

東京湾における水質と漁獲量の長期変遷に関する研究

Study on Long-term Transition of Water Quality and Fishery Production in Tokyo Bay

学籍番号 47-176766

氏 名 古畑 亜佑美 (Furuhata, Ayumi)

指導教員 佐々木 淳 教授

1. はじめに

閉鎖性内湾となる東京湾では、1979 年以降に富栄養化対策となる総量規制が実施され、これまでに一定の水質改善効果が見られている。一方で、近年ノリの色落ちといった水質変化に起因すると考えられる漁業被害が報告されている。水質改善対策による効果のみならず、気候変動などの要因により湾内水質は変化してきたが、各々の影響に関する明確な知見は明らかでない。湾内水質の変遷、また将来予測に関わる検討は今後の効果的な漁業資源管理のためにも重要となるが、このような水質の長期トレンド把握への検討には、季節による周期的な変動や、気象などの間欠的な変動を排除可能な統計手法を用いることが有効と考えられる。例えば安藤¹⁾により、ベイズ型季節調整法を適用した水質の長期トレンドが推定されているが、気温や風向・風速、台風といった気象条件などの観測ノイズに大きく寄与する要因を考慮したモデルは確立されていない。本研究では、東京湾における水質の長期変動要因の解明に資することを目的に、東京湾で蓄積された長期的な水質データに対し、状態空間モデルを用いた湾内水質変動特性の把握について検討した。また、ノリの収穫量データより、収穫量のトレンド推定を検討した。

2. 状態空間モデルの概要

図-1 に示すように、状態空間モデルは直接的には観測されない真の状態を表すモデル (状態モデル) と、それに観測ノイズを加えた観測値を表すモデル (観測モデル) から表現される。観測モデルと状態モデルは観測値を Y 、トレンドを μ 、それぞれの観測ノイズを ε として表される。

$$\text{観測モデル} \quad Y_t = \mu_t + \varepsilon_{Yt} \quad (1)$$

$$\text{状態モデル} \quad \mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_{\mu t} \quad (2)$$

季節調整によるモデルと気象場として風の効果を加えたモデルの 2 つのモデルについて検討した。各モデルのパラメータ推定手法は、季節調整には、逐次処理により計算時間が少なくシンプルなモデルの推定に適したカルマンフィルタを適用した。また、風効果を加えたモデルには、複雑なモデル式でも推定可能な MCMC 法を適用した。

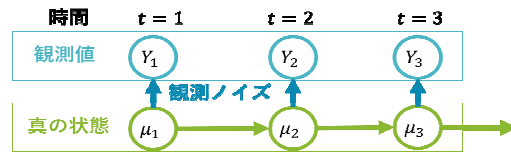


図-1 状態空間モデルの概略図

3. 東京湾内の水質変動特性

3. 1 長期水質観測データ

解析には、月 1 回程度、主に上下層の 2 点で観測される公共用水域水質測定結果を

用いた。なお、本研究では、月 1 回以上の観測がなされたことのある、図-2 に示す 76 地点を対象とした。データソースによりデータ収録期間が異なるため、各機関（各地方自治体、国土環境研究所、環境省）ホームページよりデータを収集し、月平均値として 1982 年度（千葉県観測点のみ 1976 年度）～2017 年度の連続データに整理した。また、本研究では水質項目の内、生物の生息環境への影響が大きい底層 DO に着目して検討を行った。図-3 に東京湾 1 における全年度の底層 DO の月平均値を示すが、夏季はばらつきが大きい、3 月～9 月にかけて減少し、9 月～3 月にかけて増加する季節変動があり、季節項をモデルに取り入れることの有用性を確認した。

3. 2 季節調整による状態空間モデル

季節項を取り入れた状態空間モデルとし、観測値 $Y[t]$ について、トレンド $\mu[t]$ と季節項 $season[t]$ と観測値から状態値を引いた観測ノイズ $\varepsilon_Y[t]$ に分解した。季節調整項は 12 ヶ月を 1 周期とし、任意の連続した 12 個の季節調整値の和は常に小さくなるものとした。

$$season[l] = - \sum_{i=0}^{L-1} season[l-i] + \epsilon_{season}[l]$$

カルマンフィルタによる季節調整法により、図-4 に示すように、季節項は 1 年の間にゼロを中心として上下する周期的な変動として、トレンドは季節的な細かい変動が取り除かれたなめらかな変動として分離された。状態値より、貧酸素水塊（3mg/L 以下）となる範囲を算定した結果、平均的には 9 月に貧酸素水塊が最も発達しており、これは安藤ら²⁾の結果と一致していた。またトレンドについて、5 年毎の回帰直線および回帰係数を算定したが、図-5 に示すように、

