

山林・農地からの栄養塩流出負荷

豊橋技術科学大学建設工学系 井上隆信

1. はじめに

栄養塩の排出源は、ポイントソース(Point Source, 点源)とノンポイントソース(Non-Point Source, 面源)に分けられる。山地や農地は、市街地とともに、ノンポイントソースに位置づけられている。このノンポイントソースから排出される汚濁をデیفューズポリューション(Difused Pollution)と表現するようになってきており、IWA(International Water Association, 国際水学会)の中に研究グループがある。ここ数年は毎年研究発表会を開催しており、2004年10月には日本で開催された。また、日本水環境学会の中にもノンポイント汚染研究委員会があり、シンポジウムやワークショップを開催している。この研究グループからは、『水環境学会誌』の特集「デیفューズポリューション」(1997年12月)、「流域水環境管理」(2003年3月)、『環境技術』の特集「流域のノンポイント汚染」(2004年5月)の報告がなされている。

ここでは、『河川と栄養塩類 管理に向けての提言』(2005)で、分担執筆した部分に一部加筆修正して、山地や農地からの栄養塩の流出負荷について概説する。

2. 大気からの栄養塩負荷

河川を通じて流出する水の源は降水である。降水として地上に到達し流出する水の流れとともに、栄養塩も河川を通して流出している。降水中でも栄養塩は含まれており、山地から流出する栄養塩の源の一つである。

大気から流域への窒素、リンの負荷は、粒子状物質が沈着した乾性降下物と降雨や降雪の湿性降下物に分けられる。乾性降下物として地表面に到達した窒素・リンは降雨時に洗い出されて河川に流入する。このため、降水による負荷や降水中の平均濃度を算出するには乾性降下物由来の栄養塩も考慮する必要がある。林学の分野において、試験地を設けた森林での生態系調査では、森林への流入となる大気から負荷についても調査がなされているが、栄養塩に関しては、硝酸態窒素とアンモニア態窒素のみの場合がほとんどである。降水中からの負荷に関して我が国で継続的に広範囲でのモニタリングには、環境省が実施している酸性雨対策調査があるが、これも硝酸態窒素とアンモニア態窒素のみである。

酸性雨対策調査は1983年から実施されており、第3次調査(1993~1997)では全国46地点で観測が行われ、データが公表されている(環境庁(1997))。表-1には、酸性雨対策調査における1993年から1997年の各観測所の平均値の最大、最小、平均値を湿性降下物と、湿性降下物と乾性降下物の和の全降下物について濃度に換算して示した。また、全窒素、全リンを観測している梅本ら(2001)、國松ら(1997a)の観測値についても示した。

酸性雨対策調査におけるアンモニア態窒素濃度の最大値は湿性が筑後小郡、全降下物が宇部、最小は湿性が沖縄国頭、全降下物が小笠原、硝酸態窒素の最大値は湿性、全降下物とも北九州、最小は同じく小笠原であった。アンモニア態窒素と硝酸態窒素を合わせると平均で0.6mg/lになり、降雨による窒素の負荷はかなり大きい。窒素酸化物の排出源は工場と自動車、

特にディーゼルであり、排出源に近い都市域や工業地帯で濃度が高く山地や離島等では低くなっており、梅本らの調査でも同様の傾向が得られている。國松らによる全大気降下物の観測では、全窒素の濃度は、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の濃度の合計より高くなっている。また、梅本らの観測では乾性降下物の比率が窒素で約40%になっている。酸性雨対策調査の結果等とあわせて考えると、乾性降下物中の窒素は、アンモニア態や硝酸態窒素の無機イオン以外のおそらく有機態窒素と考えられる成分の比率が高いことが示唆される。

大気から負荷されるリン濃度については、梅本らで 0.007 ~ 0.008mg/l、國松らで 0.03 ~ 0.101mg/l であり、田淵ら(1985)がまとめたその他の観測例でも 0.2 ~ 0.12mg/l の範囲で、おおよそ 0.01 ~ 0.1mg/l の範囲にあると考えられる。

3. 山地からの栄養塩流出負荷

山地からの無機イオン成分の流出に関しては、林学の分野で試験地を設けて詳細な検討がなされている。しかし、窒素に関しては硝酸イオン、亜硝酸イオン、アンモニアイオンの無機イオンのみで全窒素の測定がほとんどなされていないこと、リンに関しては測定されている例が少ないこと等、必ずしも下流域の富栄養化に関する水質項目の観測は十分ではない。

