AOX を禁止することは正しくない

—オンタリオ州環境省により紙パルプ分野に提案された排水制限案に対する考え—

トロント大学 ダグラス W. リーブ

Banning AOX is not Justified

Douglas W. Reeve

Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto

パルプの漂白において発生する有機塩素化合物はパルプ中の残留や環境への蓄積について大きな関心をひいているが、その実体はまだまだ解明されていないことが多く、憶測で議論される場合がかなりある。トロント大学のリーブ教授は広範囲の文献調査・実態調査と自らの研究成果から漂白排水中の有機塩素の特性を概説し、一般に言われていることの誤りを指摘し、もっと科学的な視点で議論すべきであると主張している。ここにその論文を紹介し、有機塩素化合物に対する理解と認識の助けとなることを期待する。この翻訳・掲載を許可されたリーブ教授の好意にあらためて謝意を表する次第である。

(翻訳・文責：紙パルプ技術協会 飯田清昭)

要 旨

オンタリオ州環境省は紙パルプ産業に対し AOX として測定される有機塩素化合物の放出を制限し、2002 年までに AOX を除くことを目指す規制を提案した。

この規制案は AOX (漂白クラフトパルプ工場排水の有機塩素化合物) も他の有機塩素化合物と同じであるとする誤った前提に基づいている。有機塩素化合物のある種のもは毒性、永続性、生体蓄積性等があり、これらのものを環境へ放出することは留意すべきである。しかし、そうでない有機塩素化合物も多くある。五大湖地方において、有機塩素化合物に属する塩素化炭化水素が深刻な問題を引き起こしているが、AOX はそれらとは基本的に異なる化学物質の混合物である。AOX の化学的性質は複雑でまだ完全には分かっていないが、すべての AOX とは言えないまでも、その大部分は毒性がなく、永続せず、生体蓄積性もない。したがって、このような物質を取り除かねばならないとするのは正当ではない。

これらの規制は環境保全のためとされている。パルプ工場の排水が有害な影響を引き起こすことを示す研究例がいくつかある。しかし、その排水の有害な影響と AOX との間には関係はなく、同じような影響が漂白を行っていない工場の排水でも引き起こされる。カナダ連邦政府は、文献の詳細な調査と自ら行った環境

への影響の研究から、AOX はパルプ工場の排水の規制として適切でないと決定した。環境の改善が期待出来ないのに AOX を取り除くべきとするのは正しいことではない。

これらの規制は MISA (Municipal Industrial Strategy for Abatement) プログラムの一部とされている。MISA プログラムの基礎となる考え方は BAT-EA (Best Available Technology-Economically Achievable——利用出来る最善の技術で経済的に可能) を適用することである。AOX の放出を禁止するとその経済的な影響は重大である。巨額の設備投資が必要になり、パルプの品質が悪くなり、コスト高で不確かな市場に販売することになる。AOX の禁止は現時点では経済的に達成出来ない。

提案では、そのよって立つ基準は科学的に明らかであるとしている。しかし、この問題に関する多くの証拠が無視されている。科学的な理解は時と共に発展するが、規制は提案されると、たとえ新しい科学が何かを見出しても、今後十数年に亘って変えられないだろう。AOX の排出を禁止する規制案は、現在科学的に分かっている事実によっても正当でなく、現在の技術では実施出来ないくらい高価なものになるだろう。

漂白クラフトパルプ生産排水の命運 (環境での変化や消滅) と影響をより正確に知り、かつ、必要な場所でのその環境を守るために効果的なそして経済的な技術

を確立するため、研究と科学的調査のプログラムを作
ることを提言する。AOX の放出を零にする規制案は
延期され、この規制が実行された際の環境及び経済的
な影響を調査した後、再検討されることを提言する。

1. 緒 言

1.1 有機塩素化合物の規制に関する提案

1993 年 2 月 2 日にオンタリオ州環境長官 Ruth Grier が紙パルプ分野の排水規制案を提出した。この規制はオンタリオの紙パルプ工場からでる多くの物質に限度を提案しているが、その中に AOX として測定される全有機塩素が含まれている。それによれば、1995 年末までに限度は 1.5 kg AOX/パルプ ton、1999 年末までに限度は 0.8 kg/ton である。さらに、AOX 規制が適用される工場では AOX 除去計画を準備しなければならないが、それには 2002 年までに AOX の放出を零にするスケジュールと方法を示さねばならない。その計画の予備的なものを規制の発効後 6 ヶ月までに出す必要があり、更に 1995 年末、1998 年末、及びその後は毎年計画の見直しが求められる。

