

衛星データによる東京湾内湾部の汚濁水塊マッピング

日本大学	学生会員	○都築	康幸
日本大学	正会員	岩下	圭之
日本大学	正会員	工藤	勝輝
日本大学	フェロー	西川	肇

1.はじめに

東京湾は、昭和 55 年度にスタートした『東京湾総量削減計画』による COD の濃度規制、総量規制により水質が改善されつつあるが一方で富栄養化の状態は改善されず、その対策として平成 14 年から、窒素・リンの総量規制も行われてきた。しかし、今もなお富栄養化の状態が続いており毎年赤潮が発生しているのが現状である。東京湾の富栄養化の原因は、夏季においては植物プランクトンに起因する二次汚染が主なものである。また、平成 15 年頃からは千葉県船橋市沿岸域でも赤潮・青潮の発生が確認され、魚介類に被害をもたらす現象も見られており詳細な水質状況の把握が必要な状況である。

近年、従来のデータ収集の基本であった船舶からの点的な観測データの集合体による調査法に加え、航空機や衛星データによるリモートセンシング技術を活用した面的な水質調査法が多く提案されている。

本研究は、東京湾に流入する千葉県側 9 河川の河口周辺沿岸域を対象に、Landsat TM & ETM の多時期データおよび Terra/ASTER VNIR データを利用して、東京湾における汚濁状態の時系列的な評価と流入河川河口部周辺におけるその汚濁水塊の流入および拡散分布状態の評価を目的とした。

2. 研究対象海域における水質汚濁の概況

本研究で対象とした東京湾への流入河川が位置する流域は、その大半が昭和 40 年代初頭より都市開発などにより著しく土地利用が変化し、流域内の環境変化が河川水の水質に影響を与えているといわれている。

図-1 は、東京湾内湾部へ千葉県側から流入する主要河川を示したものである。現地調査は、大学キャンパス内における基礎実験による知見を基本に、千葉県ならびに本学が衛星 (ASTER or



図-1 東京湾内湾部への千葉県域からの主要流入河川

LANDSAT) 観測日と同期して定期的に行っている定点観測データより、2009 年前期 5 月、6 月および 7 月の測定データを利用した。9 カ所の流入河川河口部調査地点に加え、この定期観測においては内湾上の 36 ヶ所の調査地点における船上から直接 8 項目の水質測定、試料水の採取ならびにスペクトル測定を行いデータの蓄積を行っている。

2.1 汚濁水の電磁波スペクトル特性

複数の水質測定項目より、富栄養化の指標である濁度及び Chl.a を対象に解析を行った。2009 年の前期 3 回の現地調査における 45 箇所の観測点における試料海水の化学分析結果と同地点の海水が示すスペクトル特性との相関解析を行った際に得た結果を以下に示す。

キーワード 水質汚濁、富栄養化、スペクトル、貧酸素状態

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部 E-mail:mochimochi.daifku@gmail.com

- (1)主に溶存態有機物および懸濁物に起因した濁度の判読には、その濃度に応じて可視光赤波長(VR: 675nm 近辺)における反射強度が強くなる性質が確認された。
- (2)図-2 は、Chl. a 濃度の違いに応じたスペクトル反射特性の変化を示したものである。図から 100 $\mu\text{g/L}$ 近辺を境として VR 近辺における吸収が顕著となり、逆に近赤外波長(NIR)の低波長域(700-730nm)における反射が強くなるという「植物的」な反射特性を確認できる。
- (3)100 $\mu\text{g/L}$ を超過する超高濃度 Chl. a を対象にスペクトル評価を行う場合 RVI 法 (NIR/VR) を利用する方が適切である。
- (4)図-3 は、Chl. a 濃度が 100 $\mu\text{g/L}$ 以下の場合の Gordon 法および 100 $\mu\text{g/L}$ 以上の場合の RVI 法による関係を示したものである。