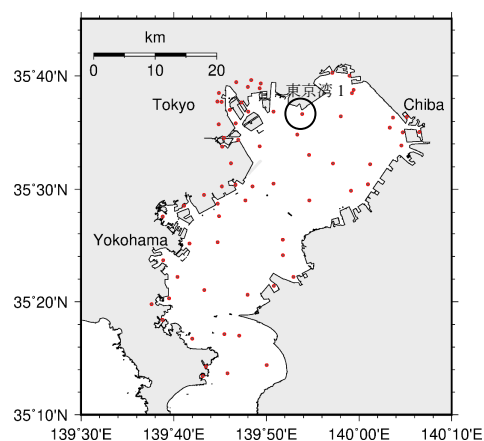


図-2 解析対象水質データ観測点

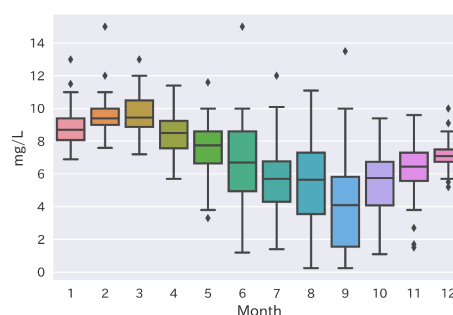


図-3 底層 DO の月平均値 (東京湾 1)

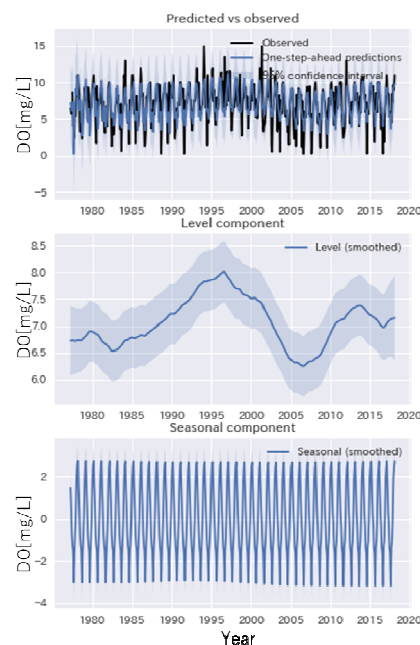


図-4 季節調整解析結果 (東京湾 1)

湾内全体では1995年～2000年においてDOは大きく減少傾向にあり、その後は上昇傾向で、ピークは2010年～2014年であった。

3.3 風効果を加えた状態空間モデル

9月の状態値と観測値を比較すると、特に2004年と2009年において顕著な差が見られたため、貧酸素水塊の発達が小さい年と大きい年において、底層DO観測値に対し、気象庁千葉観測所における気象データ（風向・風速、気温、降水量）を照らし合せたところ、2004年は観測日の約1週間以内に台風が2回近接しており、それに伴う強い南風が吹いていた。他の年については、観測時点より1週間以内の平均風速、最大風速および10m/s以上の風が吹いた時間にも明確な相関は見られなかった。また、国土交通省による浦安沖のモニタリングポスト³⁾でのDO連続観測値との照合では、南風により貧酸素水塊が改善傾向にあり、北風により貧酸素水塊が沖合より岸側へ移動しており、底層DOへの風の影響が確認された。そこで、観測値はトレンド、季節項、風効果 $wind[t]$ および観測ノイズの合計として、風の効果を加えた状態空間モデルを構築した。風効果については、観測前1週間内に10m/s以上の風が吹いた時間 Obs_{wind} に未知の回帰係数 c_{wind} を掛けた式としてパラメータ推定を行った。

$$wind[t] = c_{wind} * Obs_{wind}[t] \quad (4)$$

推定した風効果を図-6に示すが、回帰係数は湾奥中央と千葉県船橋から市原の沿岸部で最も値が高く、0.04以上であったが、それ以南では急激に減少し、横浜市・君津市沖で0.01未満となった。これより、湾奥中央と湾奥東側沿岸部で風効果は大きく、

