

湖流の数値シミュレーションと その実験評価法について

岡山大学環境理工学部 渡辺雅二 (Masaji Watanabe)*
Faculty of Environmental Science and Technology,
Okayama University

概要

湖流の解析結果を、GPS とフロートを利用して行う実験の結果と比較することにより評価する方法について論じる。湖流の流体抵抗をうけてフロートが移動する間に、フロートに載せられた GPS によって一定時間ごとに得られる位置と時間に関するデータが収録される。この実験で得られた結果と比較することによって解析結果の評価が可能となる。例として、児島湖を対象に行った解析結果と実験結果を提示し、湖流解析のモデルに関する考察を行う。

1 はじめに

全地球測位システム (GPS) は GPS 衛星から送られる信号を解析してその位置データを与える。特に、本研究で利用した GPS は地上のラジオビーコンからの信号も解析して誤差を補正する機能を備えている (differential GPS)。このような GPS を搭載したフロート (GPS-float) で湖流の実験を行った。GPS-float を用いての計測では、GPS-float 本体と受信装置を用いる (図 1 参照)。GPS-float には十字に組まれた 2 枚の抵抗板が水面下に取り付けられている。GPS-float が抵抗板に湖流の流体抵抗を受けて移動する間に、GPS によって計算された時間と位置に関するデータは無線モデムによって発信される。このデータは、別の場所で無線モデム受信機により受信され PC に入力される [3]。

このようにして得られたデータを参考にすることによって湖流の数値シミュレーション結果を評価できる。例として岡山県の児島湖を対象に行った実験とシミュレーションの結果を紹介する。児島湖は、児島湾の一部を締切堤防で締め切ってきた (図 2 参照)。児島湖から児島湾への排水が必要になると、児島湾の潮位

*〒 700-8530 岡山市津島中三丁目 1 番 1 号, E-mail: watanabe@math.ems.okayama-u.ac.jp.
本研究は、財団法人ウエスコ学術振興財団により一部支援された。

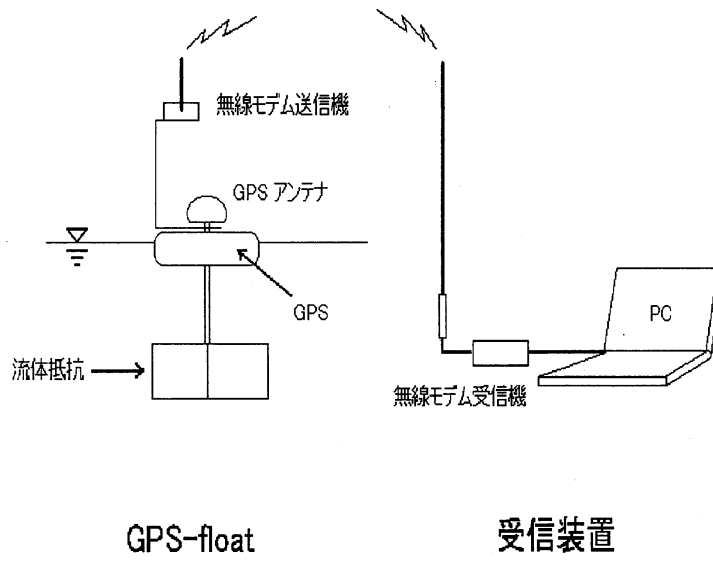


図 1: GPS-float および受信装置概念図

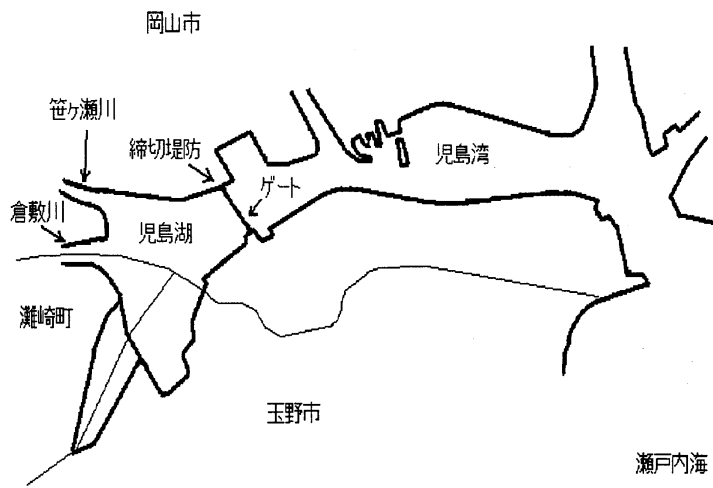


図 2: 児島湖周辺略図

が児島湖の水位よりも低くなるときに、締切堤防に設けられた幅 24 m の 6 門のゲートが開けられる。このときに、児島湖には非定常流が生じる。2000 年 10 月 25 日にはゲートが開けられ、児島湖から児島湾への排水が行われた。このときに GPS-float を用いて行った実験結果を示す。更に、GPS-float の位置変化のシミュレーションの結果を示す。シミュレーションでは、先ず流速を計算するために湖流モデルの有限要素法による数値解析を行った [3, 4]。次に有限要素解析によって得られた流速を GPS-float の運動方程式に適用し、数値解析を行った [5]。このような実験との比較により湖流の数値シミュレーションの評価が可能となる [6]。

