

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360211

研究課題名(和文)地球温暖化時代を見据えた内湾環境の再構築に関する研究

研究課題名(英文)Reconstruction of estuarine environments in an era of global warming

研究代表者

青木 伸一 (Aoki, Shin-ichi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60159283

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：三河湾を対象海域として、気象、海象、陸域流出、内湾水質の4つの側面から総合的に温暖化影響について検討した。

気象変動については、地表面近くの大気安定成層化が夜間から早朝で進み化学物質の滞留が起こりやすいことを明らかにした。海象変動については、台風の大型化を見据えて2009年の高潮の特性を詳細に検討し、風場の急変が高潮の増幅要因となることを示した。陸域流出については、モデルを用いて地球温暖化による異常気象により栄養塩の流出が増大する可能性を示した。内湾水質については、観測値から0.024～0.06/年の水温上昇トレンドを示すとともに、貧酸素水塊の浅海遡上に対する風の影響を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Influences of global warming on estuarine environments were investigated from the points of view of meteorological and oceanographic variations, changes in nutrient inflow from land and estuarine water quality.

For meteorological variation, congestion of chemicals tend to occur because of enhancement in stratification near the ground surface from night to early morning. For oceanographic variation, detailed research on the 2009 storm surge indicates that the drastic change in wind field may increase magnitude of storm surge in the bay. For nutrient inflow from rivers, increase in freshwater discharge induced by extraordinary rainfall may cause increase in nutrients inflow. For estuarine water quality, the field data showed that water temperature has increased 0.024 to 0.06 degrees per year and also that the change in wind may influence upwelling characteristics of oxygen depleted waters in shallow waters.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：地球温暖化 気象変動予測 海象変動予測 流入負荷 水温 貧酸素水塊

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化が加速度的に進行しており、今後 CO<sub>2</sub> 排出削減が大幅に進んでも、50 年後には 2 程度の気温上昇が避けられない見通しとなっている。この温暖化は、気温や海水温の上昇だけでなく、降雨、気象擾乱、海面水位、海流など地球規模での気象や海象にさまざまな変化をもたらすことが予想されている。内湾域は海洋と陸域をつなぐバッファゾーンとして、生物生産、分解浄化など、物質循環を担う場であるが、ここ半世紀の間に顕著になった環境劣化は、生態系の健全性および沿岸環境の質の低下を引き起こし、その状態は様々な対策にも関わらず慢性化している。

三大湾等では再生推進会議が設置され、国や自治体の連携で環境改善に向かって動き出しているが、そのゴールとシナリオは必ずしも明確でなく、漠然とした目標を掲げているといった印象が強い。内湾の再生が目指すべきところは、その状態を数十年前の環境に戻すというような懐古主義的なものではなく、これから迎える地球温暖化時代における新しい内湾環境の姿を描き出すようなものでなければならないであろう。

### 2. 研究の目的

内湾域を再び活力あるものにするための再生シナリオは数十年以上の長期的なスパンで考える必要があるが、地球環境の急速な変化を考慮すれば、その再生シナリオは、内湾環境のバックグラウンドとなる地球規模での環境変化が考慮されたものでなければならないことは明らかである。本研究のねらいは、地球温暖化の進行に伴って大きく変化すると予想される数十年後の気象場や海象場の変動を見据えて、望ましい内湾環境の将来像を明らかにすることである。

本研究では、およそ 30 年後を目標年次とし、内湾再生の出発点である内湾環境の将来像の設定に必要な気象場、海象場の変化を予測するとともに、それらの内湾環境への影響を既存データおよび現地観測により抽出して温暖化のインパクト分析を行う。さらに、温暖化の影響をマクロにとらえ、温暖化レベルに応じた内湾の望ましい状態と環境再生のための道筋を提案するものである。

### 3. 研究の方法

三河湾を対象海域として、気象変動、海象変動、陸域からの栄養塩流出、内湾水質の変化の 4 つの側面から総合的に温暖化影響について研究を進めた。気象変動については、メソスケール気象モデルを開発し、それを用いた数値シミュレーションにより、大気環境における温暖化影響を調べた。海象変動については、特に台風の大型化を見据えて高潮に注目し、三河湾に伊勢湾台風と同規模の高潮をもたらした 2009 年の台風 0918 号による高潮の特性を詳細に検討した。陸域からの栄養

塩流出については、三河湾に流入する代表的な河川について流出モデルの構築を行い、現地観測による検証を行うとともに、地球温暖化の視点からその特性を論じた。内湾水質の変化については、三河湾の長期間水温データを用いたトレンド解析を行うとともに、浅海域で問題となっている貧酸素水塊の遡上に及ぼす気象場の影響に着目して現地調査に基づく研究を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 気象変動に関する研究