森林からの流出水の水質濃度は、特に、降雨時において大きく変動するが、降雨時の詳細な観測例は少ない。降雨時の水質成分は流出特性から、流量増加に伴い濃度が大幅に上昇する「洗い出し型」、濃度が上昇する「安定流出型(貯留型)」、濃度がやや減少する「安定流出型(非貯留形)」、化学反応などが流出量に関与する「非安定流出型」に分類される(山田ら(1999))。懸濁態窒素、リンは「洗い出し型」に分類され、降雨時に濃度が大幅に上昇する。これらは、土壌が流出し懸濁物質濃度が上昇することに起因しているが、その流出量を一般化できるほど観測例は多くない。硝酸態窒素、溶存態リンは「安定流出型(貯留型)」に属し、降雨に伴う流量増加時に濃度が上昇する。土壌中においては微生物によって有機物が無機化、硝化され硝酸態窒素やリン酸態リンとして蓄えられていたものが、降雨に伴って流出するためであると考えられている。

表 3-2 には、今までの森林流出水に関する報告の一例(梅本ら(1999)、山田ら(1998)、國松ら(1997b)、渡部ら(1987))についてまとめた。なお、観測頻度、降雨時観測の有無、平均値の算

表 3-1 降水中の栄養塩の平均濃度

	降水量 (mm)	NH ₄ ⁺ -N (mg/l)		NO ₃ N (mg/l)		TN (mg/l)		TP (mg/l)	
		湿性	全降下物	湿性	全降下物	湿性	全降下物	湿性	全降下物
酸性雨対策調査									
最大		0.42	0.45	0.37	0.48				
最小		0.10	0.12	0.07	0.08				
平均	1534	0.25	0.29	0.26	0.33				
値									
神戸	1340					0.69	1.12	0.006	0.008
生野	1893					0.27	0.49	0.005	0.007
朝日岳 (N流域)	1932		0.20		0.21		0.66		0.030
朝日岳 (S流域)	1932		0.25		0.21		1.08		0.064
妙光寺	1123		0.51		0.50		1.18		0.101
朽木	2356		0.23		0.30		0.71		0.037

定方法等は各文献によって異なっている。窒素は、無機イオンの形態では硝酸態窒素がほとんどであり、溶存態の比率が高い。リンは、全リンの大部分が溶存態リンの観測結果が多いが、降雨時流出を考慮した平川では懸濁態リンの比率が高くなっている。

指定湖沼に適用される水質汚濁に係る環境基準では、自然環境の保全が利用目的の類型で窒素が 0.1mg/l 以下、リンが 0.005mg/l 以下、水道水源や水浴に利用可能な類型で窒素が 0.2mg/l 以下、リンが 0.01mg/l 以下、前処理等の高度の浄水処理を行えば水道水源として利用可能な類型で窒素が 0.4mg/l 以下、リンが 0.03mg/l 以下になっている。この値と表-2 の平均値と比較してみると、窒素、リンとも類型を満たしている河川はなく、類型を満たしている河川が窒素で 4 河川、リンで 5 河川であり、類型を満たしていない河川も窒素、リンとも 2 河川存在する。このことは、人為汚染のない森林からの流出水であっても濃度が低いとは一概に言えず、森林流出水のみを貯留しただけでも類型を満たすことは難しい河川が多数存在することを示している。降水中の窒素、リン濃度と比較するといずれも降水中よりは濃度は低くなっており、森林は、窒素、リンの流出を減少させる浄化型の場になっている。

我が国の森林からの流出水中の窒素濃度にはかなりのバラツキがあり、1mg/l 以上の硝酸態窒素濃度の地点も数多く見つかっている。一方、隣接する流域でありながら濃度の低い地点が存在することもあり、大気からの窒素負荷のみでは説明ができない。森林からの流出水の水質には、基盤岩石、土壌、樹種、樹齢、下草の状態、気温等が複雑に影響しており、樹木の年齢や、地質、土壌の性質等、いろいろな原因によって流出水の窒素濃度が決まっていると考えられる。しかし、まだ観測例が少ないことからはっきりしていないのが現状である。

