

衛星画像を利用した排水権取引効果の時系列的モニタリング

日大生産工(院) ○齋藤 修大 日大生産工 内田 裕貴
日大生産工 工藤 勝輝 日大生産工 岩下 圭之

1 はじめに

近年、先進国において、人口・産業等が集中している閉鎖性水域では、広域的な水質汚濁が社会問題となっている。また、我国の閉鎖性水域(東京湾・伊勢湾・瀬戸内湾)においても慢性的な水質汚濁がみられ、汚濁負荷量を全体的に削減しようとする総量規制制度が導入されているものの、低濃度であるが慢性的な汚濁は改善されていない。近年、欧米を中心に水質浄化に対して「経済的手法」が取り上げられている。経済的手法とは、「市場メカニズムを前提とし、経済的インセンティブの付与を介して各主体の経済的合理性に沿った行動を誘導することによって政策目的を達成しようとする手法」であり、経済的手法には税、課徴金、補助金、デポジット、排水権取引など多様なものがある。

本研究では、米国EPA主導の水質改善プログラムの成功事例を元に、農業部門での水環境解析を行い、衛星リモートセンシングデータを利用して、時系列で水質改善効果を視覚的にモニタリングすることを目的とした。

2 経済的手法

2-1 基本的コンセプト

経済的手法とは、「市場のメカニズムを前提とし、経済的インセンティブの付与を介して各主体の経済的合理性に沿った行動を誘導することにより、政策目的を達成しようとする手法」である。例えば、環境に良い(悪い)影響を与える特定の行為をすることによって、その行為者が金銭的に得をする(損をする)仕組みをつくることで、その行為を助長(阻害)するのが経済的手法である。

Fig.1に、排出権取引の概念を示した。

2-2 経済的手法の種類

経済的手法には、大きく次の4項目が挙げられる。



Fig.1 経済的手法「排水権取引」

- 1) 税・課徴金；汚染物質の排出など環境に負荷を与える行為に対して課徴。
- 2) 補助金；環境負荷を削減する活動や行為に対して補助金を支給。
- 3) 排出取引；規制当局が汚染物質の総排出量を定め、各排出枠(許可証)を割り当て、排出源に許可証の売買を認める。したがって排出権が所有している許可書を購入しなければならず、逆に少なければ許可証を売却可能。
- 4) デポジット制度；環境に損害を与える恐れのある行為をする場合、事前に、金銭を徴収しておき、損害が発生しなかった時に徴収金を変換する仕組み。

3 米国における排水権取引プログラム

米国では、水質取引と呼ばれる排水権取引制度が導入されている。米国の水質対策は、1972年に制定された連邦水質浄化法を基本とし、1980年代初頭より幾つかの州において排水権取引プログラムが施行された。その後、2003年1月にはこれまでの実績を踏まえた最終的な指針がEPAにより「水質取引制度」の最終版を公表した。ここで、排水権取引とは、水質規制の順守を低コストでより効率的に実現するための新たな手法であり、市場原理の導入により、経済と環境上の便益の最大化が