1.2 規制の正当性

この AOX 規制の正当性はオンタリオ州政府により文書では示されておらず、また、いかなる正当性もいまだ証明されていない。

2 月 2 日に発表されたプレスリリースには、紙パルプ工場からの有機塩素類の放出を零にするという目標を正当化するための次の記述がある。“新しい厳しい制限は人間の健康と環境に脅威となっているこれらの化学物質を大きく減少するであろう”“五大湖はもはやこの種の毒性物質の過剰負荷に耐えられない”“紙パルプ工場は五大湖とオンタリオの水域に放出された有機塩素類（塩素を基礎とする化学物質で発癌性物質が含まれる）の 90%以上で責任がある”。これらの記述は実質の無い主張であると共にパルプ工場が毒物の過剰負荷と癌を引き起こしているとする無責任な推論を含んでいる。

紙パルプ分野の開発通達—排水制限規制（The Development Document for Pulp and Paper Sector-Effluent Limit Regulation）はオンタリオの産業構造、MISA プログラムによる排水監視、最善な利用できる技術に関する情報を含んでいる。しかし、この報告には環境の害が AOX に関係していることを証明するデータや、これらの新しい規制の結果生まれるであろう環境における改善を示すデータが与えられていない。

要約版は次の記述を結論としている。“提案された紙パルプ分野における排水制限は、オンタリオに於け

る人間の健康と水棲生物の保護に於いて有意義な前進であり、永続性の毒性物質を事実上除くという当省の目標に対し大きな前進の一步である”。しかし人間の健康に対する危険、AOX と水棲生物との関係、AOX が永続的であり毒であるとする事に関し証拠は与えられていない。

この規制の正当性に実質がないとする更なる証拠は、プレスリリースに続く他の文書からも伺われる。それは“Clean Water Regulation: Pulp and paper”と題する。この規制は MISA の一部で、その目的は経済的に達成できる最善の可能な技術（BAT-EA）を適用する事により永続性の毒性物質を除くことである。この文書を通して、永続性毒性物質の説明とそれらの放出を除く必要性がふれられている。しかし、パルプ工場からの AOX の放出を除かねばならないことを正当化しているが、それは科学でなく innuendo（真意を説明するために加えられる中傷的な語句）に基づいている。例えば、“有機塩素は塩素に基づく化合物の大きな族で、一般に毒性があり染色体異常と癌を引き起こす物質を含む”更に“有機塩素類はその毒性と永続する可能性があるため特に関心のあるパラメータである。これらの安定な化学物質は長期的にかつ不可逆な影響をともなつて植物や動物の細胞に蓄積する”。もう一つの正当性として“clean water regulation は環境の健康を保証する”と述べている。しかし、AOX が永続性があり毒性があることの証明はない。

二つの政治的性格に基づく正当化がこの文書に示されている。“オンタリオ政府は有機塩素類（漂白クラフト工場からの）の零放出にかかわっている……”は、政府が環境や人々の健康よりは特定の化学物質の放出を制限することに盲目的に行おうとすることを示している。もう一つの政治的な記述は、この規制によりオンタリオの紙パルプ産業が将来の chlorine-free paper と環境に優しい製品（green consumer products）の市場に於いて有利な位置を占めることを可能にするとして示唆している。明らかにこれらは政治的な動機である。

この文書の特徴は、規制が“科学的に正しい基準”であり、提案された規制を支持する科学が存在すると示唆している。しかし、そうではなく、規制の記述は科学を誤用している。

また、正当化のための次のような表現がある：

“The International Joint Commission は、その 1992 年のレポートで有機塩素類は‘環境に危険であり、人間に有害であり、生態系にもはや許容されない。それは、急性的あるいは慢性的損傷が疑い無く、科学的

に証明され普遍的に受け入れられようか否かを問わずである'と述べている”と。

しかしこの記述は IJC のレポートをあやまって引用している。IJC レポートが述べているのは

“すべての永続性の毒性物質は環境に対し危険であり、人間に有毒であり……”である。

オンタリオ州政府はこの表現を取り上げ、それをはなはだしく誤用して、永続性の毒性有機塩素類ではなく全ての有機塩素類を有罪としている。

2. 有機塩素化合物の性質

2.1 五大湖地域で問題となっている有機塩素化合物

五大湖の水域で数多くの有機塩素化合物が関心を集めている。1992 年に出された五大湖の水質に関する報告（第 6 報）は、永続性の毒性化学物質について繰り返し述べている。この報告は毒性物質の放出を事実上除くことを求めている。永続性のある毒性物質とは“水中で 8 週間以上の半減期を持つ毒性物質”と定義している。そして、次の 7 つの永続性の毒性有機塩素化合物の除去を求めている。それらは PCB 類、DDT、デルドリン (dieldrin)、トキサフェン (toxaphene)、ミレックス (mirex) およびヘキサクロロベンゼン (hexa-chlorobenzene)、およびダイオキシン類 (dioxins) およびフラン類 (furans) である。1991 年に出版された“五大湖の毒性化学物質とその影響”と題するカナダ政府の報告には、危機的な汚染物質としてこれらの化学物質を含めている。