4. 農耕地からの栄養塩流出負荷

農地からの流出負荷については、武田(1997)や國松(2000)によって詳しくまとめられている。ここでは、これらをもとにして流出機構と課題について概説する。

我が国の農耕地は 2000 年の世界農林業センサスの結果では、田 226 万 ha、畑 135 万 ha、樹

表 3-2 森林域からの栄養塩の流出濃度

	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DN	TN	PO ₄ -P	DP	TP
谷川	0.006	0.18		0.27	0.003	0.004	0.007
	0.000-0.023	0.05-0.63		0.12-0.82	0.001-0.007	0.001-0.008	0.002-0.112
漁川	0.004	0.08	0.12	0.13	0.005	0.003	0.007
	0.000-0.012	0.00-0.28	0.03-0.30	0.06-0.30	0.001-0.007	0.000-0.005	0.005-0.012
ヲルナイ川	0.007	0.06	0.12	0.19	0.008	0.007	0.012
	0.001-0.013	0.03-0.25	0.06-0.29	0.08-0.38	0.003-0.012	0.005-0.010	0.008-0.028
イヤンコッパ川	0.003	0.08	0.13	0.18	0.008	0.008	0.012
	0.000-0.007	0.04-0.23	0.05-0.24	0.08-0.29	0.004-0.013	0.004-0.013	0.008-0.018
モイヤン川	0.003	0.09	0.13	0.17	0.014	0.014	0.017
	0.000-0.011	0.05-0.26	0.03-0.28	0.09-0.28	0.010-0.017	0.010-0.017	0.012-0.023
朝日岳	0.020	0.27	0.32	0.35	0.002	0.004	0.007
三上山	0.023	0.15	0.22	0.23	0.003	0.004	0.009
管山寺	0.037	0.28	0.40	0.43	0.022	0.025	0.036
朝日の森	0.019	0.05	0.15	0.21	0.003	0.006	0.011
妙光寺 ¹¹⁾	0.022	0.19	0.29	0.37	0.004	0.007	0.010
平川 ^{12)*}		0.51	0.60	0.79		0.011	0.048

単位：mg/l，上段は平均値，下段は最小 - 最大，*日流出負荷量と日流出水量からの推定値

園地 27 万 ha で、総経営耕地面積は 388 万 ha になっている。日本の総面積が 3778 万 ha であるので、おおよそ 10 分の 1 が農耕地であり、その約 6 割が水田である。なお、田には過去 1 年間に稲以外だけを作っている 34 万 ha、作付けしなかった 21 万 ha も含んでいるので、これを差し引くと田の比率は低くなる。

稲作では、灌漑期と非灌漑期(非作付け期)で、その流出特性が大きく異なる。灌漑期には水管理によって排水されること、畦や排水口からの漏水があること、水がはられているため降雨時に流出しやすいことによって、流出量が多くなり、それに伴って栄養塩の流出負荷も多くなっている。

田では、まず、耕起を行い、その後窒素、リンを含む肥料が施用され、田に水を入れて代かきが行われた後に田植えが行われる。田植え前に、水深を浅くするために落水(水を排出する)が行われることから、濁水とともに窒素、リンの流出負荷も多くなっている。近藤ら(1993)によると、排出負荷から流入負荷の差の「差し引き排出負荷量」でみると、代かき田植え期の 15 日間で、灌漑期間の約 130 日間の窒素で 45%、リンで 22%が流出する結果になっており、排水中の窒素濃度は 5~7mg/l、リン濃度は 0.6~0.8mg/l にも達している。代かき時の濁水の流出は琵琶湖流域でも問題になっており、落水を行わない代かき方法の普及等の対策事業が行われている。

現在、二毛作が行われている田は 7 万 ha 程度と少なく、稲刈り後は放置されている。この非灌漑期には畑地と同様に降雨時に表面流出や地下浸透によって栄養塩は流出する。國松ら(1994)によると非作付け期間の約 240 日間の流出負荷量は、年間流出負荷量の窒素で 51%、リンで 68%に達するとしており、非灌漑期にも田からの栄養塩の流出量は多い。また、降水による流入負荷と比較しても窒素で 1.3 倍、リンで 7.1 倍になっている。

田が汚濁型であるか浄化型であるかは、流出負荷量から降水と用水による流入負荷量の差の「差し引き排出負荷量」が指標になる。過去の文献では浄化型になる場合もみられているが、代かき時や降雨時の高濃度排出時の調査回数を増やした場合や非作付け期の流出も考慮した場合等は流出負荷が増加することから、田は汚濁型と捉えて差し支えないと考えられる。

畑は農耕地面積で見ると田に匹敵するほどの面積になっているにもかかわらず、畑から栄養塩の流出に関する研究例は少ない。これは、田が稲の単一栽培に対して畑では栽培作物が多様でありそれによって施肥量も異なること、土壌の種類によって流出特性が異なること、表面流出は降雨時のみに生じることや浸透水の調査が難しいこと等によると考えられる。武田(1997)によると窒素の流出量は施肥量の増加とともに多くなり、概ね施肥量の 30%が流出するとしている。また、多量の窒素肥料が施用される茶畑では、硝酸イオンによる地下水汚染が問題になっており、伊井ら(1998)は茶畑内にあるため池では、硝酸態窒素の濃度が 4~20mg/l、全リン濃度が 0.1~2mg/l になっている例を報告しており、高濃度の水が流出している。

