

東京湾における自動水質観測データを用いたリアルタイム青潮予測システムの構築

東京都市大学 学生会員 ○木下健士

東京都市大学 正会員 田中陽二

1. はじめに

近年、東京湾をはじめとする閉鎖性海域では青潮の発生が問題視されている。その青潮の発生を事前に予測することは、特に漁業関係者にとって有益な情報となりうる。

青潮の発生メカニズムは以下の通りである。夏期に富栄養化した内湾では大量のデトリタスを発生させ、底層へ沈降させる。沈降したデトリタスが底層でバクテリアに分解されるとき、溶存酸素を消費することで無酸素水塊が形成される。この際、嫌気分解により発生した硫化水素を含む水塊が離岸風によって湧昇して、大気中の酸素と反応することで表層が青白く呈色する。湧昇した水塊は溶存酸素濃度（DO）が低く、有毒の硫化水素を含むため、生物の大量斃死を招く。

既往の研究結果から、東京湾での青潮の発生は北東風の連吹による影響が大きいことが分かっている^{1) - 5)}。しかしながら、北東風が連吹する気象状況や、青潮との因果関係については知見が不足しており、青潮の事前予測手法も十分に確立されていない。

一方、東京湾では自動水質観測が実施され、気象データや水質データがリアルタイムで公開されている³⁾。このような自動観測システムを活用することで青潮をリアルタイムに予測できる可能性がある。

以上の背景を踏まえて、本研究では東京湾における自動水質観測装置を利用して、既往の青潮発生状況の解明と、青潮の予測システムの開発を目的とした。

2. 研究方法

(1) 気象・水質観測データ

東京湾では国土交通省関東地方整備局によって、気象および水質の連続観測装置が4地点に設置され、東京

湾環境情報センターのHP上でリアルタイムに一般公開されている⁶⁾。

本研究では浦安沖及び千葉港波浪観測塔の観測データを使用した(図-1)。この2点では2010年4月から気象データとして風向風速・気温など、水質データとして水温・塩分・DOなどが、1時間おきに計測されている。

(2) 青潮発生時刻の定義

青潮の発生日と発生場所は千葉県水産総合研究センターの貧酸素水塊速報⁷⁾に基づいた。浦安沖及び千葉港波浪観測塔での青潮の発生時刻は、上記の青潮発生日前後の水質データから、水質が急変した時刻（特にDOが急激に減少し始めた時刻）とした。



図-1 自動水質観測装置の場所⁶⁾

3. 結果

(1) 既往の青潮発生状況

2010年から2013年の期間における浦安沖と千葉港波浪観測塔の青潮発生状況をそれぞれ表-1, 2に示す。

青潮の発生は、北東風の連吹が始まって4～93時間後であり、浦安沖では欠測以外の全13ケースの平均は43.7

キーワード 青潮, 自動観測装置, 東京湾, 北東風

連絡先 〒221-0005 東京都世田谷玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL 090-9304-2539 e-mail gl118032@tcu.ac.jp

表-1 浦安沖における青潮発生状況

発生日	青潮発生の	北東風連吹の	北東風連吹～青潮発生まで	
	推定時刻	開始時刻	時間 (h)	平均北東成分風速 (m/s)
2010/09/09	09/08 18:00	09/09 09:00	15	6.12
2010/09/15	09/14 16:00	09/15 09:00	17	5.11
2010/09/24	09/22 18:00	09/23 20:00	26	5.82
2011/05/31	05/27 20:00	05/30 15:00	67	4.80
2011/07/21	07/20 18:00	07/20 22:00	4	9.61
2011/08/23	08/19 11:00	08/22 03:00	64	5.92
2011/08/30	08/26 15:00	08/29 15:00	72	4.13
2011/10/21	10/17 23:00	10/21 20:00	93	5.46
2012/05/23	05/21 01:00	05/22 22:00	35	6.62
2012/06/13	06/11 17:00	06/12 22:00	29	5.87
2012/09/23	09/21 16:15	09/22 12:00	20.75	3.91
2013/06/02	05/31 01:15	06/03 06:00	76.75	5.29
2013/06/13	06/11 01:45	06/13 02:00	48.25	4.42
2013/09/24	09/22 14:00	欠測	－	－