本研究で開発したメソスケール気象モデルを用いて、温暖化が進行した状態で、沿岸付近で吹く海陸風がどう変化するかを、大規模場の背景気温を「現状ケース」および「2 ないし 4 上昇させたケース」について、気象モデルによるシミュレーションを行い調べた。その結果、海陸風時の流れ場にそれほど変化がないものの、地表面近くの大気の安定成層化が、特に夜間から早朝で進み、大気化学物質の滞留が起こりやすいことが推測された。

さらに、近年日本で上昇しているオゾン濃度について検討した結果、VOC の排出源制御が NO<sub>x</sub> に比べて遅れた事が原因であることが明らかになった。温暖化、都市化にともなう気温上昇はガソリン等の貯蔵庫からの揮発量の増加、植物起源の VOC 排出量を増やすのでその影響が懸念されるが、人為排出 VOC の削減によって将来のオゾン濃度をどの程度押さえられるかを数値シミュレーションにより示した。

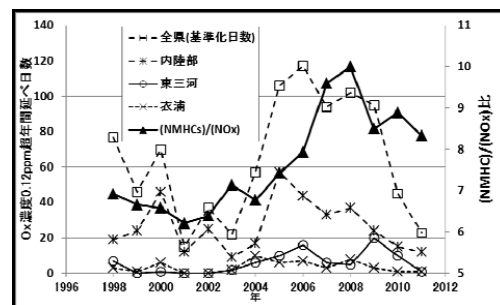


図1 O<sub>3</sub> 0.12ppm 超の日数とNMHC/NO<sub>x</sub> 比

#### (2) 海象変動（高潮特性）に関する研究

まず、三河湾奥部での潮位データに基づき高潮の発生状況を分析した。その結果、台風 0918 号による高潮は過去 30 年の記録の中で突出した値を示していた。また、偏差自体は 1m 以上であったが天文潮位が低かったために災害に結びつかなかった事例も存在していた。30 年間で高潮の発生頻度自体には大きな変化は見られなかったが、地球温暖化による台風の強大化は深刻な問題であることがわかった。

次に、台風 0918 号による三河湾の高潮の増幅特性について詳細に検討した。本研究で

は、台風 0918 号に加えて、台風 1115 号および台風 1217 号についても著者らが独自に得た観測データを用いて、三河湾の高潮の特性を明らかにした。その結果、三河湾奥に生じる高潮は、台風が三河湾を通過した後に吹く西風による吹き寄せ効果が主要因となって生じるが、その大きさは台風接近時の東風による伊勢湾側の潮位上昇の程度に影響されること、風向が東から西へ急激に変化することにより、伊勢湾側の水塊が自由長波として三河湾内に侵入して湾内で振動し、この振動の大きさは風向の反転時間が短いほど大きくなることがわかった。したがって、三河湾にとって危険な台風は、強風を伴って南から近づき、東風による伊勢湾側の潮位上昇を引き起こした後、風速を弱めることなく風向が急変するような台風である。この条件は、2012 年の台風のように湾奥を直撃する台風よりも、むしろ 2009 年の台風のように三河湾の湾口部を南北に通過する台風によってもたらされることが多いと考えられ、地球温暖化による台風ルートの変化が過去にない高潮災害を引き起こす可能性が示唆された。

### (3) 陸域からの栄養塩流出に関する研究

地球温暖化が流域からの流入負荷に与える影響を把握するために、流域からの栄養塩流入負荷シミュレーションモデルの開発を行った。具体的には、三河湾流入河川の豊川流域と梅田川流域を対象とした栄養塩流出負荷モデルを構築した。モデルの構築に当たっては、地球温暖化に対応した降雨量や気温の上昇に伴う蒸発散量の変化など複数のシナリオに基づくシミュレーションを可能にするための改良を加えた。また、三河湾流入河川である梅田川流域では、農地がキャベツやハクサイなどの畑地としてその多くが利用されている。畑地からの栄養塩流出負荷について、特に降雨時を対象として流出負荷を実測し、流出負荷の時間適変化をより詳細に再現可能なモデルとした。

梅田川を対象として実測調査及び構築したモデルによる栄養塩流入汚濁負荷量の算定を行った。その結果、窒素・リンの 2009 年の年間負荷量を算出したところ、環境省報告の発生負荷量は過小評価されていることがわかった。また、降雨量と流出負荷量には明確な正の相関があり、地球温暖化に伴う異常気象によって栄養塩流出が増大することがわかった。