流域の栄養塩の発生源別発生量は、内湾での総量規制や湖沼水質保全計画で算定されている。例えば琵琶湖流域の農業系の比率は、滋賀県の計算では窒素が 22%、リンが 12%であるのに対して、國松の試算では窒素が 35%、リンが 53%になり、工業系や家庭系よりも大きくなり最大の発生源になるとしている。流域の土地利用形態によってもその影響度合いは異なるが、農耕地からの栄養塩の流出が、河川中流域での栄養塩濃度の増加の要因であることは間違いないと考えられる。

5. 栄養塩の河川流出特性

河川の水質を表すのに、最もよく用いられているのが平均濃度である。しかし、濃度が大きく変化する成分については、サンプル数や、降雨時を含めるか等のサンプルの取り方によって大きく異なる。表-3には、湖沼川の週に一度の調査結果の算術平均と流量加重平均濃度を示した。算術平均は $(\sum C_i)/n$ (C_i :濃度, n :データ個数)で、流量加重平均は $(\sum C_i \cdot Q_i) / \sum Q_i$ (Q_i :流量)で求めた値である。算術平均濃度は流量安定時の平均濃度に近い値になるのに対して、流量加重平均はサンプル数が少ない場合は一回の流量増大時の重みが増すためサンプル数やサンプルの取り方によって値が大きく異なるが、一定間隔の調査で調査期間が長くサンプル数が多い場合は下流域への流出する平均濃度を示している。流量増大時に濃度が上昇する懸濁態成分では、流量加重平均濃度は算術平均濃度よりも高い値になり、懸濁態窒素で2倍、懸濁態リン・炭素で約3倍になっている。一方、溶存態成分では両者がほぼ同じ値になっている。このため算術平均濃度と年間流量の積を年間流出負荷量とすると懸濁態成分については過小評価になる。河川の水質評価に当たっては、算術平均だけではなく流量加重平均濃度の考え方も必要になる。

年間流出負荷量の算定は、河原(1984)は毎日観測データを用いて、週1回の観測では、窒素とCODでは3割程度の誤差が含まれるとしており、リンでは3日に1回の観測を行わないと同程度の誤差に収まらないとしている。この推計誤差は、水質の変化幅や出現頻度にも大きく依存する。特に、降雨に伴う流量変化に依存する水質成分が多いため、降雨時の取り扱い方によって年間流出負荷量の値は大きく異なる。

流出負荷量の算定方法には、区間代表法、L-Q式、晴天時流出負荷量に降雨時調査による降雨時流出負荷量を加算する方法等が提案されている。しかし、まだ、個々の研究者で独自の方法を採用しているのが現状である。いずれにしても、月1回程度のデータから年間流出負荷量を算定することは慎む必要がある。

6. おわりに

昨年度の総務省の「湖沼の水環境の保全に関する政策評価」では、ノンポイント汚染源等各種発生源からの汚濁負荷の把握が必ずしも十分でなく、ノンポイント汚染源からの汚濁負荷の割合が大きいほどノンポイント汚染源対策を推進する必要があるとされている。ただ、河川においては水質の自動観測も進んでおらず、流量と同程度の精度での流出負荷量を把握することが難しい状況である。今後、調査方法や解析方法の体系化、統一化が必要と考えられるが、現象解明型の研究が中心であり、しかも研究者の数が少ないのが現状である。この分野の研究者が増えることを希望する。

表-3 算術平均濃度と流量加重平均濃度 (mg/L)

	算術平均濃度	流量加重平均濃度
T-N	1.6	1.7
D-N	1.4	1.4
P-N	0.16	0.32
T-P	0.078	0.19
D-P	0.017	0.018
P-P	0.060	0.17
TOC	2.8	5.8
DOC	1.3	1.3
POC	1.5	4.5

