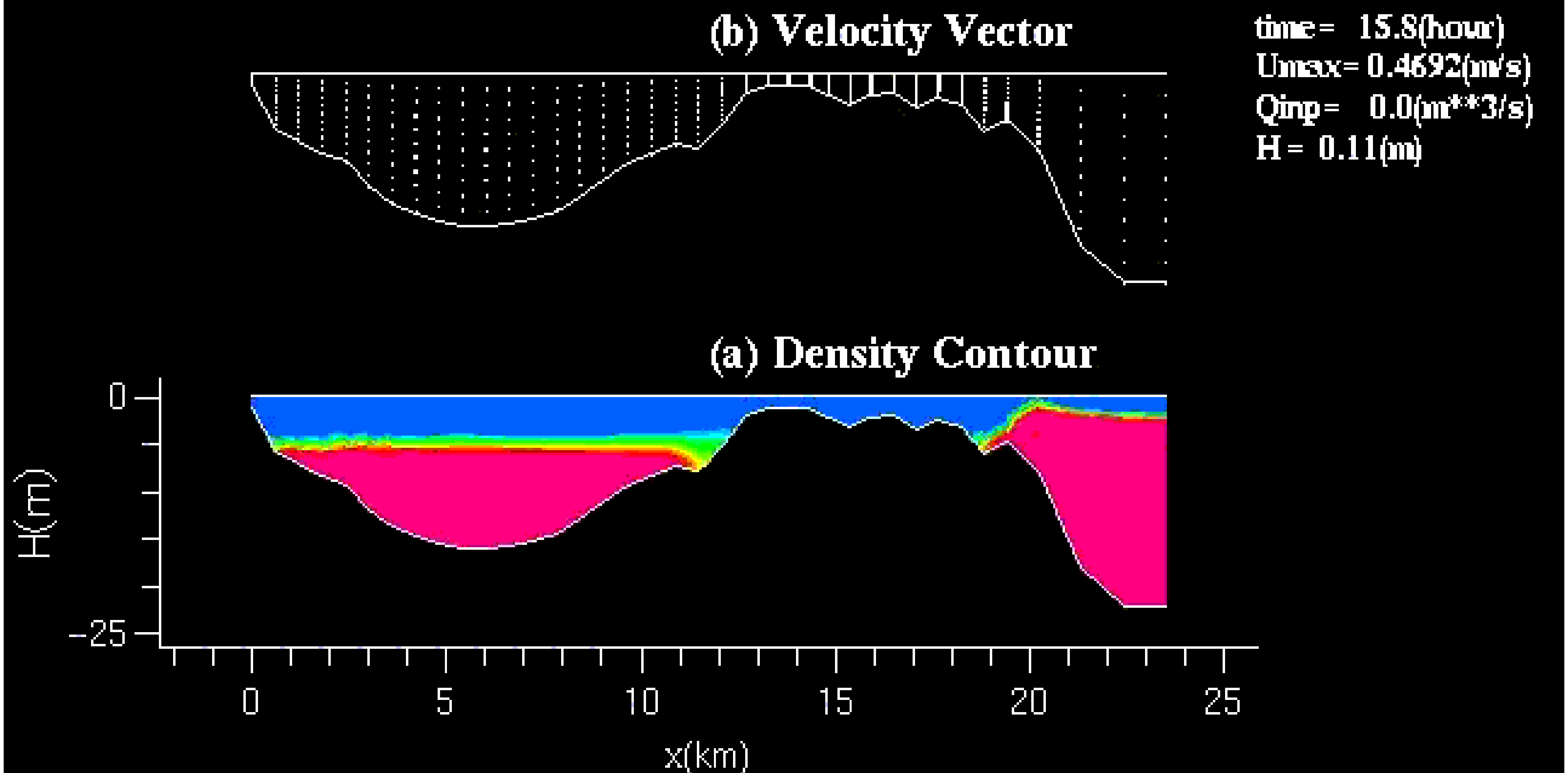


144°
146°
Abashiri
国後島
歯舞諸島
根室半島
42°
Abashiri River
L=115km
A=1,380km^2



Area: 32.9km^2
Max. Depth: 16.8m


Abashiri Lake
Ohomagari
Shinbashi
Sea
(a)
salt water
(b)
(c) high tide
(d)
(e) low tide