表-2 千葉港波浪観測塔における青潮発生状況

発生日	青潮発生の	北東風連吹の	北東風連吹～青潮発生まで	
	推定時刻	開始時刻	時間 (h)	平均北東成分風速 (m/s)
2010/09/09	09/08 06:00	09/09 01:00	19	4.14
2010/09/15	09/13 22:00	09/15 04:00	30	2.09
2010/09/24	09/22 22:00	09/23 06:00	8	2.89
2011/05/31	05/28 00:00	05/31 02:00	74	6.25
2011/07/21	07/20 18:00	07/21 04:00	10	10.53
2011/08/23	08/19 13:00	欠測	32	5.27
2011/08/30	08/26 16:00	欠測	－	－
2011/10/21	10/18 01:00	10/19 20:00	43	6.22
2012/05/23	05/21 03:00	05/22 03:00	24	5.43
2012/06/13	06/11 21:00	06/13 01:00	28	6.75
2012/09/23	09/21 01:00	09/22 05:00	28	2.35
2013/06/02	05/31 04:00	06/02 00:00	44	4.60
2013/06/13	06/11 05:00	欠測	－	－
2013/09/24	09/22 06:00	09/24 01:00	43	6.69

時間であった。北東風の連吹から青潮発生までの平均北東成分風速は、平均で5.6m/sであった。千葉港波浪観測塔では、欠測以外の全11ケースの平均は31.9時間であり平均北東成分は5.3m/sであった。すべての青潮発生前には、北東風が支配的であった。(図-2)。

青潮発生前 24 時間での、平均底層 DO は 0.4mg/L から 6.1mg/L であり、全 13 ケースの平均は 3.3mg/L (標準偏差 1.8mg/L) であった。

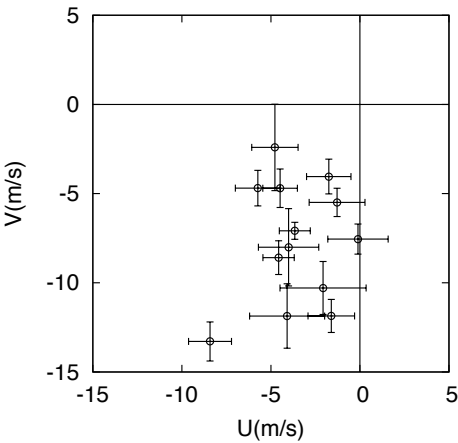


図-2 青潮発生 24 時間前の平均風速 (エラーバーは標準偏差)

(2) 青潮予測システムの構築

前節での既往の青潮発生状況の整理から、青潮の予測システムとして、自動観測装置の気象・水質データをもとにして、次のような判定基準を設定した。

- 1) 過去 6 時間での 3m/s を超える北東成分風速の割合が 80%以上である。
- 2) 過去 6 時間での平均北東成分風速が 6m/s である。
- 3) 底層 DO が 4mg/L 以下である。

上記の基準を全て満たした場合に、青潮発生と予測判定することとした。

(3) 青潮予測システムの検討

青潮予測システムを2010年から2013年の青潮の発生率の高い5～10月の期間について適用性の検討を行った(表-3, 4)。ここでの予測成功は、青潮発生開始時刻の24時間前までに青潮と予測判定できた場合とした。予測の失敗は2種類存在し、青潮と判定したが実際には青潮とならない(予測失敗1)、青潮と判定しなかったときに実際に青潮が発生(予測失敗2)と定義した。

青潮検出率は、実際の青潮発生回数に対する、青潮と予測できた回数の割合である。予測成功率は、青潮と判定した回数に対する、実際に青潮となった回数の割合である。

青潮検出率は浦安沖では76.9%,千葉港波浪観測塔では78.6%と高い検出率であった。しかし、予測成功率は、22.7%,28.9%と低くなった。これは判定基準が多くの青潮を検出することを主眼としたために、青潮と判定されやすくなってしまったことが一因と考えられた。

表-3 浦安沖における青潮予測の結果

年	予測成功	予測失敗 1	予測失敗 2	青潮検出率(%)	予測成功率(%)
2010	3	9	0	100.0	25.0
2011	3	5	2	60.0	30.0
2012	3	7	0	100.0	30.0
2013	1	10	1	50.0	9.1
計	10	31	3	76.9	22.7

表-4 千葉港波浪観測塔における青潮予測の結果

年	予測成功	予測失敗 1	予測失敗 2	青潮検出率(%)	予測成功率(%)
2010	3	8	0	100.0	27.2
2011	3	4	2	60.0	42.9
2012	3	10	0	100.0	23.1
2013	2	5	1	66.7	28.6
計	11	27	3	78.6	28.9