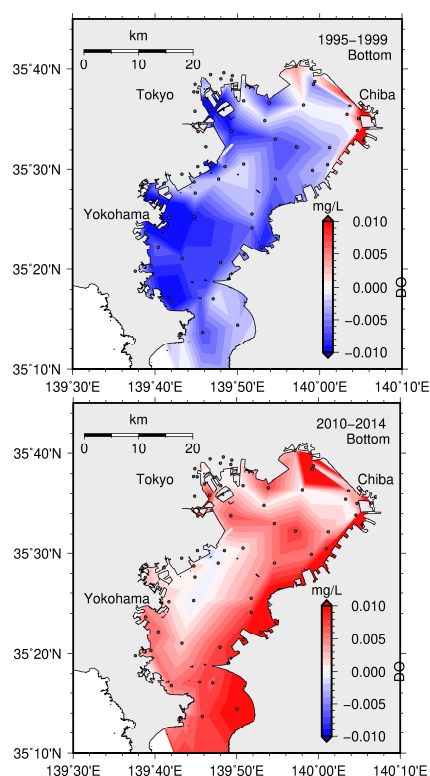


図-5 トレンドの回帰係数

(上：1995～2000年，下：2010～2014年)

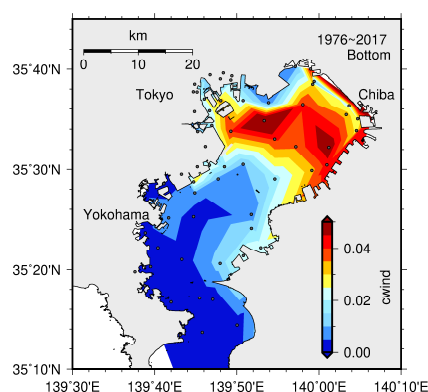


図-6 風効果の回帰係数 c_{wind} の空間分布

湾口側ほど風の影響は小さいと考えられる。また、風効果を含むことによる観測ノイズのばらつきとして、推定された標準偏差 σ_y を見ると、季節調整のみのモデルと比較し、内湾全体は減少傾向にあったが、差分は最大で約0.04と小さく、本モデルは推定精度の向上に影響はしなかった。

4. ノリ収穫量の推定モデルに関する検討

4. 1 収穫量変動への要因分析

農林水産統計年報より集計した、1969 年以降のノリの月別収穫量と前述の公共用水域水質データにより、ノリ収穫量への影響について、年間収穫量を目的変数、収穫量に影響しうるパラメータを説明変数として重回帰分析を行った。水質データは水温、塩分、COD、全リン、全窒素について、漁期の平均値を用い、AIC 最小化法によりパラメータを決定した。その結果、説明変数には塩分と全窒素が採用された。

東葛飾地区：

$$(\text{収穫量}) = -0.426 + 0.050 \times (\text{塩分}) \quad (5)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0.042$$

君津地区：

$$(\text{収穫量}) = -0.028 + 0.293 \times (\text{塩分}) + 0.626 \times (\text{全窒素}) \quad (6)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0.297$$

しかし、短期的な水質変化が収穫量に影響を及ぼすため、重回帰分析のみでは不十分で、以下でトレンド推定の検討を行った。

4. 2 収穫量のトレンド推定

ノリ収穫量からトレンドを抽出するための状態空間モデルへの適用の検討として、単回帰分析より、東葛飾地区における収穫量と最も相関が見られた埋立て面積の増加による効果を含めたモデルの作成を行った。埋立てによる急激な面積減少を除くトレンドが推定されたが、信頼区間の幅が広く、今後の課題とする。

4. 3 収穫量の変動要因に関するヒアリング

近年の収穫量の変動要因について、船橋と富津の漁業者を対象にヒアリングを行っ

た。両地区には、浮き流し式と支柱柵式の方式の違いで、生産量に差がある可能性がある。また、不漁時の要因については、秋の水温低下の遅れや出水による塩分低下、食害による被害が挙げられる。なお、色落ちについては、両地区に大きな被害は見られないが、外洋水の侵入により多少の被害が発生することがある。

5. 結論と今後の課題

本研究により、水質の変動把握において、季節調整を用いることで長期的なトレンドを可視化することが可能となった。また、強風の時間で表される風効果をモデルに取り入れることにより、湾奥部の中央と北東側沿岸で風の影響が強くなることを推定できた。しかし、風効果によるノイズの減少は見られず、風向きを考慮するなどの工夫が必要である。また、ノリ収穫量を用いたモデル推定については、時期や漁撈に関する値がより詳細な共販データを用いるなど、今後検討が必要である。

6. 参考文献

- [1]安藤晴夫(2016):東京湾の水質と赤潮, 底層 DO および透明度の長期変化, 水環境学会誌, Vol. 39(A), No. 5, pp.169-173.
- [2]安藤晴夫, 柏木宣久, 二宮勝幸, 小倉久子, 川井利雄(2005):1980 年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について—公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析—, 東京都環境科学研究所年報, pp.141-150.
- [3]東京湾環境情報センター:東京湾水質連続観 <http://www.tbeic.go.jp/MonitoringPost/Top>