参考文献

- 伊井博行・平田建正・松尾宏・田瀬則雄・西川雅高(1998)茶畑周辺の池水中のpH変化と窒素、リン、硫黄、アルミニウムの挙動について、土木学会論文集, 594/ 7, 57-63
- 梅本諭・駒井幸雄・井上隆信(1999)山林域小水域における栄養塩類の濃度変動と流出特性、国立環境研究所研究報告「水環境における流出特性に関する研究」, R-144, 101-113
- 梅本諭・駒井幸雄・井上隆信(2001)都市域、山林域における湿性降水物及び全大気降水物による窒素、リンの負荷量、水環境学会誌, 24, 300-307
- 大垣眞一郎監修(2005)河川と栄養塩類 管理に向けての提言, 技報堂出版, 142-147
- 河原長美, 福寿真也, 北川知与司(1984)年間総流出汚濁負荷量の推定法に関する研究, 水道協会雑誌, 593, 38-44
- 環境庁・(財)日本環境衛生センター酸性雨研究センター(1999)第3次酸性雨対策調査データ集(大気系調査分冊)
- 國松孝男・Luo Rong・須戸幹・武田育郎(1994)非作付け期間の宝の水質汚濁物質の表面流出, 農業土木学会論文集, 170, 45-54
- 國松孝男・須戸幹(1997a)森林渓流水質と汚濁負荷流出の特徴, 琵琶湖研究所所報, 14, 6-15
- 國松孝男・須戸幹(1997b)林地からの汚濁負荷とその評価, 水環境学会誌, 20, 810-815 田淵俊雄・高村義親(1985)集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会
- 國松孝男(2000)農業地域と琵琶湖の環境保全, 宗宮功編著 琵琶湖 - その環境と水質形成 -, 技法堂出版, 39-45
- 近藤正・三沢真一・豊田勝(1993)代かき田植時期の N, P 成分の流出特性について, 農業土木学会論文集, 164, 147-155
- 武田育郎(1997)農地におけるノンポイント汚染源負荷, 水環境学会誌, 20, 816-820
- 山田俊郎・清水達雄・井上隆信・橋治国(1999)降雨時における森林集水域からの水質成分負荷流出特性, 環境工学研究論文集, 36, 217-224
- 山田俊郎・大江史恵・清水達雄・橋治国(1998)森林集水域からの栄養塩負荷流出とその特性に関する比較研究, 環境工学研究論文集, 35, 85-93
- 渡部春樹・伊井貞博・田中金春(1987)林地からの汚濁流出特性, 下水道協会誌, 24(273), 41-51

都市排水の影響を受けた東京湾の水環境

東京都環境局水環境課 風間真理

1. 東京湾の概要

水面積 1380 km² の東京湾。流域には日本の人口の 2 割を占める 2600 万人が生活する「首都の海」である。主な河川だけでも江戸川、中川、荒川、隅田川、多摩川、鶴見川など 34 河川が、最終的にはすべて東京湾に流入する。湾口部の水深は 50m 以上あり平均水深は 45m となっているが、内湾の平均水深は 15m と浅く閉鎖性が高い。流入した河川水は約 1.6 ヶ月滞留する¹⁾。

平成11年度夏季を対象にした環境省資料²⁾から積算した結果によると、内湾への河川水の流入量は約7,000万m³であり、その91%は江戸川、荒川、中川、隅田川、多摩川から湾奥部に流入している。湾奥部には都内に散在する下水処理場からの処理水510万m³（平成15年度 ただし市下水道含まず）が河川を通して、あるいは沿岸から流入している。

2 流入河川と下水処理場の水量・水質

東京都沿岸部に限定して、沿岸域に立地する下水処理場の放流量をみると、葛西、砂町、芝浦、森ヶ崎の各水再生センターは各々1日あたり31万m³、40万m³、61万m³、113万m³となっている（平成15年度実績：東京都下水道局ホームページ）。一方、河川水量は、荒川では秋ヶ瀬下流放流量が平水流量168万m³、低水流量105万m³、多摩川の調布取水堰下流流量が平水流量で188万m³、低水流量で127万m³と算出されている（15年度速報値からの算出）。比較すると、森ヶ崎水再生センターはまさに大河川並の水量規模であることがわかる。また、隅田川から東京湾への淡水流入水量の60%が下水処理水となっている。

COD水質（年度平均値）についてみると、河川水質は江戸川：浦安橋4.2mg/l、荒川：葛西橋4.3mg/l、隅田川：両国橋5.5mg/l、多摩川：大師橋4.2mg/lであり、処理場の処理水質は葛西：9mg/l、砂町：13mg/l、芝浦：12mg/l、森ヶ崎：西10mg/l、東12mg/l（平成15年度実績：東京都下水道局ホームページ）であった。

このように、下水道普及率が区部100%多摩部94%となった東京都域では、排水量で95%、COD排出負荷量で83%（いずれも14年度集計）を占める下水処理場排水の寄与が大きいものとなっている（東京都からの排水量、BOD排出負荷量の発生源別割合（平成14年度）図2参照³⁾）。経年的には各施策によってBOD負荷量は減少しているが、第5次総量規制で規制対象に導入された窒素・リンの削減が遅れている⁴⁾。

3 東京湾の水質の現状

(1) 赤潮・青潮

東京都内湾では毎年、発生回数15~20日、発生件数100日前後と、夏期はほとんど毎日赤潮が発生している状況が続いている⁵⁾。赤潮は主に植物プランクトンの異常増殖によるもので、