4. 考察

(1) 青潮の発生メカニズムについて

一般的に、青潮が発生しやすい夏期において、東京湾奥部周辺では南風が卓越する場合が多く、北風が連吹する状況は稀である。しかし、青潮発生時には常に北東風の連吹が発生しており(図-2)、浦安,千葉港付近での青潮の発生には北東風の連吹が不可欠であると判断された。

浦安沖と千葉港波浪観測塔を比較してみると、発生時刻に差が見られる。この2点間に関して平均を取ると千葉港波浪観測塔の方が約10時間程度早く発生している。東京湾の海の流れは古川ら⁸⁾によって夏期では反時計回りに流れることが示されている。今回その流れが千葉港波浪観測塔から浦安沖の区間では10時間であると示された。実際には浦安沖の青潮発生の方が早いケースが3ケース存在することから一概に東京湾の流れが反時計回りでないことも示唆された。

(2) 青潮予測の失敗要因

青潮の発生予測で予測失敗2のケースとなったのは2点ともに3ケースあった。要因として北東風の弱さ、DOが高いといったものが挙げられる。これらを予測できるように改良することが今後の課題である。

予測失敗1の件数が30件前後と多いことはこの予測システムの弱点といえる。予測失敗1となった状況を調べると、いくつかのケースは北東風が連吹したが青潮とはなかった場合であった。しかし、状況から考えると、青潮は発生していたものと推測された。

(3) 青潮判定の事前予測時間

今回の青潮予測システムで、青潮判定が青潮発生のどれくらいの時間差(タイムラグ)で出来ていたのか、調べた。浦安沖では13ケースの平均が11時間、千葉港波浪観測塔では11ケースの平均が21時間となった。2点間で10時間程度の差は見られたものの、現実的な時間スケールで青潮予測が行えることが確認された。

5. 結論

本研究では東京湾の青潮について、2010～2013年の発生状況を整理するとともに、自動水質観測装置を用いた青潮のリアルタイム発生予測システムを構築した。本研究で得られた知見は以下の通りである。

1) 青潮発生前には北東風が平均で浦安沖では43.7時

間、千葉港波浪観測塔では31.9時間連吹していた。2) 開発した予測システムを2010～2013年の青潮に適用した結果、青潮検出率が浦安沖では76.9%、千葉港波浪観測塔では78.6%と高く、かつ、平均で青潮発生の10時間前に予測できたことが検証された。

ただし、予測成功率が浦安沖で22.7%、千葉港波浪観測塔では28.8%であるため、この点は今後の改良が必要である。

謝辞：国土交通省関東地方整備局千葉港湾事務所からは青潮予測に関して貴重な情報をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 柿野純, 松村皐月, 佐藤善徳, 加瀬信明: 風による流れと青潮との関係, 日本水産学会誌, Vol. 53(8), pp. 1475-1481, 1987.
- 2) 中辻啓二, 尹鐘星, 湯浅泰三, 村岡浩爾: 東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性, 海岸工学論文集, Vol. 42, pp. 1066-1070, 1995.
- 3) 佐々木淳: 東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響, 海岸工学論文集, Vol. 44, pp. 1101-1105, 1997.
- 4) 渡辺正孝, 天野邦彦, 石川裕二, 木幡邦男: 秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と底層の無酸素水塊の湧昇過程, 土木学会論文集, No. 608/VII-9, pp. 13-29, 1998.
- 5) 田中昌宏: 東京湾の青潮, 瀬戸内海, Vol. 50, pp. 22-27, 2007.
- 6) 国土交通省関東地方整備局港湾空港部: 東京湾環境情報センター, <http://www.tbeic.go.jp>, 2014-08閲覧.
- 7) 千葉県水産総合研究センター: 貧酸素水塊速報, 2014-08閲覧, <http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suisan/index.html>.
- 8) 古川恵太: 東京湾における水の循環, そのおもしろい特徴, 国土技術政策総合研究所, 2015-01閲覧, <http://www.nilim.go.jp>.
- 9) 田中陽二, 木下健士, 田中雄介, 池田香澄: 自動水質観測データを用いたリアルタイム青潮予測システムに関する研究, 第51回環境工学研究フォーラム講演集, pp. 118-120, 2014.