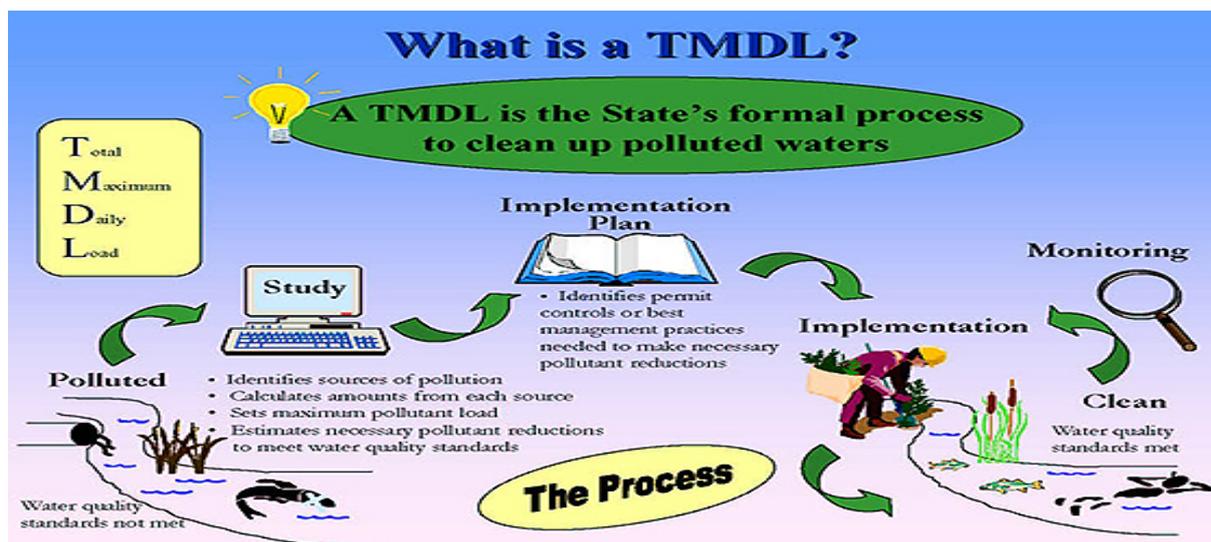


Fig. 2 経済的手法に必要な TMDL 算出のための流域水収支の概要図

可能となる。EPAの試算では、2007年の民間セクターにおける排水処理費用は185億ドル、下水処理施設等の費用90億ドルは、排水権取引制度が全国の導入可能な水域に適用された場合、双方ともが年間9億ドル(約990億円)の費用削減効果が期待されている。

3-1 TMDL: 日間最大排出量規制

日間最大排出量(Total Maximum Daily Load Program、以下TMDLとする)は同国水質浄化法が定める規制プログラムの一つであり、水質基準未達成の見通しが立たない水域に対する「汚濁水塊排水権取引」の一環として行われる汚染物質の総量規制制度である。Fig.2に、農地におけるTMDL算出のための流域水収支の概念を示した。水域が許容できる最大排出量は、以下の5項目からなる3要素の合計値として表される。

- 1) 規制対象とすべき汚染物質の選定
- 2) 水域が有する浄化能力の見積もり
- 3) 全ての排出源からの排出量を定量し積算
- 4) 水域の許容できる最大排出量を設定
- 5) 異なる排出源に排出枠を分配

水域が許容できる最大排出量は(1)式として、Load Capacity(LC)と呼ばれ、次の3要素の合計値として表される。

$$\text{Load Capacity(LC)} = \text{WLA}_s + \text{LA}_s + \text{MOS} \quad \dots (1) \text{式}$$

ここで、

WLA_s: Waste Load Allocations(全ての PS の合計)

LA_s: Land Allocations(全ての NPS の合計+自然界にもともと存在するバックグラウンド値)

MOS: Margin of Safety(行って一定の安全率を見込んだ値)と、表す。

3-2 農地からの慢性的な排出

1972年の法律制定当初は約3分の2の水域で水質基準が未達成であったのに対し、近年では未達成率は約3分の1にまで改善されている。しかし、近年の水質状況は改善から緩やかな悪化傾向になりつつある。この背景には、水質浄化法による規制は点排出源(Point Source、以下PS)を対象としており、主要な汚染源である非点排出源(Non Point Source、以下NPS)は基本的に規制対象がとまっている事が要因ではないかと推測されている(Fig.3)。特に、閉鎖性水域や湖沼域で汚染原因である富栄養価成分に関してはNPSからの汚染が大半であり、排出量全体に占める割合は窒素が82%、リンが84%にも達している。また、農地からの土壌流出による水質悪化も深刻化していることから、NPS由来の汚染への規制や対策としての「排水権取引」重要視されつつある。なお排水権取引の形態には以下の4種類の対応が存在し、内1)および2)が主流である。