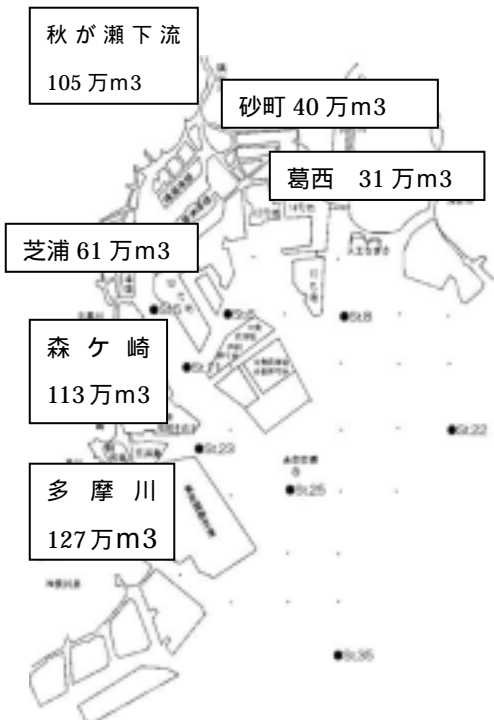


図1 河川と下水処理場の水量

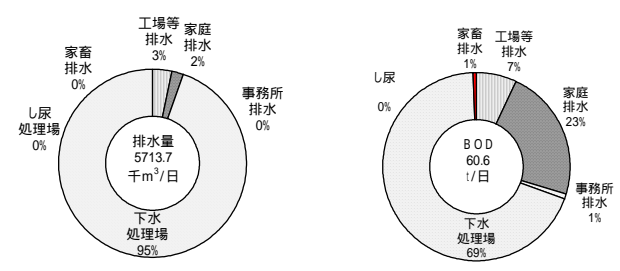


図2 都内排水量とBOD負荷量の発生源別割合

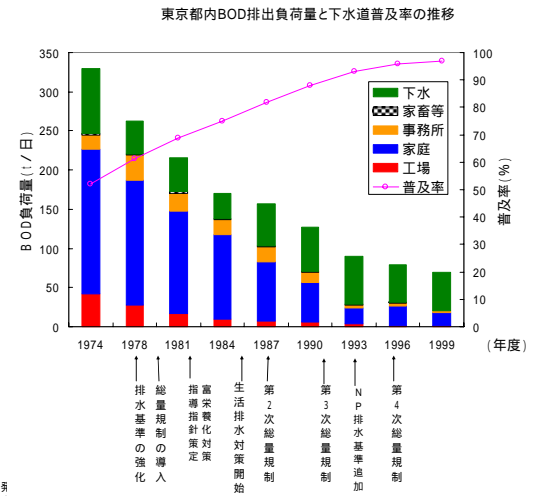


図4 赤潮の発生日数と発生回数の経年変化

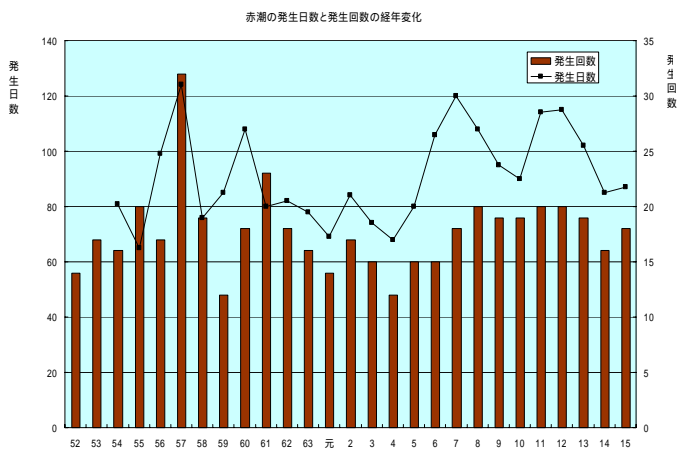


図5

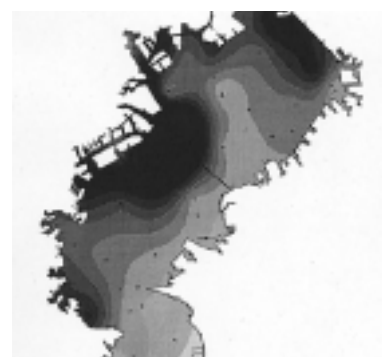


図6 COD水質の水平分布



図7 貧酸素水塊

著しく外観を損ねる他、その死骸が海底に堆積し、貧酸素水塊形成の大きな要因となっている。

プランクトンの異常増殖は、陸域からの負荷（窒素やりんなどの栄養塩を含む有機物）が夏季の強い太陽エネルギーを受けて、成層した環境で起きる。海底の貧酸素水塊が、風によって湧昇すると青潮が発生する。例年、千葉方面で数回、青潮が発生し、魚介類に被害をもたらしている。平成 16 年 8 月、東京の羽田沖で初めて青潮が発生した。

