	かしわぎ　まさたか
氏　　名	**柏　木　正　隆**
学位(専攻分野)	博　士（工学）
学位記番号	博甲第　４６２　号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　情報・生産科学専攻
学位論文題目	A System-theoretic Approach to the Analysis,Reinforcement and Estimation for Polluted Rivers （汚染河川の解析、強化および推定に対するシステム工学的アプローチ）
審査委員	(主査) 教授　大住　晃 教授　森　武宏 教授　萩原良道 助教授　澤田祐一

論文内容の要旨

地球規模で環境汚染を考えるとき，従来は人間の生活の快適さへの欲望を満たすことが最優先され，環境問題の解決は先送りされていた．しかし，近年，地球温暖化への取組み，水質汚濁対策への取組みもかなり見られるようになったが，特に，水質問題は，まだまだ，河川が本来持っている自浄作用に依存した汚染物の投棄で解決することが多かった．また，本論文申請者の周りでは，滋賀県には大きな水がめがあるが，下流域で多くの住民や企業がこの流水を利用している．そのため，水がめの水質改善は特に重要な課題である．このような背景から水質問題に取り組んでいる．特に，自然の力である水質の自浄作用を有効に活用する方法を検討することは自然との共存の意味でも重要である．

一般に，水質改善に寄与する自浄作用は河川の役割が重要であり，歴史的には，Streeter と Phelps が最初に自浄作用の理論的研究を行った．その後，各種の研究がなされ，また，各種の水質解析モデルも出されたが，本研究では河川の自浄作用の基礎である水質項目について，制御理論を用いた検討をしている．

はじめに，水質の自浄作用で重要なＢＯＤ（生物化学的酸素要求量）とＤＯ（溶存酸素量）の二つの指標を取り上げている．これらの状態量を記述する方程式に関して，一般的には移流拡散方程式が使われるが，解析解を念頭に置いた基礎的な検討として，定常流で，拡散項を持つ常微分方程式を取り上げている．これらの方程式に関して安定な解を持つモデルを作り，自浄作用に加え，自浄を強化する機構を組み入れたモデルとしている．

次に，より一般化するため，不規則雑音を含むシステムを構成し，不規則雑音を含む離散的な観測データを用いた状態推定のためのアルゴリズムを提案している．

最後に，河川に流入する汚染負荷の流入地点とその量の同定を，ポイントおよびノンポイント負荷の両者について，擬似観測量という新しい考えを導入して行う手法を確立している．

本論文はつぎの 7 章からなり立っている．

第１章では，導入部として本研究を行うに至った背景と過去になされた研究を紹介して，本研究の意義を確認している．また，本研究は横断的分野を含むため，自浄作用に関する基礎的な部分もあわせ記述している．

第２章では，水質の状態を表す重要な指標であるＢＯＤとＤＯに着目し，これらに対する数学モデルをそれぞれ定常状態にある移流拡散方程式から連立 2 階常微分方程式として導いているが，それらは不安定基本解を含むことから，自然境界条件を考慮することによって安定な水質モデルを導出している．

第３章では，自浄作用を強化する機構を組み込み，河川の水質管理に利用できるアルゴリズムを提案している．このアルゴリズムを用いて，シミュレーションにより検証している．

第４章では，第２章で提案したモデルを用い，状態空間表現を行い，ＢＯＤとＤＯに関する安定な解を持つ水質モデルを提案している．さらに,このモデルを検証し，拡散項の消散にともなって従来研究されている Champ の式に収束することも確認している．

第５章では，離散地点で取得されるＢＯＤとＤＯに関する観測データから，河川全域にわたる水質の状態を推定するアルゴリズムを第４章で得た状態空間表現水質モデルを用いて導出している．

第６章では，水質事故などによる汚染源とその大きさの同定問題に対する有力なアプローチを提案している．汚染源の特定にはイノベーション過程に基づいた汚染負荷検知関数を考案し，これがある閾値を越えるかどうかで汚染源を特定している．また，汚染負荷の大きさの同定については，ポイント負荷およびノンポイント負荷の数学モデルから擬似的観測データを生成し，これを第５章の状態推定アルゴリズムに組み込むことによって推定するアプローチを提案している。

最後の章では，本研究で得た結果について考察している．

第２～第 6 章においては，十分な数値シミュレーションがなされており，それぞれの提案手法の有効性を裏付けている．

論文審査の結果の要旨

本論文では，環境汚染，とりわけ，河川における水質問題を取り上げ，独創的な試みとして，システム理論的アプローチにより河川の自浄作用の解析，離散的観測情報による水質の推定方法を提案している．その際，安定な解を持つ拡散項を含むシステムモデルを独自に作り，それが，従来研究されている Champ の式に収束することも理論的に確認している．また，このモデルより河川水質の評価に対する基礎式となる状態空間モデルを導出している．このことによって，水質の状態推定問題と汚染源の特定，さらには未知汚染負荷量の同定問題がシステム工学的に解決できる．これに対しては十分な数値シミュレーションがなされており有効性が確認されている．

河川の水質の推定，汚染源の特定，さらには汚染源の同定の問題に対して数理工学的アプローチはこれまで提案されておらず，学問的にも高く評価できる．

本論文の基礎となったのは下記に示す６編の学術論文で、そのうち２編は申請者が筆頭著者である．6

編の学術論文のうち，２編は学会論文誌に掲載され，１編は学会論文誌に投稿中である．他の３編は査読制度のある学会のプロシーディングスに掲載されている．

本論文が河川を管理していく場合に，河川の水質汚染の問題を解析し，河川の環境保全を考慮した利用にシステム理論的アプローチが行えるもので，応用的価値は高く，独創性も高く学術的価値も有することから，本審査委員会は本論文を学位授与に十分値すると認める．

１．M. Kashiwagi, A. Ohsumi, and M. Watanabe: Reinforcement and Analysis of Self-Purification of a River Subjected to Multiple-Source of Pollution, *Proc. IWA Leading-Edge Conf. on Water and Wastewater Treatment Technologies* (LET 2005), Sapporo（2005年6月）

２．A. Ohsumi, M. Kashiwagi, and M. Watanabe: Estimation of Self-Purification of Polluted Rivers Based on the Stable Water Quality Equations, *Proc. of 37th ISCIE International Symposium on Stochastic System Theory and Its Applications*, Ibaraki, Osaka, pp.12-17（2005年10月）

３．A. Ohsumi, K. Kashiwagi, M. Watanabe, and T. Takatsu: Estimation of Self-Purification of Polluted Rivers Based on the Stable Water Quality Equations, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* Vol. 2, No. 5, pp. 959-970 （2006年10月）

４．A. Ohsumi, S. Komiyama, and K. Kashiwagi: Detection of Pollution Load and Identification of Its Discharged Location and Magnitude for Polluted River, *Proc. of 38th ISCIE International Symposium on Stochastic System Theory and Its Applications*, Suwa, Nagano（2006年11月）.

５．柏木　正隆, 大住　晃, 渡邉　雅彦, 高津　和司: 汚染河川の自然浄化の解析」、強化および推定: シ
ステム工学的アプローチ, 計測自動制御学会 vol. 42, no. 11, pp.1234-1243.（2006年11月）.

６．大住　晃, 小見山　資朗, 渡邉　雅彦, 柏木　正隆, 高津　和司: 河川の汚染負荷量とその流入地点の同定および水質推定: 擬似観測量の導入によるアプローチ,計測自動制御学会 vol. 43, no.5 (2007 年 5 月）掲載決定

以上