- 1) point/point - PS間での取引
- 2) point/non point - PSとNPS間での取引
- 3) Pretreatment - 下水処理場に排水する業者間
- 4) Inter - Plant - 同一工場内の異なる排出源間

4 Trading RatioとTrading Pilot Case

PS - NPS型の取引の普及については課題が存在し、特にNPSからの排出量はサンプリングと分析による直接的な定量が困難で、Fig 2及び(1)式に示したような水収支モデルを利用して算定する手法が一般的ではあるが、誤差も否めない。この様に定量モデルで間接的に高精度を期待できないため、Trading Ratioという「安全率」が導入されるケースが多い。

4-1 Trading Ratio

仮に実際の排水量が算定値を大きく上回った場合に汚濁部下が水域の許容負荷を超過する事を防ぐために取引時に購入者が「排水枠」として充当するクレジット量を割引くシステムとなっている。

4-2 Pilot Case

以下に米国の水質汚濁改善のパイオニア的なチェサピーク湾流域内において実施されたPS-NPS間での取引例の概要を示した。

1) P&G化学工場(PS)とWM大規模牧畜業(NPS)
TR=Trading Ratioは2:1

- ①WM牧畜業は雨水流出防止工事を実施
- ②算定の結果「720kgの汚濁削減効果あり」と判断
- ③WM牧畜業は、720kgのクレジットを獲得
- ④P&G工場は、WM牧畜業より720kgのクレジットを37,000\$で購入
- ⑤P&G工場はTR2:1より360kgの排水枠を獲得

<評価>

- ・ WM牧畜業の排出量が720kg減、P&G社は360kg増により水域全体の汚濁負荷が軽減
- ・ WM牧畜業の汚濁削減量が課題評価であった場合のリスクを吸収
- ・ 実質的なクレジット購入者の排水権単価が高騰し、自主的な削減を促進する。

2) P&G化学工場(PS)とM下水処理場(PS)

TR=Trading Ratioは2:1

表1: P&G化学工場(PS)とM下水処理場(PS)でのTR

| | P&G 化学系工場 | M 下水処理場 |
|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 窒素削減義務量 | 100kg/day | 100kg/day |
| 自主削減量 | 0kg/day | 300kg/day |
| 削減コスト単価 | \$30/kg | \$10/kg |
| 自主削減コスト | \$0/day | \$3,000/day |
| 排水権の売買量 | (buy) 200kg/day | (sell) 200kg/day |
| 排水権の単価 | | \$13/kg |
| 排水権の売買コスト | \$2,600/day | -\$2,600/day |
| クレジット獲得量 (Trading Ratio=2:1) | 100kg/day | — |
| 総コスト | \$2,600/day | \$400/day |
| 取引の経済効果 | +\$400/day | +\$600/day |
| 環境効果(水域全体の削減量) | | 100kg/day |

<評価>

M下水処理場は削減義務100kg/dayの削減を行い、余剰排水枠をP&G社に\$13/kgで売却することで合意している。M下水処理場からP&G社への排水権売却量は200kg/dayであるが、この水域ではTR2:1で設定されているため、P&G社の獲得クレジットは100/dayとなる。一連この削減と取引によりP&G社は\$2,600/day, M処理場は\$400/dayとなり、両者とも実施前後で\$500/dayのコスト減、水域でも100kg/dayの削減となり、一応の取引効果を確認する事ができる。