（ 2 ） COD、窒素、りん水質

陸域からの負荷流入による「一次汚濁」の他、赤潮の発生により海水中で生産された「二次汚濁」によって、夏季に水質が悪化する。東京都内湾は特に窒素・りんなどの栄養塩濃度が高く、富栄養化した状態にある。

湾全体の水質を東京湾岸自治体環境保全会議の報告書からみる（平成 14 年 6 月）⁶。湾中央の St.35 で COD：17mg/l、全窒素：5.2mg/l、全りん：0.52mg/l あり、他にも多くの地点で環境基準を大きく上回った。水平分布から各項目とも、東京都の沿岸から海水の流れに沿って横浜沖の方に高濃度域ができていた。

総量削減計画では、平成 11 年度実績で東京湾全体に対する東京都の負荷割合は COD で 30%、窒素で 40%、りんで 36%と積算されている。しかし、それは発生負荷量である。即ち、東京湾に流入するときは、遠くで発生した負荷は自浄作用を受けて湾に流入する時には減少するが、湾に直接に流入するものはそれがない。平成 2 年度におけるその比率は隅田川で 0.5、荒川で 0.6 と計算された。東京湾岸に立地し、直接流入分の多い東京都は実際には相対的にその寄与が大きいのである。

（ 3 ） 貧酸素水塊

前述したように、赤潮が発生すると、死んだプランクトンは海底に堆積し、酸素を消費して、生物が生きられない貧酸素状態を底層につくる。毎年、5 月から 10 月初めまで、その規模が増減しながらも成層が解消されるまでの間、ほとんどずっと東京湾中央から湾奥部に居座り続ける。貧酸素水塊ができると、底生動物が生息できなくなり、魚介類もいなくなり、生き物のいない海と化する。このため、東京湾再生計画では、年間を通して底生生物が生息できることを目標としている。

4 東京湾の生きものの現状

このように貧酸素水塊が夏場ずっと居座る東京湾は死んでしまっているのだろうか。

調査で東京湾に出ると、所々で魚の跳ねる姿をみかける。春には稚魚の群れに出会うこともある。水産統計によると、東京都内湾で平成 15 年 529 トンの水揚げがあった。視野を広げて、千葉県の東京湾の漁獲は平成 14 年 26,790 トンであった。アサリ、スズキ、カレイ、アナゴ、シャコなどの他、千葉では高級な海苔も乾ノリ生産枚数 5.1 億枚収獲されている。江戸前の寿司ネタは未だ存在するのである。

しかし、それらのエサとなる底生動物の状況を見る（図 8）と、例えば湾中央の St.35 では 2002 年 5 月にはかなり汚れた泥の中でも棲むシズクガイや多毛類で 9 種 19 個体出現したが、下層水が貧酸素となった 9 月には多毛類のヨツバナスピオが 1 個体だけしか採取されなかった。1990 年までは 9 月でもある程度の生物はいたが、近年は低迷を続けている。2001 年まで実施してい

た成魚のビームトロール調査でも、酸素の少ない時には漁獲が少なかった⁷⁾。即ち、「内湾」では、生きものはいるが、夏場は貧酸素水塊のため生きものが少なく「病んでいる」状況にある。

一方、「干潟」で1990年から続けている稚魚調査の結果をお台場を例にみると、個体数で2001年からマハゼを主とする春のピークが小さくなっていった⁵⁾。近くで行われた開発の影響が懸念される。2002年からは冬季の調査を中止したためはっきりとはいえないが、種類数はある程度保っているように見える。実際、本年度お台場では大量のアサリが採れたり、8月に小さいサイズから大きなサイズまでの計7個体のイシガレイが採取されたりして来園者を喜ばせた。「干潟」は生きものにとって重要なゆりかごなのである。国ではアサリの浮遊幼生がどこを遊泳していたかのシュミレーションを行ったが、三枚洲から羽田沖は東京湾におけるアサリの再生産に対して大きく寄与している可能性が示された⁸⁾。小さな場所でも着底できる場所があることが重要なのである。

鳥類調査では、平成15年度には57種が観測され、最も多かった12月には4箇所の調査地点で葛西人工渚のスズガモ7700羽を始めとして計15,000個体カウントされた。首都東京に、これほどの鳥の食を賄う生きものが存在しているのである。

5 最近の話題から

(1) 水温の上昇

地球温暖化が危惧されている。環境水の水温について、年間全データの変動では判別が困難であったが、冬場の水温に着目すると図9のような傾向が見られた。即ちここ1/4世紀の間に2月の水温が1~2 上昇している。この原因を探るため、St.5に影響の強い隅田川の水温を見ると平均水温で約1 上昇している。また、隅田川の河川水は約6割が下水処理水であるが、処理場流入水の水温が大きく上昇していることが報告されている(図10)⁹⁾。海水温の上昇は外洋水の流入によるとの見解もあるが、都市活動の結果による可能性も否定されない。