2 GPS-float を用いての実験

2000 年 10 月 25 日には約 15:00 から 16:13 までゲートが開けられ、児島湖から児島湾への排水が行われた。児島湾土地改良区児島湾締切堤防中央管理事務所提供のデータから得られた 15:00 から 16:10 までの時間帯における (a) 児島湾の潮位と (b) 児島湖の水位の時間変化の概略を図 3 に示す [6]。図 3 では、横軸が時間 t (s) を表し、15:00 が $t = 0$ に対応している。また、縦軸はある基点からの高さ (m) を表す。ゲートが開けられている間に児島湾の潮位は一度約 0.05 m 下がり、その後約 0.025 m 上昇した。図 3 は、児島湾の潮位は、13:00 から 14:00 までの 1 時間に約 0.8 m から約 0.75 m まで約 0.05 m 下がり、その後、14:00 から 14:10 までの 10 分間に約 0.75 m から約 0.775 m まで約 0.025 m 上昇したことを示している。一方、児島湖の水位は、13:00 から 14:00 までの 1 時間に約 0.8 m から約 0.76 m まで約 0.04 m 下がり、その後、14:00 から 14:10 までの 10 分間に約 0.76 m から約 0.78 m まで約 0.02 m 上昇したことを示している。

ゲートが開けられ、排水が行われているときに、ゲートの南西約 500 m の水域で GPS-float を用いた実験を行った。実験を行った水域は、図 4 の長方形で囲まれた部分として示されている [6]。このときの実験結果を、図 4 の長方形で囲まれた部分を拡大して図 5 に示す [6]。計測は約 15:17:04 から約 16:17:02 まで行った。このときの GPS-float の移動状況を、計測開始から 5 分ごとの GPS-float の位置とともに図 5 に示す。図 5 から、GPS-float は約 70 分の間に約 100 m の道のりを移動したことがわかる。したがって、このときの GPS-float の移動速度は約 0.024 m/s となる。

3 児島湖における非定常流の数値解析

ゲートの開放による排水を原因として生じる非定常流の数値解析と、非定常流の流体抵抗による GPS-float の移動に関する数値シミュレーションを行った。湖流解析に用いた鉛直一層 2 次元モデルは、流量フラックスの 2 成分と水面を表す三つの未知変数に対する偏微分方程式系からなる [1, 2]。鉛直一層 2 次元モデルを

