

地表水における輸送現象の数理および数値モデル化に関する研究

吉岡秀和¹Studies on Mathematical and Numerical Modeling of
Transport Phenomena in Surface WatersHidekazu Yoshioka¹

このたびは、日本雨水資源化システム学会奨励賞という身に余る賞を頂戴いたしまして、誠に光栄に存じます。ご推薦、ならびにご審議を下されました関係者の皆様に、心より感謝申し上げます。大学院生時代の恩師であります元京都大学大学院農学研究科 河地 利彦 先生、大学院生時代、そして現在も熱いご指導を下さっております京都大学水資源利用工学研究室 藤原 正幸 先生、宇波 耕一先生、竹内 潤一郎 先生、研究室そして大学の先輩、同期、後輩の皆様、島根大学着任後より様々なことを手取り足取り丁寧にご教授下さっております喜多 威知郎 先生、学部生時代に私を研究者の道へといざなってお下さり、現在もご指導を賜っております元九州大学大学院農学研究院 森 健 先生に深く御礼申し上げます。また、これまで絶えず私を支え、励まし続けて下さいました家族に深く御礼申し上げます。

さて、この度受賞の対象となりました研究は、京都大学水資源利用工学研究室内の河地先生、藤原先生、宇波先生、同研究室の金城 信彦氏および若園 絢香氏と協働で遂行したものであります。本賞の表題が「地表水における輸送現象の数理および数値モデル化に関する研究」でありますように、受賞業績は、私達を取り巻く水の流れ、とくに、河川や用・排水路、ダムや湖沼などといった、地表水のダイナミクスの数理解析や数値解析、ならびに数値シミュレーションに関するものであります。地表水を対象とした水環境の評価や予測は、水資源分野における最も重要な研究課題のひとつとして位置づけられます。とりわけ、地表水における水の流動や溶質の移流分散現象などの輸送現象は、質量や運動量の保存則を中心とした各種微分方程式に基づいて定式化されてきました。輸送現象の数理・数値モデル化では、数物的な根拠を有する定式化はもとより、実用的な解析手法の開発が強く求められております。こうした背景のもと、私どもの研究におきましては、地表水における輸送現象に対する新しい理論、とくに確率解析学や偏微分方程式論に基づいた現象の定式化とその効率的な数値計算手法の開発、さらにはそれらの実問題への適用に取り組んで参りました。

まず、地表水の流れに関しましては、水路網の数学モデルである1次元開水路網で定義される浅水流方程式を対象として、流れの屈曲点や分合流点における運動量の非増加性を満足する新たな内部境界条件の定式化を導出し、既往の水理実験結果との比較から、その妥当性について検討いたしました(論文[1])。また、植生が繁茂す

る農業用排水路における浅水流れの数理・数値モデル化を行い、定常流れと非定常流れの双方の観点から、植生が流れ場に与える影響について検討いたしました(論文[2,3])。流れ場の数値近似が有しうる数値的な流れの不安定性を効率的に軽減する新たな数値技法の提案(論文[4])、ならびに2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震時に発生した藤沼ダム決壊洪水の数値シミュレーションを実施し、ダム決壊洪水が下流地域に与えるリスクについて検討いたしました(論文[5])。

その一方で、地表流に生じる各種溶質の輸送現象、すなわち移流分散現象については、粒子のLagrange的挙動を記述する確率微分方程式と付随するKolmogorov方程式に基づく新たな定式化を行いました。この過程で、Kolmogorov方程式の線型性に基づけば、半経験則であるFick則を用いずに溶質の移流分散方程式が導出できることを示しました(論文[6])。また、1次元開水路網流れにおける移流分散方程式の数値計算を行う場合には分合流点で課される内部境界条件が数値解の挙動を大きく変化させることを示し、既往研究で用いられている内部境界条件の不適切性を指摘いたしました(論文[7])。

以上が受賞業績の概要であります。現在は該当研究の内容を発展させ、京都大学水資源利用工学研究室の先生方と学生方、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の先生方、斐伊川漁業協同組合の方々とともに、島根県斐伊川水系を主要な対象に、河川流況、アユの回遊経路や個体群動態、漁獲、水鳥のアユ食害について、現地調査を交えた数理・数値解析に関する共同研究を展開しております。本研究は、「ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式」という非線型偏微分方程式を中核とする地域研究であります。また、島根大学生物資源科学部の先生方や学生方、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所オーストラリアブランチの先生方とは、該当研究で開発した数値技法を応用し、不織布に生じる水分動態の数値モデル化に関する共同研究に取り組んでおります。

今回の受賞を励みとしまして、今まで以上に研究活動に取り組む所存でございます。今後とも、ご指導ご鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

受賞対象論文

- [1] Yoshioka, H., Unami, K., and Fujihara, M. (2014): Comparative Numerical Analysis on Momentum Flux Evaluation Schemes for Shallow Water Flows in Open Channel

Networks, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, Vol.19, No.2, pp.25-33.

- [2] Yoshioka, H., Kinjo, N., Wakazono, A., Unami, K., and Fujihara, M. (2014): Application of Two Shallow Water Models to Steady Flow Analysis in a Vegetated Agricultural Drainage Canal, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, Vol.19, No.2, pp.35-41.
- [3] Yoshioka, H., Wakazono, A., Kinjo, N., Unami, K., and Fujihara, M. (2014): An Extended Mathematical Model for Shallow Water Flows in Vegetated Open Channels, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, Vol.20, No.1, pp.29-35.
- [4] Yoshioka, H., Unami, K., and Fujihara, M. (2014): Temporal Discretization Algorithms for the Continuity Equation of the One-dimensional Shallow Water Model, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, Vol.20, No.1, pp.11-18.
- [5] Yoshioka, H., Unami, K., and Fujihara, M. (2015): A Dual Finite Volume Method Scheme for Catastrophic Flash Floods in Channel Networks, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.39, No.1, pp.205-229.
- [6] Yoshioka, H., Unami, K., and Kawachi, T. (2012): Stochastic Process Model for Solute Transport and the Associated Transport Equation, *Applied Mathematical Modelling*, 2012, Vol.36, No.4, pp.1796-1805.
- [7] Yoshioka, H., Unami, K., and Fujihara, M. (2014): Internal Boundary Conditions for Solute Transport Equations in Locally One-dimensional Open Channel Networks, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, Vol.19, No.2, pp.1-9.