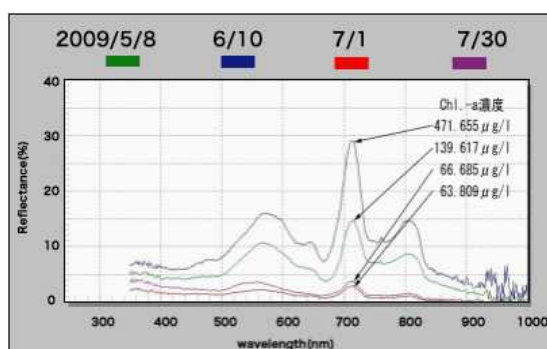


図-2 高分解能スペクトル分光計による Chl. a 含有水の濃度別のスペクトル反射特性

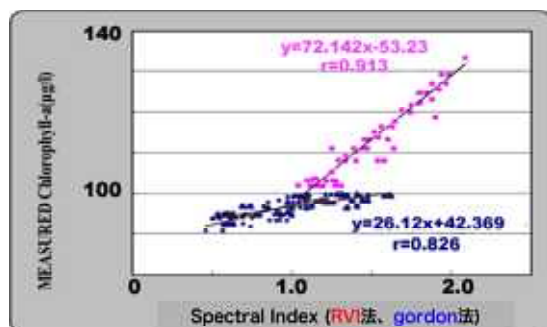


図-3 Chl. a 実測濃度とスペクトル特性との関係

2.2 河川流域の地被状況との関係

図-4 は、本研究で対象とした千葉県側の 9 河川(真間川・海老川・花見川・都川・村田川・養老川・小櫃川・小糸川・湊川)流域の市街化率の変化を示したものである。都市化が進行する前の昭和 30 年頃、千葉県側の流入河川流域は、平均して 20%程度が市街地であったが現在では 65%と急激に都市化が進行してきた。樹林地が多かった時代には降雨の多くは一旦土壌に浸透し、地下水流出として徐々に流れ出していたために、平常時の河水は非常にきれいであった。都市化の進行

により山林等自然の面積は減少し、加えて急激な都市化に排水施設等の整備が追いついていないことなど、生活雑排水が河川へ流入することで河川の水質が悪化する要因も増えていったことが考えられる。

図-5 は、対象とした 9 河川の平常時における流量の経年変化を示したものである。図から、昭和 30 年頃と比べると、水質が良好な地下水等からの流量は平均 20%ほど少なくなっているが、図-6 に示したとおり生活雑排水のような人工系の流量の影響でトータルでは 30%ほど多くなっているのが現状である。したがって、水質基準や排出規制等の法的な規制と同時に「市街化」という環境保全とは相反する都市開発が、河川水の最終集結地である東京湾の水質改善の妨げとなっていることがわかる。



図-4 対象河川流域の平均市街率の推移

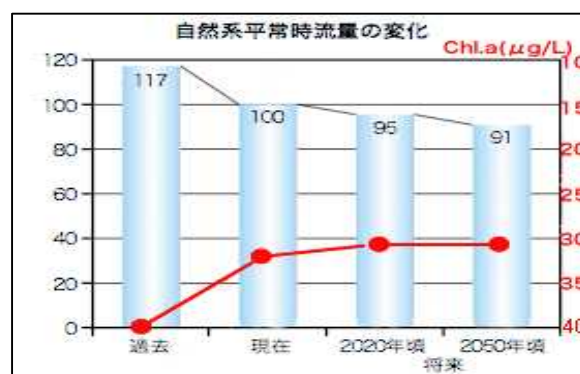


図-5 対象河川流域の平均自然系流量の推移



図-6 対象河川流域の平均人工系流量の推移

3. 衛星データによる内湾の相対濁度分布

現地調査の結果より、濁度の判読には可視光赤波長(VR: 675nm)近辺による評価が最も有効であることが確認されたことから、以降、衛星データの同波長帯を利用して濁度分布の判読を試みた。

3.1 内湾の濁度の時系列的評価

図-7(a)、(b)は、東京湾流域で衛星観測3日前まで降雨が記録されなかった昭和59年8月16日および平成16年8月4日にLandsat/TM センサおよびLandsat/ETM センサで観測されたBand-3(可視赤波長帯)データをシュードカラー表示処理によって可視化された東京湾内湾の相対濁度分布を判読したものである。これは、濁度のレベルに応じて可視赤波長域(0.600~0.690 μm)における反射が正変化する特徴を有することから、濁度の高～低に赤～紫のレインボーカラーの変化で表示することにより、相対的な濁度分布を視覚化する事ができる。なお、全てのデータに対してFimalent-Shaped法による複合ラジオメトリック補正が施されていることから、全てのデ