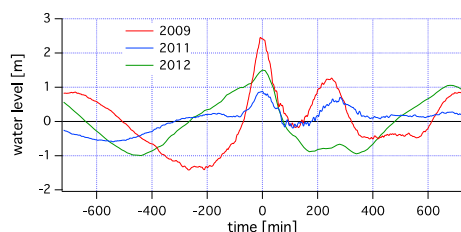


図 2 三河湾奥での高潮偏差の比較

### (4) 内湾水質の変化に関する研究

三河湾の水質に及ぼす温暖化影響を見るために、まず湾内で長期間の水温データを用いて水温変化のトレンド解析を行った。ここでは、季節変動や日較差についても検討を加えた。その結果、以下の知見を得た。

(i) 一次回帰分析と MK 検定の結果、三河湾内のほとんどの観測点で、長期的なトレンドとして統計的に有意な水温上昇傾向を示していることがわかった。その上昇量は  $0.002 \sim 0.005$  [ /month] ( $0.024 \sim 0.06$  [ /year]) であった。

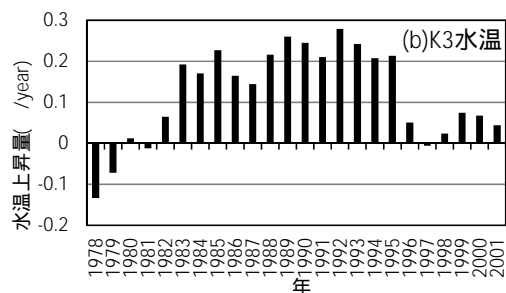


図 3 1年ごとの10年間水温上昇の例

(ii)三河湾東部(渥美湾)に比べ西部(知多湾)において水温上昇量が大きく、西部の火力発電所建設の影響を受けたと思われる地点では特に上昇率が大きかった。

(iii)水温上昇量の季節変動については、全体的に秋・冬期が大きかった。知多湾では8月・9月に、渥美湾では4月に上昇量が低い、もしくは減少していた。三河湾中央部では上昇量は低い傾向がみられた。

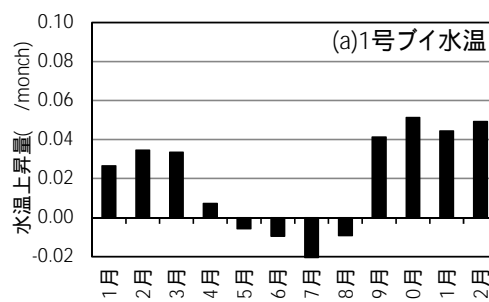


図 4 水温上昇量の季節変化の例

(iv)水温・気温ともに日較差は概ね減少傾向にあった。水温は夏・春の方が冬・秋より日較差が大きく、気温は冬・秋の方が夏・春より日較差は少し大きく現れた。

(v)日較差は長期的に減少する傾向を示したが、これは最低水温が最高気温よりも上昇量が大きいことに起因している場合が多かった。

(vi)各観測点の相関については、降温期では高いことより、水温変動の要因として、空間スケールが湾全体より大きい気象要素などが考えられる。また、昇温期では降温期に比べ相関は低く、空間スケールとして湾全体より小さい要素(河川水の流入など)も要因として考えられた。

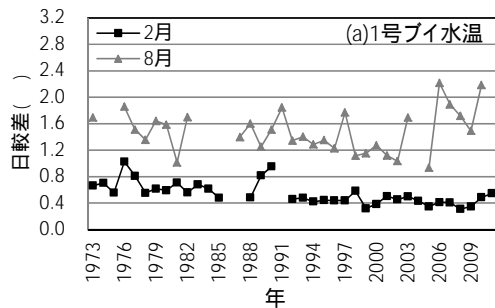


図5 水温の日較差の例

夏期の三河湾における貧酸素水塊の調査から、密度成層の強化と風の変化が苦潮（青潮）の浅海遡上に影響することを明らかにした。三河湾において苦潮被害が発生した2011年の夏期に集中的に行った豊川河口沖および三河湾内での水質および流れの観測データを用いて、三河湾奥浅海域の貧酸素水塊の発達特性および港湾域の水質悪化が河口域に及ぼす影響について論じた。得られた知見をまとめると以下の通りである。

・河口付近の浅海域での貧酸素水塊の発生は、生物的消費に伴い数日間かけて緩やかに生じるDO低下以外に、急激なDOの上昇の後急激に低下する発生パターンが顕著にみられた。この発生要因を検討した結果、東向きの風により一旦沖合に移動した底層貧酸素水塊が、風向きの変化により内部波的に浅海域に移動・遡上することに起因していることが推察された。