5 MODIS/AQUAによるモニタリング

本研究で利用した衛星データは、MODIS (Moderate resolution Imaging Spectro-radiometer)は、可視・赤外波長32Bandの放射計を搭載した地球観測システム「Aqua」より取得されたものである。研究対象地として、環境復元のモデルケースとして約20年近い取り組みの末に一昨年に完了した米国東海岸チェサピーク湾流域全体の環境修復事業を対象とした。この内、排水権取引等を含む改善努力の推移及び効果を、水域の富栄養化のバロメータであるChl.a (クロロフィルa) 媒介として人工衛星MODIS/AQUAにより時系列的にモニタリングを行った (Fig 4)。これは、画像内のカラーバーに従い、赤に近づく程Chl.aの濃度が高い事を示しており、2005年頃から画像上部、都市周辺河口部の汚濁の沈静化している様子が確認できる。これは、時系列的Chl.a抽出画像解析結果からも、排水権取引のパイロットプログラムの開始や各省庁間の連携を促した大統領命令などにより劇的に水質改善されたことが視覚的に確認できる。また、水質汚染物質の源はNPS(主に農業)であることがFig.3からわかる。

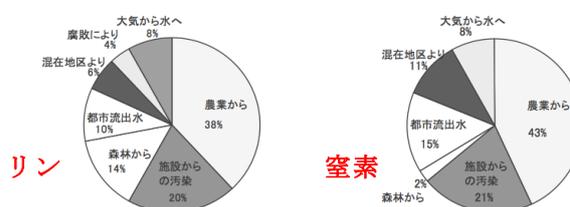


Fig. 3 チェサピーク湾におけるリン・窒素流出源割合 (2010)

6 考察

6-1 米国におけるプログラム評価

これまで全米で40件近い排水権取引プログラムがEPAのサポートにより実施され、これらを通じて得られた様々な問題点や課題を整理すると次の通りになる。

- 1) 全米の約4割の水域での水質基準が達成されておらず、要因としては汚染原因の上位に位置している未規制農業分野の水質改善には排水権取引が解決手段として期待されている。
- 2) TMDL規制と排水権取引をセットで進める事により、停滞傾向にあるNPSにおける水質保全政策の促進を活性化させる。
- 3) 2000年前半までは制度研究の意味合いが強く、取引件数も増加せず、CO2の排出権取引と比較をしてもEPA排水権取引は評価が低く評価されていたが、閉鎖性水域のような慢性的に水質汚濁が深刻な水域を中心に有効な制度と見直されている。

6-2 日本における排水権導入についての考察

日本は量規制ではなく、濃度規制を基本として、米国型排水権取引とは異なる体系となっている。日本では下水道排水について水質汚濁物質の排出抑制を目的とした仕組みが導入されているが米国の農後規制とは異なり、量規制として下水道施設から排出される汚濁物質に上限を設定し、地方自治体間で排出量の売買を行うことによって、良好な水循環及び水環境の創出につながる仕組みとなっている。しかし、排出枠を超える自治体には、他の自治体からの枠の購入や効果的な汚水処理の遂行を求めており、逆に排出枠を下回る自治体には、余剰排出権を他の自治体へ売却することを認め、売却益をより高度な汚染処理に活用する様に求めている。制度の構築にあたり、国土交通省下水道部が主体となって2002年度から検討を進めた事により2005年に下水道法改正により、高度処理に関する排出枠取引による共同負担制度が導入された。これより、都道府県は、流域別下水道整備総合計画に終末処理場ごとの窒素・リンの削減目標量を定めなければならないこととなった。また、他の下水道管理者の肩代わりをして削減目標の一部に相当する窒素・リンの削減をする場合に、その下水道管理者に費用を負担させることができるようになった。また、モデルケースとチェサピーク湾(米)は、我が国の代表的な閉鎖性水域と政治、

経済、産業立地等が酷似しており、その流域内に至る手賀沼、印旛沼水質汚染リストの常連と化している一部の湖沼に対しては総量規制(排出キャップ)と排水権取引制度の導入は有望な選択肢となる可能性があると考えられる。