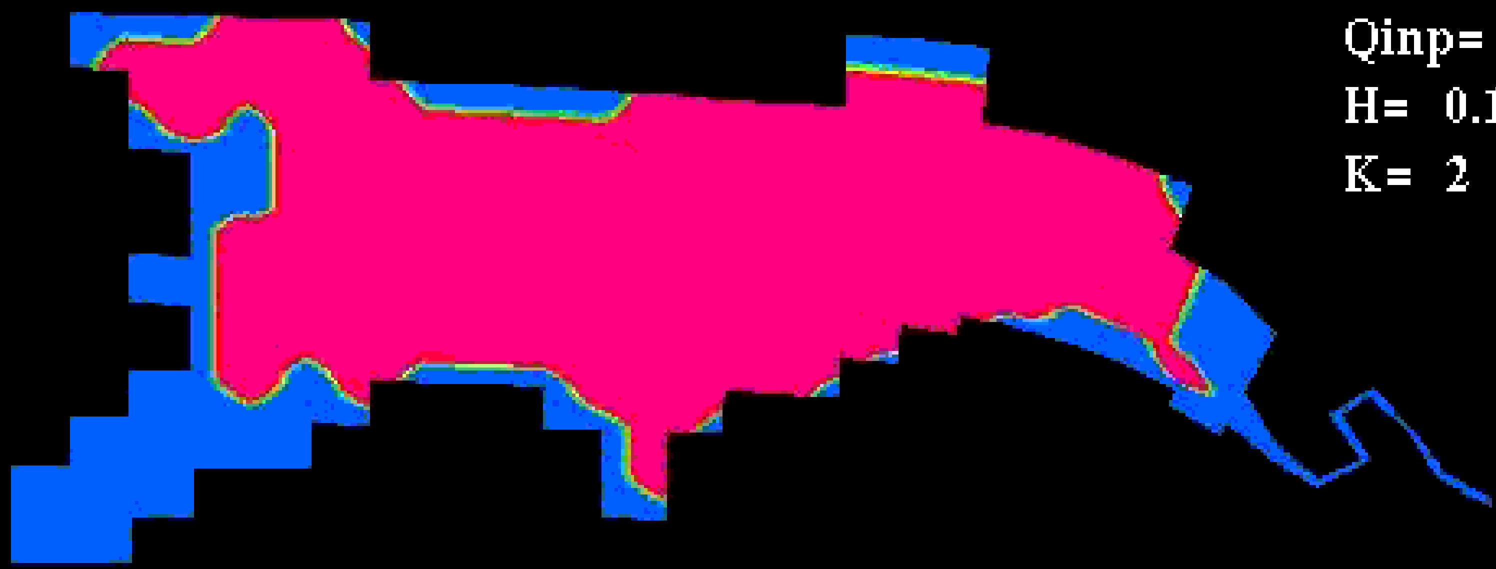


Abashiri Lake 1994.8.6 – 1994.8.8

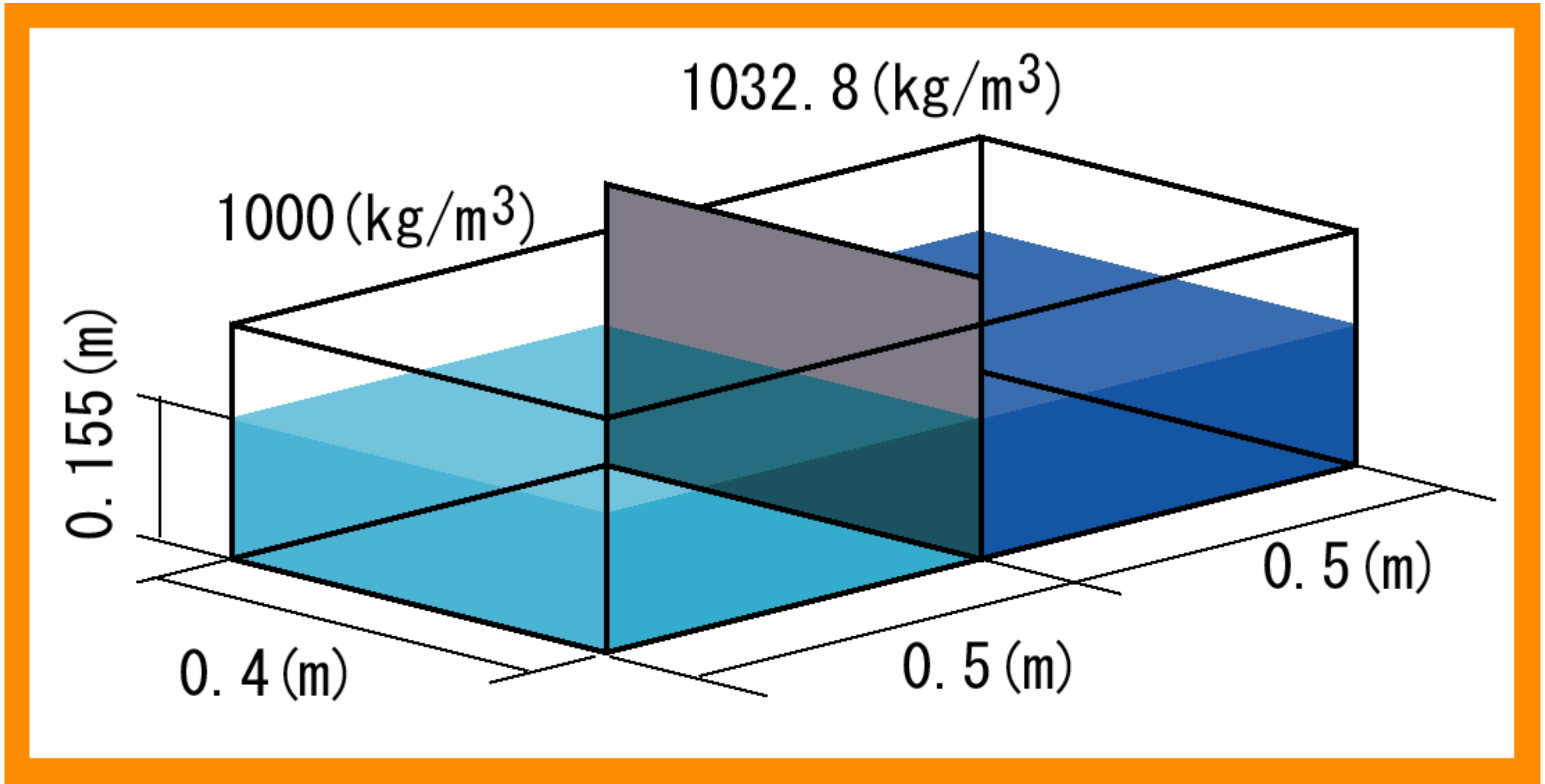
Abashiri Lake 1994.8.6 – 1994.8.8