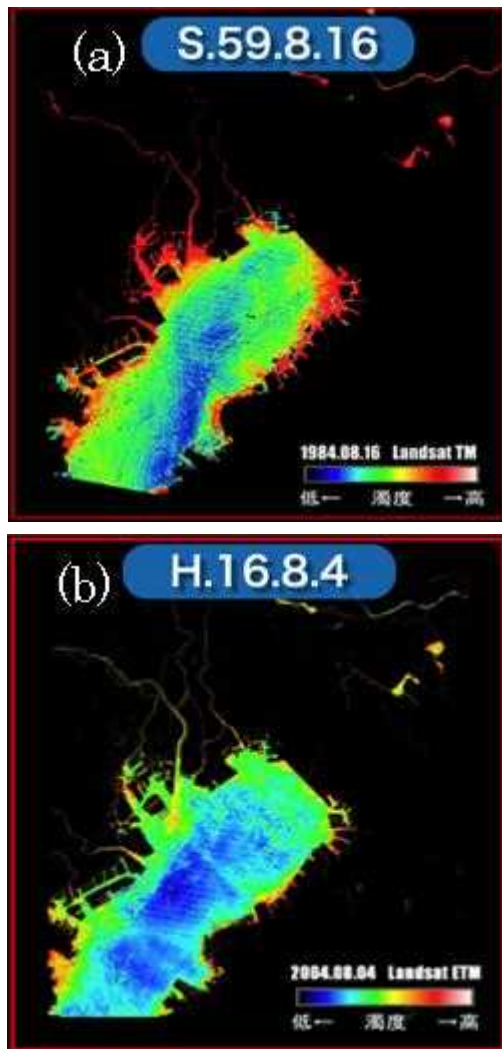


図-7 LANDSAT TM Band-3 データより判読された東京湾内湾部の汚濁分布

ータの海域が示すヒストグラムの上限と下限値を同一になるようパラレル化処理しているので同一レベルで評価することができる。これら多時期の画像から、以下のことが考察される。

- (1) 1984年から2004年に観測された多時期同季節のLandsatデータを利用した内湾全域の濁度分布から、相対的にこの20年間でかなり水環境が改善され、法的規制や環境負荷削減計画等行政努力の様子を判読する事ができる。
- (2) 全ての画像より、内湾最奥部において埋立地等の開発がさらに海流の交換が悪化させ、慢性的に特定箇所(大井埠頭沖, 多摩川河口部, 荒川河口部, 三番瀬)における汚濁水塊の滞留域が慢性的に存在しており、長い年月の間に同域に相当量の栄養塩系土粒子が沈殿し底質の「貧酸素状態」が懸念されている。

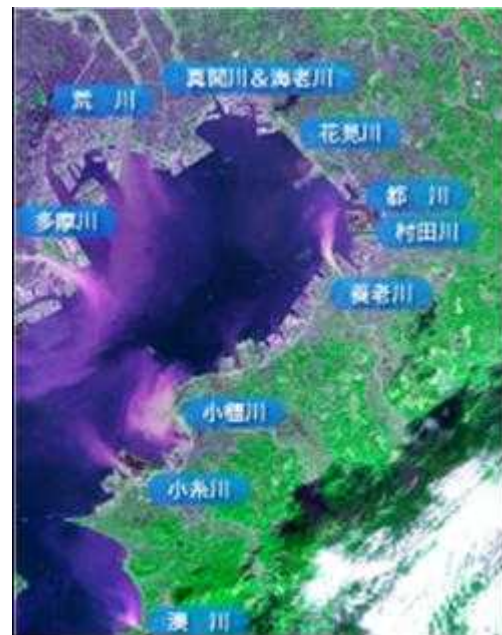


図-8 Terra/ASTER VR データより判読された集中豪雨直後の東京湾内湾部の濁度分布

3.2 内湾の流入河川が示す土砂流出

図-8は、千葉県北西部で170mm前後、千葉県南部で220mm前後の大雨が降った直後の2006年12月27日にTerra衛星のASTER/VNIR センサによって観測されたBand-1(可視光緑波長域)・Band-2(可視光赤波長域)・Band-3(近赤外線波長域)データにFilament-Shaped法による前処理を施した赤外カラー合成画像で可視化した内湾の流入河川が示す土砂流出分布画像を示したものである。画像から判読される流入河川の土砂流出の様子は以下のとおりである。

- (1) 乳白色で示される土砂密度の高い河口部では千葉県側の流入河川に多く、衛星観測時が冬季であることから当該流域の水田はほとんど

- が裸地になっており、降雨流出流が大量の土砂を運んできたものと判読することができる。
- (2)乳白～ピンク色で分布している土砂流出範囲の大きさは、後記する各流入河川の流域面積を考慮すると、土砂流出範囲の大きさから流域面積の相対的相違の判読が可能と思われる。
- (3)各流入河川から海域に流出する土砂流の拡散方向から、衛星観測時における湾内を反時計周りに流れる沿岸流の存在が判読することができる。