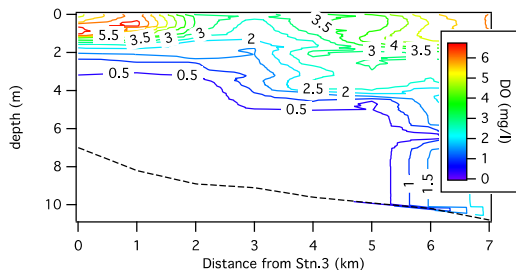


図6 苦潮発生時の塩分およびDOの分布

・港湾内では、慢性的に大規模な貧酸素水塊の形成がみられるが、表層との混合が活発で、表層への貧酸素水塊の上昇や植物プランクトンに起因する高濃度のDOが観測される等、表層では濃度変化がきわめて大きい。また、栄養塩濃度は港外に比べて高く、特に表層で窒素リンとも高濃度に存在していた。

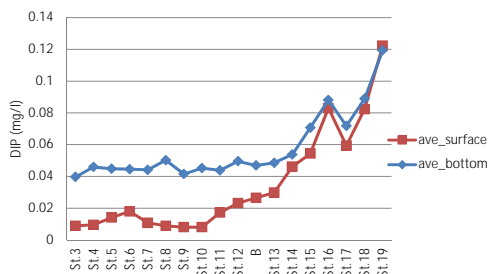


図7 期間平均した栄養塩濃度の分布

・港湾域で形成される大規模な貧酸素水塊が直接浅海域に拡大しているというメカニズムは確認できず、むしろ沖合と浅海域の間での水塊の移動が支配的な現象であると推察された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

青木伸一・間瀬友記・蒲原聡(2014): 貧酸素水塊の

Kitada, T., Kurodai Y., Shimohara T., Kanzaki T., Yoshikawa M., and Tokairin T. (2014): Numerical study on reduction of ambient NOx, PM, and VOCs concentrations by ACF (Activated Carbon Fiber) fences, Effects of generated air flow and chemical Reactivity of the ACF fences. Air Pollution Modeling and its Application XXII, Springer, pp.159-165.

青木伸一・乾智一(2013): 三河湾における高潮の特性に関する一考察, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol. 69, No.2, pp. I\_231-I\_235.

助川由宇・横田久里子・井上隆信・大久保陽子・松本嘉孝(2012): 降雨時調査による畑地群単独の栄養塩負荷量の算定, 土木学会論文集 G(環境), vol. 68, pp. VII\_769-VII\_773.

青木伸一・矢部泰貴・Syamsidik・陸真姫・井上隆信(2011): 内湾河口部浅海域の夏期の水塊構造と流れの特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 4, pp. I\_356 - I\_360.

〔学会発表〕(計18件)

間瀬友記・青木伸一: 干潟縁部での貧酸素水塊の挙動に関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2014/5/31, 大阪産業大学。

Le Dung Quyen・加藤 茂・Dinh Van Vinh: 1981~2011年における三河湾奥部での高潮発生特性に関する研究, 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, 2014/3/7, 岐阜大学。

Kitada T.: Emission control policy for reducing photochemical smog in Central Japan: Sensitivity study on the contribution of LRT and local production to episodic high O3.in SIBE2013, ISBN978-979-98278-4-5, 2013/11/19, Bandung, Indonesia.

稲垣大輔・井上隆信・横田久里子: 栄養流出モデルによる梅田川の流入汚濁負荷量の算定, 第48回日本水環境学会年会, 2013/3/18, 東北大学。

横川雅成・井上隆信・横田久里子・松本嘉孝: 三河湾奥部の水質濃度に流入負荷が与える影響, 土木学会中部支部研究発表会, 2013/3/8, 愛知工業大学。

河淵智実・井上隆信・横田久里子・松本

嘉孝：三河湾に流入する河川の海洋塩流出負荷の算出法の提案と評価，土木学会中部支部研究発表会，2013/3/8，愛知工業大学．

角野達郎・青木伸一：三河湾の海面水温の長期変化特性，地球環境シンポジウム，2012/9/13，京都．

北田敏廣・池田亮介・天野雅俊：バックグラウンド気温の上昇による東三河の海陸風の変化：数値解析による検討，大気環境学会中部支部学術講演会，2012/11/12，新潟．

角野達郎・青木伸一：三河湾における海面水温の長期変化傾向に関する研究，土木学会中部支部研究発表会，2012/3/8，信州大学．

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

青木 伸一 (AOKI Shin-ichi)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60159283

### (2)研究分担者

北田 敏廣 (KITADA Toshihiro)  
岐阜工業高等専門学校・校長  
研究者番号：40093231

井上 隆信 (INOUE Takanobu)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：00184755

加藤 茂 (KATO Shigeru)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：40303911

横田 久里子 (YOKOTA Kuriko)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：60383486