(a) Density Contour

time= -4.0(hour)
Umax= 0.0000(m/s
Qinp= 0.0(m**3/
H= 0.14(m)
K= 2

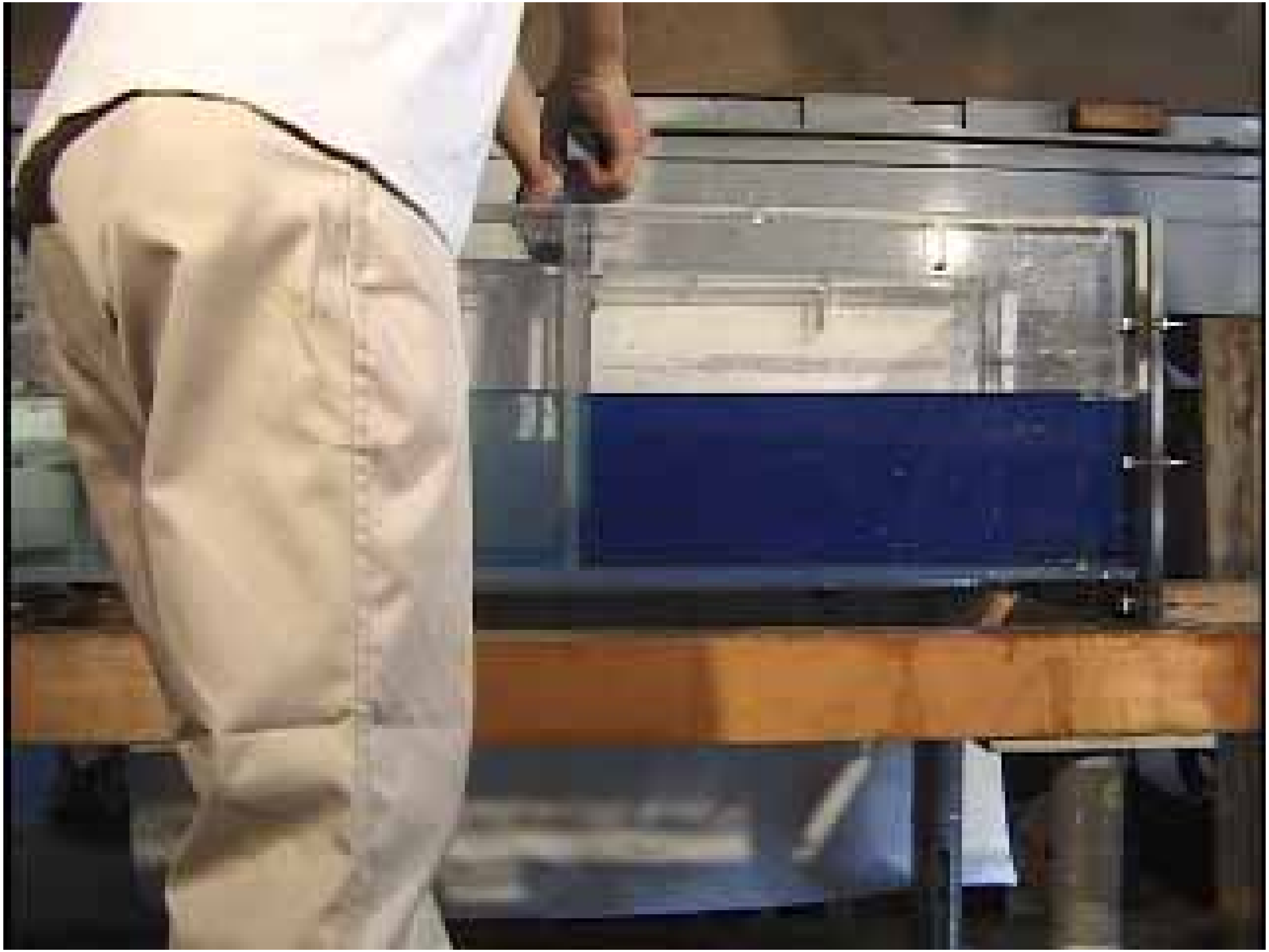


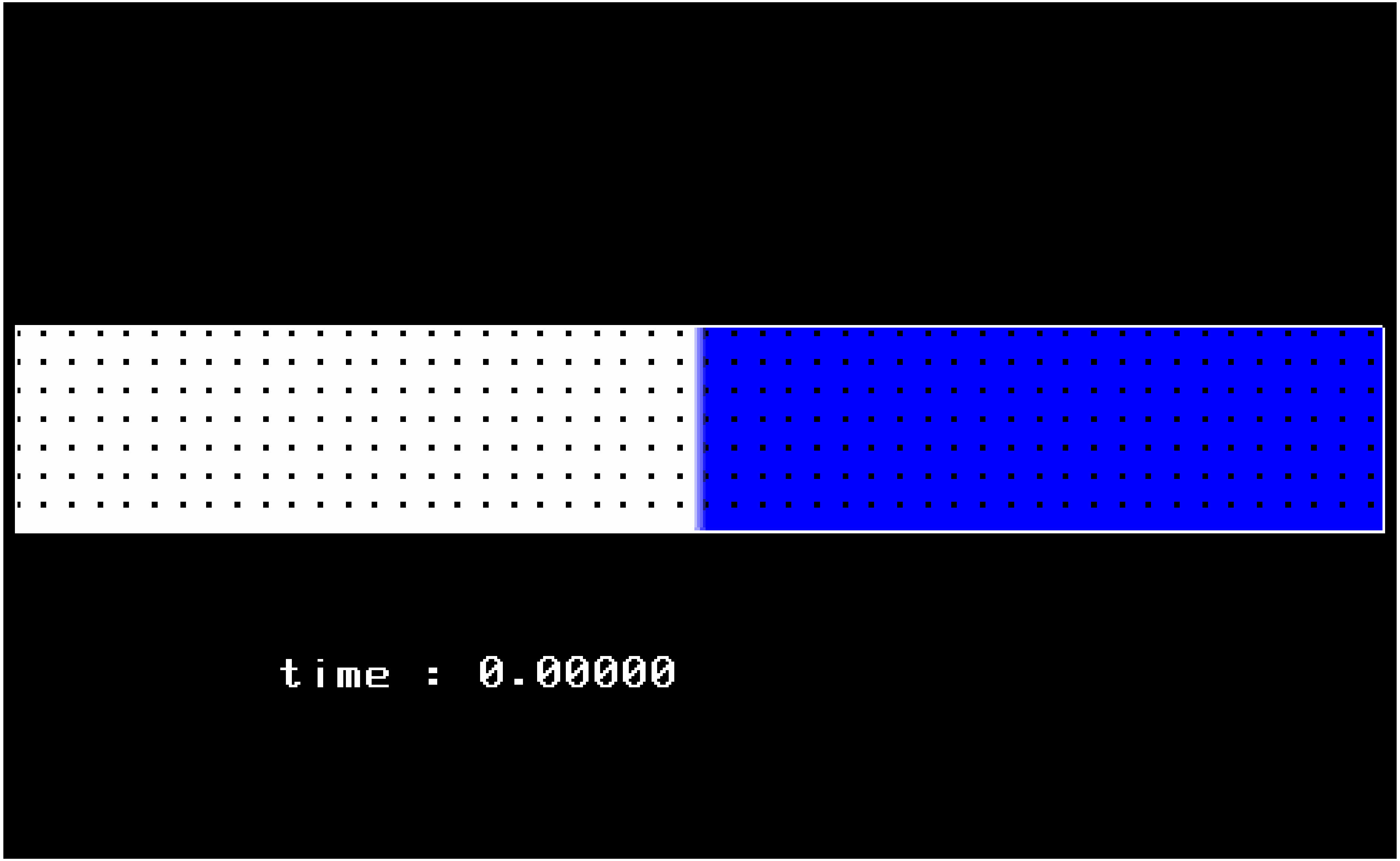
