

称号及び氏名	博士（工学）山田智貴
学位授与の日付	平成 17 年 2 月 28 日
論文名	「沿岸海域水質環境の時・空間予測モデルの構築に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 細田 龍介 副査 教授 奥野 武俊 副査 教授 溝畑 朗

論文要旨

沿岸海域における水質環境の把握は、悪化した水質の改善、海域生態系の修復、我々人間の健康的な生活の維持、水産資源の確保等の観点から重要であることが指摘されるようになって久しい。水質の悪化をくい止めるための具体的な施策として 1967 年に公害対策基本法が施行され、1971 年には、人の健康保護、生活環境の維持のための環境基準が制定されたものの、その後も沿岸海域の水質・底質の環境悪化は深刻化し続け、現在に至っていることは周知の事実である。

この間に、水質環境の修復や改善を把握や目的とした調査が始められるようになり、1970 年代初頭には環境庁（現環境省）や水産庁が中心となって水質環境の定期観測が全国的に始められ現在に至っている。これらの観測結果は、都道府県を中心とする自治体において集計され年次報告の形で公表されている。また、特に閉鎖性沿岸域において進められてきた数多くの開発事業においては水質を初めとする海域環境の観測は行われてきたが、その目的、海域、期間などは限られていることが多く、公表された例は少ない。一方、沿岸海域における水質環境の予測に関しては、陸域における人間活動の影響をも含めた海陸一体の環境管理システムの構築を目的として始められた例はあるものの完成した例を見ない。ただし、限られた海域・あるいは限られた時間内における水質環境の予測に関しては、当該海域の物理・化学・生物過程を生態系モデルとしてモデル化し、水質のみならず底質や生物相の変化を記述して予測に供しようとする研究は多い。これらの研究においては物理環境のみならず、海域における生態系、即ち生物生産活動をモデル化したものが多く、海域に特有の緒条件・制約が満たされた場合には精度良く水質環境の予測が可能となっているようであるが、空間的に広がりのある沿岸海域全体の長期の環境変化の記述には必ずしも適していない面がある。

生態系モデルを使ったシュミレーション手法の精度を上げて時間的・空間的広がりの中で活用するためには、生態系モデルにとっての外的制約条件とも言える空間的に広範囲で時

間的に長期の水質環境の把握・予測は不可欠と考えられる。また、長期の水産資源の動向把握・予測、海陸一体の環境管理システム構築等は時間的・空間的広がりの中で海域全体をカバーできることが要求される。これらの要求を満たすためには広域的な視点からも局所的な視点からもアクセスでき、しかも要求される精度で必要情報を提供できる沿岸海域環境データベースの構築が望まれる。本研究は、閉鎖性海域の代表である大阪湾における水質環境を例として、湾内全域をカバーして観測が続けられそのデータの蓄積がある大阪府環境農林水産部による公共水域水質測定結果、および大阪府立水産試験場による浅海定線観測結果を用いて湾内全域の水質把握・予測が可能となる数理モデルの構築を目的として実施された。構築する数理モデルの基本的な機能としては、(1) 過去から現在に亘って続けられている水質関連観測結果から、水質環境諸要因の時間的・空間的变化を正しく表現・評価できること、(2) 構築されたモデルを用いて湾内水質環境の合理的な予測が可能であること、(3) 構築される数理モデルは大阪湾域のみならず、水質観測データの存在する沿岸海域において水質把握・予測が可能な普遍的モデルであること、が要求される。本論文においては、これらの機能を有するモデルとして時間的・空間的に不確定さを含みながら、ある程度の規則性を持っている観測データの性質を考慮して自己回帰モデルによる観測時系列の記述を試みる。更に多くの観測データに見られる季節変動の性質を考慮して季節調整モデルを導入し、実測データの解析を通して水質環境の表現、予測に対する有効性を検討する。第1章では、研究に至った背景、目的、構成について述べた。第2章においては、観測時系列解析の基礎として自己回帰モデルを導入し、単変量および多変量の場合のモデルの構造、自己回帰係数の決定方法、および最適次数の客観的決定方法について述べた。更に、周期的変動を考慮するために季節調整モデルを導入し、モデルの構造、モデルを構成するトレンド成分モデル、季節成分モデル、AR成分モデルについて記述法を示すと共に、カルマンフィルターアルゴリズムを用いたモデルの解法について示した。第3章では、大阪湾域における水質環境実測データの調査・計測実施機関、計測地点、計測頻度について調査し、解析可能なデータ群について述べた。解析可能なデータ群の中から、計測期間長、欠測の状況等を考慮して解析対象とする水質項目と観測期間を選定し、自己回帰モデルによる解析を行った。解析対象とする水質項目の解析結果から、自己回帰モデルでは実測データにおいて次数と等しい観測期間長、即ち観測データの時間的変動を記述することはできるが、予測においては誤差の累積が大きく、モデルとして不適であることを明らかにした。第4章では、モデルの最適次数とトレンド成分、季節成分、AR成分の関係を考慮して各成分の次数を決定した。この次数に基づいて季節調整モデルを実測データに適用し、トレンド成分、季節成分、AR成分について観測項目毎に検討した結果、多くの水質実測データの基本的な変化はトレンド成分と季節成分によって性格付けが可能であることを明らかにした。AR成分に関しては、本研究における解析対象とした実測データ群の計測頻度が1回/月、4回/年で、個々の計測値は総て計測時の瞬時値であるため、季節変動よりも更に短期の循環的性質を見いだすことはできないため、モデルに組み込まれるノイズ成分と同等