4. 流入河川河口部の Chl.a 濃度判読

図-9は、Chl.a 含有水が示す可視光から近赤外線波長域の電磁波スペクトル反射特性に基づいて以下に示した Chl.a 濃度の数量化アルゴリズムを利用して作成された Chl.a 濃度分布画像を示した。

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}(\text{Ca}) = & 0.2830 - 2.753R_{3M} + 1.457R_{3M}^2 + 0.659R_{3M}^3 \\ & - 1.403R_{3M}^4 \\ R_{3M} = & \text{Log}_{10}(\text{Max of } [(R_{443}/R_{551}) \text{ or } (R_{675}/R_{700})]) \\ \text{ここに、Chl.a: 推定濃度 (mg/L)、} \\ R_{443}, R_{551}, R_{675}, R_{700}: & 443, 551, 675, 700 \text{ 波長} \\ \text{帯の反射率, } R_{3M}: & (R_{443}/R_{551}) \text{ と } (R_{662}/R_{751}) \end{aligned}$$

- (1)上総台地の植生域に水源を持ち、河川沿線の沖積層に広がる農耕地を経て流下する養老側・小櫃川・小糸川・湊川などの自然河川は、市街地を流れる真間川・海老川・都川などの都市河川に比べて大量の Chl.a を海に排出している様子が判読できる。
- (2)図-8と比較すると、各流入河川から流出する土砂と Chl.a の拡散パターンはほぼ一致している。なお検証のため、衛星観測日に花見川・養老川・村田川・小櫃川河口付近で採集した試料水が示す濁度と Chl.a 濃度との関係から、土砂の流出濁度とこれら土砂流出流に含まれる Chl.a 濃度の高低とは良好な正の相関が確認されている。

5. まとめ

- (1)多時期の LandsatTM および ETM データの画像処理により、20年間のスパンにおける東京湾の濁度環境の改善の様子を判読することができた。
- (2)流入河川の河口部における Chl.a 濃度は、東京湾流域に大雨が記録された直後の冬季に観測された衛星画像から計測された値であり、

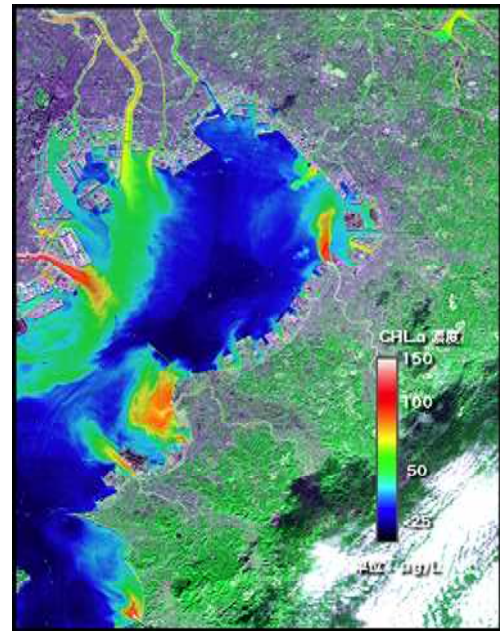


図-9 Terra/ASTER データ及び数量化アルゴリズムにより抽出された集中豪雨直後の東京湾内湾部の Chl.a 分布評価画像

大雨時には、流域では処理しきれない排水が直接湾に流出し、さらに水質汚濁を促進させたことが考えられる。しかし、これは千葉県域の東京湾流入河川における恒常的な排出濃度ではないことから、平水時における解析結果と比較することが必要である。また、各流域の形態が大きく異なることから、河口より内湾に流出する面源負荷物質、すなわちここでは衛星データより判読された河口部における Chl.a の数量値に対して流域の土地利用形態がどのような関わりを持つのか詳細に解析することが必要と思われる。

参考文献

- 1) 千葉県, 千葉県河川, 千葉県県土整備部河川計画課・河川, pp.62-82, (2008)
- 2) 千葉県, みんなで東京湾をきれいにする行動計画—千葉県東京湾総量削減計画—, 千葉県県土整備部河川計画課・河川環境課,
- 3) 高木幹雄, 下田陽久: 新編 画像解析ハンドブック, pp.1423-1511, (2004)
- 4) 気象庁: 気象庁統計情報,
<http://www.jma.go.jp/kishoujyoho>