「参考文献」

- 1) 中村郷平, 「米国における水質保全のための排水権取引制度—主役は農業汚染対策」, 日本政策投資銀行 2003年報告書, 全般, 2003年
- 2) K.Carder, T.Goodmann and K.Iwashita. 「Chlorophyll Evaluation Using Landsat TM Data」, Entire of EPA Star Grant Annual Report 2004.
- 3) EPA, 「Wetlands and Water Quality Trading: Review of Current Science and Economic Practices with Selected Case Studies」, EPA/600/R-06/155, 2007
- 4) 内田裕貴, 岩下圭之, 工藤勝輝, J.C. Dozier, 「時系列マルチスペクトルリモートセンシングデータによる米国チェサピーク湾の水質評価 - 複合ラジオメトリック補正を施したCBRSP航空機データを併用して」 第45回日本大学生産工学部学術講演会論文集, 2012

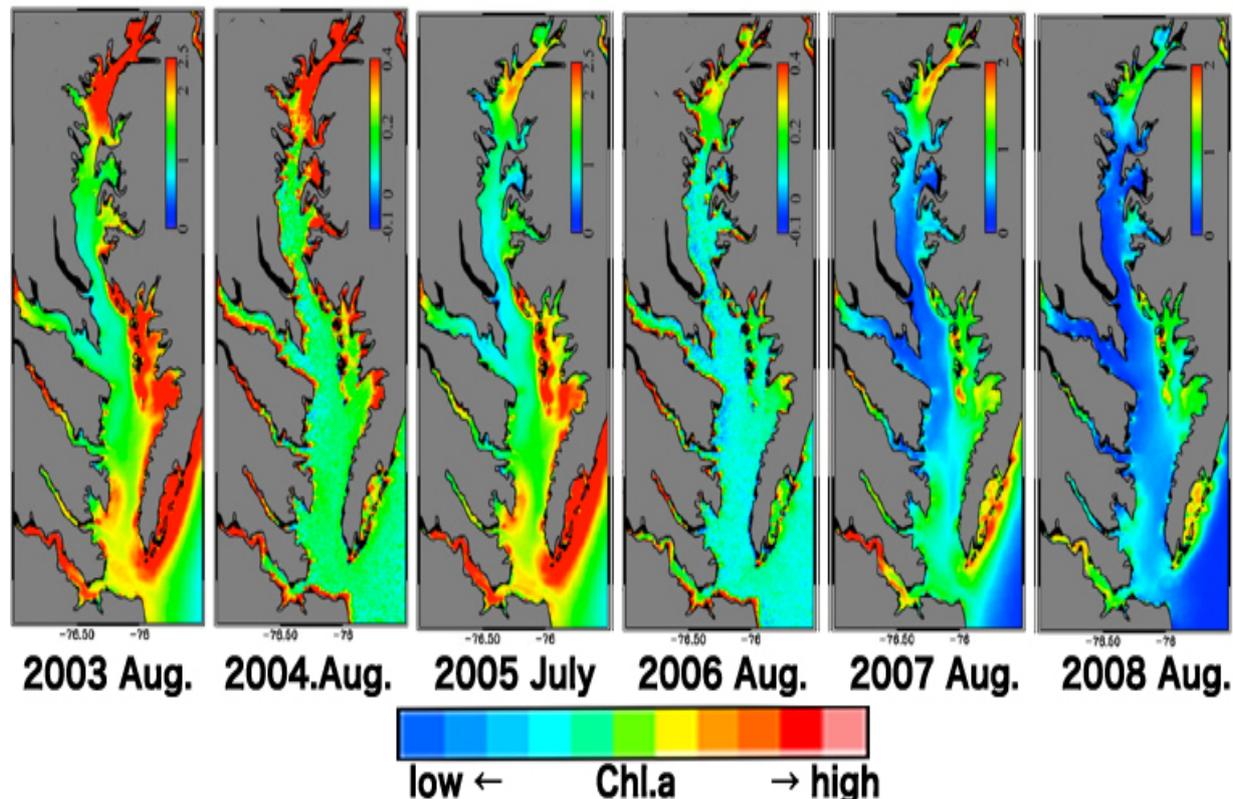


Fig 3 MODIS/AQUA により抽出されたチェサピーク湾(夏季)における Chl.a 濃度分布画像