Initial Condition

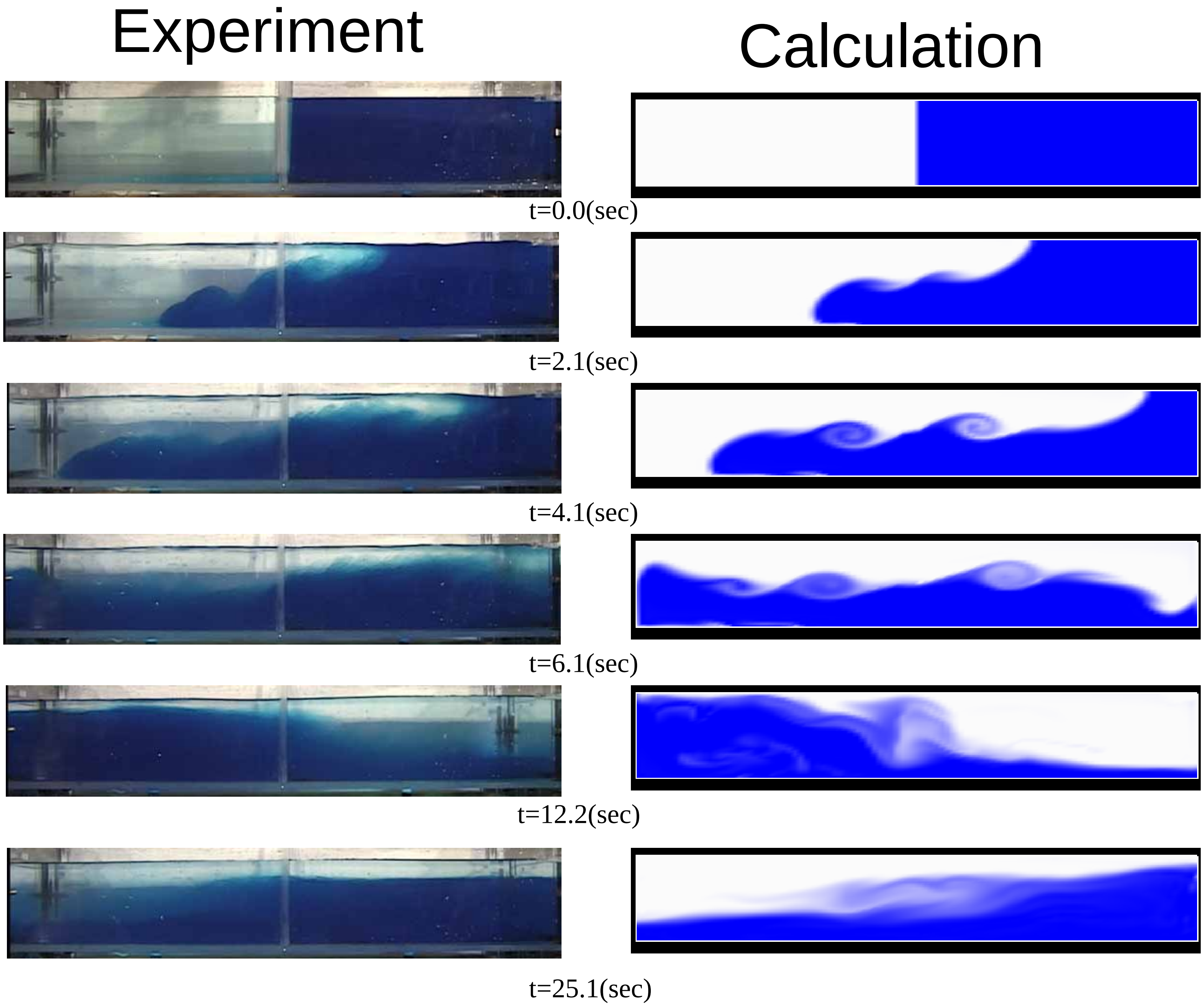


$\nu = 0.000001(m^2/\sec),\quad D_x = D_y = 0.000002(m^2/\sec)$

non-slip condition for walls




time : 0.00000


Experiment
Calculation
t=0.0(sec)
t=2.1(sec)
t=4.1(sec)
t=6.1(sec)
t=12.2(sec)
t=25.1(sec)

世界中の河川の研究をやってます。

2002年
韓国・タイ・イタリア・ベルギー・オランダ
チェコ・ドイツ・カナダ・アメリカ

2003年
韓国・スペイン・オランダ・ポーランド
アメリカ・ドイツ・フィリピン

2004年
スリランカ・タイ・アメリカ・オランダ
インドネシア・イタリア・韓国・沖縄

http://ws3-er.eng.hokudai.ac.jp/yasu