の確率過程としての扱いを考慮する必要のあることを明らかにした。第 5 章では、大阪湾全域に点在する浅海定線観測結果に季節調整モデルを適用して解析を実施し、トレンド成分、季節成分、AR 成分の空間的分布を観測項目毎に公共用水域水質測定データ上の同一観測項目に対する解析結果の比較を行った結果、浅海定線観測と公共用水域水質測定データの群は、計測の時期、地点、頻度等が異なるにも拘わらず、同一観測項目に対しては統一的な時間的・空間的取扱いが可能であることを示した。更に、大阪湾全域をカバーする水質環境の把握・予測に関しては、観測項目が限られているため多くの関連項目間の相互因果関係を記述できるモデルの構築には困難のあることを考慮して、浅海定線観測データの季節調整モデルによる解析から得られる各成分の湾内 2 次元補間を行い、補間によって湾内全域の水質環境の把握・予測が可能であることを明らかにした。第 6 章においては、本研究で得られた結果を総括し、以下のように結論づけた。本研究においては、自己回帰モデルに季節変動の影響を考慮した季節調整モデルを用いて大阪湾水質環境関連の実測データを解析し、長期的変化を表すトレンド成分、季節的な変動を表す季節成分、およびノイズを含めた AR 成分によって水質環境の把握・予測が可能であることを明らかにした。季節調整モデルで用いられる緒パラメータは大阪湾海域水質に固有であるが、トレンド成分、季節成分、AR 成分に分離して推定することができる。即ち、解析可能な水質環境データ群の存在する海域であれば、季節調整モデルを用いて必要パラメータを推定できる。従って、本研究において提案する季節調整モデルを用いた沿岸海域水質環境の時間・空間的把握・予測法は普遍性を持つことは明らかであると考ええる。

本論文の基礎となる発表論文

No.	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	沿岸海域環境データベース構築に関する基礎的研究	山田智貴 坂原岳人 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 240 号, pp.227-236 (2003)	第 2 章 第 3 章
2	沿岸海域環境データベース構築に関する基礎的研究(第 2 報) —季節調整法の応用による水質変動のモデル化と特徴の把握—	山田智貴 藤波弘典 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 241 号, pp.245-251 (2004)	第 2 章 第 3 章
3	沿岸海域環境データベース構築に関する基礎的研究(第 3 報) —季節調整法を用いた水質データの同化と空間的分布の把握—	山田智貴 藤波弘典 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 243 号 (掲載決定)	第 3 章 第 4 章

4	Assimilation of marine environmental data measured by different organization in Osaka bay.	Yamada,T., Hosoda,R.	Proc. of OCEANS'04 (MTS/IEEE)/ TECHNO-OCEAN'04 Conference, pp.702-706 (Kobe, Japan, 2004).	第 3 章 第 4 章
5	沿岸海域環境データベース構築に関する基礎的研究(第4報) —空間的分布特性の把握と AR 成分に関する検討—	山田智貴 藤波弘典 細田龍介	関西造船協会論文集, 第 243 号 (掲載決定)	第 3 章 第 4 章 第 5 章

審査結果の要旨

本論文は、大阪湾海域を例として、沿岸海域における水質環境を時間的・空間的広がりの中で把握できると同時に予測も可能な数理モデルの構築を目的として行われた研究の結果をとりまとめたものであり、その成果は以下のように要約することができる。

- (1) 時間的・空間的に不確定さを含みながらもある程度の規則性を有する観測データの解析に関して、通常用いられる自己回帰モデルを適用した結果、水質環境関連項目は4回/年あるいは1回/月の観測データを用いて記述することは困難であることを明らかにし、自己回帰モデルに季節調整法を導入することによって水質環境関連項目を長期のトレンド成分、年周期成分および短期の循環成分の意味を持つ自己回帰成分に分離した。更に、各成分の予測誤差を最小とするモデル次数を決定して、成分毎に観測値を状態変数により記述し、カルマンフィルターを用いた解析を行った。その結果、長期トレンド成分、概1年周期の周期成分に関しては観測結果を極めてよく記述できることを示した。
- (2) 自己回帰成分に関しては、観測間隔が長いために、1年周期より短期の循環成分を見出すことはできないことを明らかにし、その性質を記述するために自己回帰成分の出現頻度を調査した結果、ノイズ成分と同等の確率過程で表現することによって観測結果の記述および予測が可能となることを明らかにした。
- (3) 湾内水質環境の空間分布に関しては、長期の観測項目が限定されており水質環境を記述するには項目数が不足していることを考慮して、湾内において観測された観測結果およびモデルによって解析・推定された各成分の推定値を湾内海域全体に亘って2次元補間することにより湾全体の水質環境を表現できることを明らかにし、異なる機関による観測データを用いて妥当性、適用性を検証した。

以上の成果として構築された数理モデルは、沿岸海域における水質環境を時間・空間的な広がりの中で記述、予測するための手法として広範囲に用いることが可能であり、沿岸域水質環境把握・予測のための生態系モデルの精度向上に寄与するところが大きい。

また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。

3. 審査委員会の所見

審査委員会は、本論文の審査ならびに学力確認試験の結果から、申請者に博士(工学)の学位を授与することを適当と認める。