(2) プランクトン(*Mesodinium rubrum*)の異常発生など¹⁰⁾

平成15年5月23日、横浜の沿岸で青潮のような現象がみられ、異臭がして市役所に苦情が殺到した。横浜市役所は渦鞭毛藻類の一種の赤潮発生によるものと発表した。横浜で異臭騒ぎとなるような赤潮は近年無かった。実はこれより先5月7日、東京都内湾で同じ種の*Mesodinium rubrum*による赤潮が発生、それも比較的長期間にわたり、なおかつその濃度が近年にない高濃度であった。これらが流れていったとは断定されないが、先んじて発生しており、かなりの高濃度であったことは、横浜の騒ぎと無関係とはいえない。

また、6月の13日には、*Noctiluca scintillans*(夜光虫)が東京港内で発生し、オレンジ色の水面が中央防波堤付近にまで広まった。この種は必ずしも汚染の著しい水域で発生するとは限らないが、近年復活して現れてきている。これまでは比較的沖合いで発生しており、このような内陸部でみられたことは珍しい。

(3) 14年度冬期のCOD水質の上昇¹⁰⁾

平成14年度のCOD水質は例年と異なり、秋から冬にかけて低下しなかった。この傾向は環境基準8地点すべてが該当し、上層より下層でこの傾向は著しかった。

近年、閉鎖性水域である琵琶湖や霞ヶ浦で、難分解性有機物が増大して原因究明への取組がなされており、生態系への影響が懸念されている。東京都内湾でみられた今回の現象についても、

成分が何なのかも含め、生態系への影響などその動向を注意深くみていく必要がある。

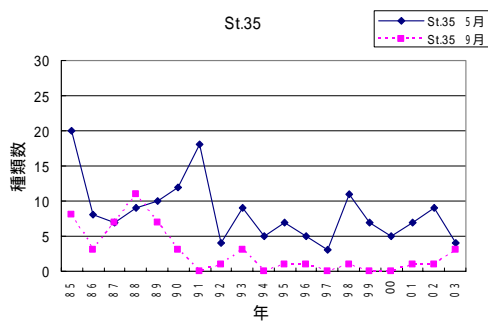


図8 底生生物の種類数の推移（湾央）

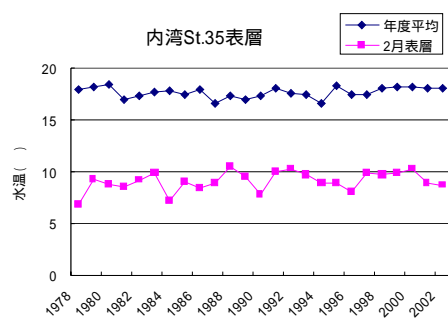


図9 水温の推移（湾央）



図10 下水処理場流入水の推移

6 おわりに

東京都内湾では、海と人との接点が少ないため、そこで起こっていることを都民が日常的に体験していない。見えない東京都内湾に、東京という都市排水の大きな負荷が掛かっているのである。流入負荷の削減にもかかわらず、水質が期待したほど改善されず、貧酸素水塊が長期にわたり居座っている東京湾である。それでも生きものは東京湾としてみると、予想以上にいろいろ見られた。流入負荷が削減され、生物の生息場がもう少し確保されれば、希望のもてる生きもの状況にある。調査に基づく正確な現状把握により「江戸前の魚を採って食べる」ということが日常的となるような対策に結び付けたい。

[出典]

- 1)平成15年度公共用水域の水質測定結果（総括編）、平成17年3月、東京都環境局
- 2)中央環境審議会水環境部会海域環境基準専門委員会資料（平成13年9月環境省）より作成
- 3)汚濁負荷量管理システムによる負荷量集計結果（抜粋）平成14年度：東京都環境局
- 4)化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係る総量削減基本方針、平成13年12月 環境省
- 5)東京湾岸自治体環境保全会議（2002）平成13年度東京湾水質調査報告書
- 6)平成15年度東京湾調査報告書、水生生物調査結果：平成17年3月、東京都環境局
- 7)東京都環境局環境評価部（2002）；東京湾パンフレット、東京湾の水環境
- 8)干潟ネットワークの再生に向けて～東京湾の干潟等の生態系再生研究会、平成16年3月、国土交通省港湾局/環境省自然環境局
- 9)曾根啓一(2003):東京都「下水処理場における環境ホルモンの挙動」、東京湾の水質管理と環境ホルモン、第2回東京湾統合沿岸域管理研究シンポジウム、29 - 32
- 10)風間真理(2004)：東京都内湾の水環境における最近の異変：東京都環境行政交流会