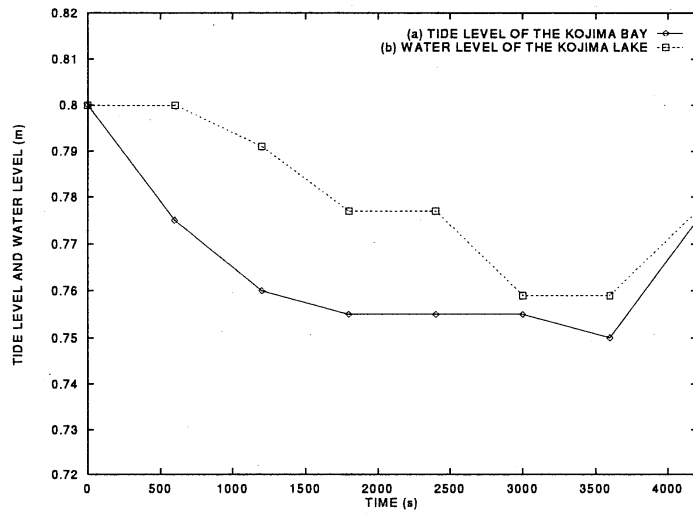


図 3: 児島湾の潮位変化と児島湖の水位変化の時間変化

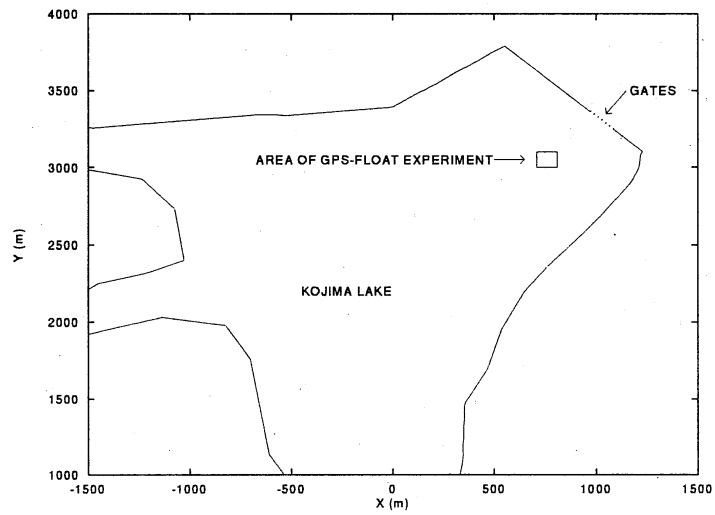


図 4: 実験が行われた水域

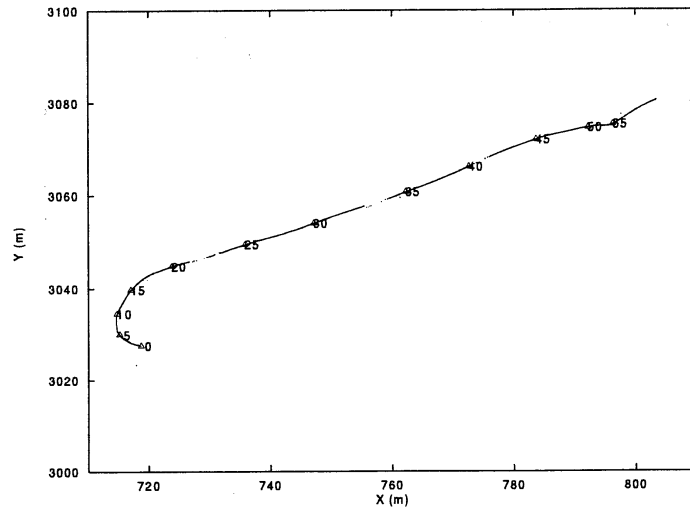


図 5: GPS-float による実験結果

簡略化した偏微分方程式系に有限要素法を適用した [3, 4]。岡山県岡山地方振興局提供のデータから得られた湖底面の形状の概容を、領域の要素分割を用いて図 6 に示す。図 6 に示す水深データと要素分割を用いて湖流の有限要素解析を行い、その結果得られる流速をもとに、次に GPS-float の運動方程式の数値解析を行った [5, 6]。水平渦動粘性係数 A (m^2/s) に三つの異なる値 $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$, $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$, $A = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ を用いて行ったシミュレーションの結果を図 7, 図 8, 図 9 にそれぞれ示す。 $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ のときの図 7 と $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ のときの図 8 を比較すると、GPS-float の移動速度は、 $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ のときのほうが $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ のときよりも遅く、 $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ は $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ よりも実験結果に近い結果を与えることがうかがわれる。一方、 $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ のときの図 8 と $A = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ のときの図 9 を比較すると、図だけでは $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ と $A = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ が与える結果の判別はできないことがわかる。以上のことから、児島湖の非定常流に対しては $A = 0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ から $A = 0.001 \text{ m}^2/\text{s}$, あるいはそれ以下の値が $A = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ に比較して妥当であることが推察される。

4 おわりに

湖流の数値シミュレーションの結果を評価するための方法として GPS-float による実験を提示した。特に、いくつかの水平渦動粘性係数の値を用いたシミュレーションの結果と実験結果を比較し、水平渦動粘性係数に対する考察を行った。この実験は、水平渦動粘性係数のような湖流モデルの要素ばかりではなく、湖流モ

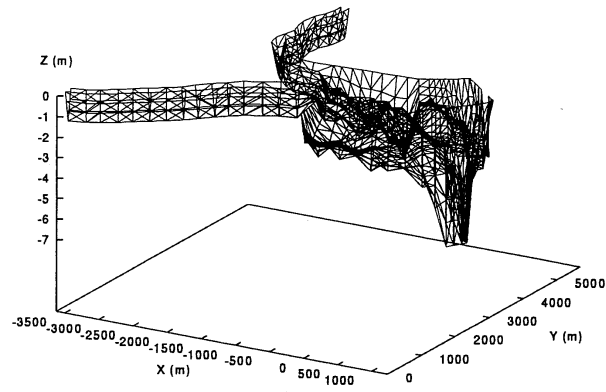


図 6: 児島湖領域の有限要素分割と湖底形状

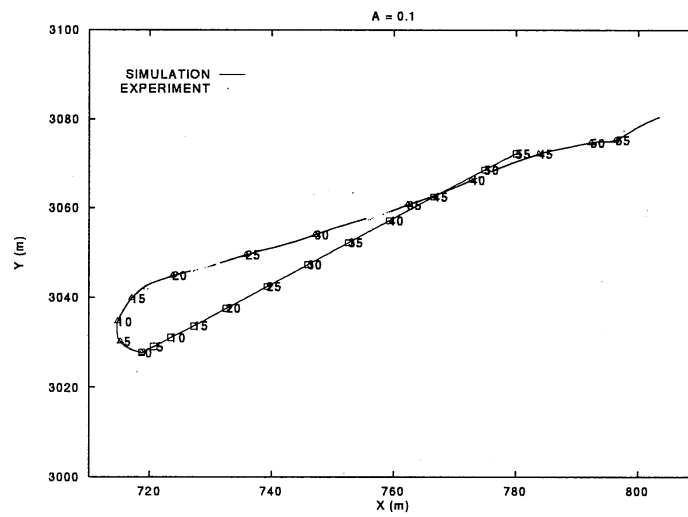


図 7: シミュレーション I

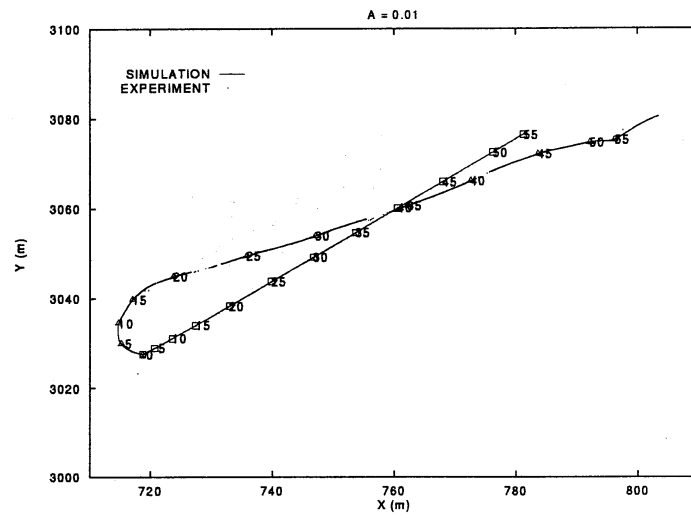


図 8: シミュレーション II

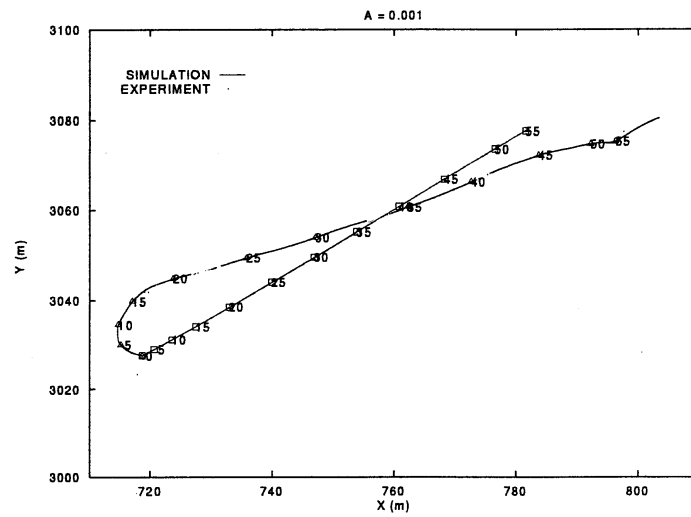


図 9: シミュレーション III

デルの解析方法の評価にも役立つことが今後期待される。

謝辞

岡山県岡山地方振興局の方々には水深のデータ，児島湾土地改良区児島湾締切堤防中央管理事務所の方々には児島湖の水位や児島湾の潮位のデータに関してご協力いただいた。また，岡山大学工学部工作センターの方々には GPS-float の工作に関してご協力いただき，岡山大学環境理工学部の中島惇教授には GPS-float 実験でご協力いただいた。以上，本研究の遂行にご協力いただいた方々に深謝する次第である。

参考文献

- [1] 岩佐義朗/編著，湖沼工学，株式会社 山海堂，東京，1990.
- [2] 松本順一郎/編集，水環境工学，株式会社 朝倉書店，東京，1994.
- [3] M. Watanabe, A numerical simulation of lake flow and a GPS-float experiment, *The Second International Symposium on Water Environment, Okayama University, Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University (Special Edition) (1999)*, 111-116.
- [4] M. Watanabe, A numerical analysis of unsteady flow in Kojima Lake, *Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University Vol. 5, No. 1 (2000)*, 31-34.
- [5] 湖沼の非定常流解析とその実験について（工学講演会概要），東北学院大学工学部研究報告，第3巻 第2号 2000年2月，49-53.
- [6] M. Watanabe and S. Kunisada, Submitted to *Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University*.