これらの化学物質の一般的な性質のいくつかを表 1 に示す。これらの物質は何れも毒性があり、生体蓄積性であり、かつ環境に永続することは科学的な研究で

よく知られている。これらは、炭素原子に結合した塩素原子を持っているので、有機塩素化合物の族に入る。しかし、その性質や挙動をきめる非常に重要な因子は、塩素の存在ではなく化合物中の塩素の含有率である。これらの化合物の塩素の量を表 1 に示す。その値は 40% から 80% と、多くの場合その半分が塩素である。分子に塩素を付加すると親油性が増し、その量が増せばそれだけ親油性が増すことはよく知られている。このため、その分子が油脂・脂肪に濃縮されるさいには塩素量が高いことが重要であり、その結果、生体蓄積性となる。さらに、クロロフェノール類やクロロベンゼン類の族では、分子中の塩素量が増すと毒性も増す。しかし、この塩素量に関する一般則も完全ではなく、PVC (polyvinyl chloride) は 60% 以上の塩素量を含んでいるが、生体蓄積性でなくかつ毒性もない。

これらの有機塩素化合物はもう一つの重要な特徴を持っており、それは酸素含有量が低いことである。表 1 の化合物の大部分は、塩素を除くと炭素と水素のみから出来ており、いわゆる炭化水素である。これは重要な区別である。すなわち、塩素化炭化水素はパルプ工場からでる有機塩素と明かに異なった性質を持っている。

2.2 パルプ工場で生成する有機塩素の性質

未漂白のパルプを塩素又は二酸化塩素で処理すると塩素化有機化合物が生成される。以前の漂白技術ではその第 1 段に可成の塩素を使用するため、パルプ ton 当たり 6 ~ 10 kg の AOX が生成する。カナダの産業界はダイオキシンの生成を除くため、すでにこの方法を廃止している。今ではカナダの漂白パルプ工場の大多数は塩素の可成の部分（例えばその 50% ~ 100%）を二酸化塩素に置き換えており、放出している AOX

Table 1 Organochlorines of Concern in the Great Lakes

	Origin	Status ¹⁾	Bioaccumulative	Toxic	Persistent	Chlorine Content (weight %)	Oxygen Content (weight %)
DDT	Insecticide	Banned	Yes	Yes	Yes	50	0
Dioxin (2,3,7,8-TCDD)	By product	Discharge restricted	Yes	Yes	Yes	44	10
Hexachlorobenzene	Fungicide/By product/Combustion	Use restricted	Yes	Yes	Yes	75	0
Mirex	Insecticide	Banned	Yes	Yes	Yes	78	0
PCB'S	Industrial fluid	Restricted	Yes	?	Yes	42-60	0
Toxaphene	Insecticide	Banned	Yes	Yes	Yes	67-69	0

¹⁾In the US and Canada

は 2.5 kg/パルプ ton 以下である。二酸化塩素は有効な漂白剤で、パルプとの反応は塩素とは異なり塩素化有機物の生成を大幅に減少させる。

表 2 にパルプ漂白中に生成される AOX の性質を要約する。AOX の塩素含有量を見ると、塩素や二酸化塩素漂白による塩素化有機物は表 1 に示した塩素化炭化水素に比べると可成少ないことが容易に分かる。二酸化塩素漂白では塩素含有量は極度に少なく、1～3%の範囲になる。更に酸素量を見ると、AOX は酸素を 30～50% 含み、表 1 の塩素化炭化水素と明らかに異なっている。酸素含有量が高いのは、漂白プラントからの有機物の中に親水性基が存在することによる。AOX の構造の中にこれらの基があることは重要な意味を示す。即ち、塩素量が低くかつ酸素を含む親水性の基が多いことは、この物質が容易に水に溶け、そして脂肪組織に移行しないことを意味する。別の言い方をすれば、この物質は親水性である。

親油性の測定の一つにオクタノールと水の分配係数がある。表 1 に示した化合物群の分配係数はおおよそ百万であろう。その化学物質は水に比べオクタノールに百万倍に濃縮される。オクタノールは脂肪組織の良い代替である。トロント大学での研究では、パルプ工場の排水の塩素化有機物の中で最大の単一フラクションである高分子フラクションのオクタノール-水分配係数は 1 以下である (Yan, 1992)。明らかに、この物質はまったく異なった性質で生体蓄積の可能性はない。

AOX を更に細分化して EOX (solvent extractable organochlorine) が定義される。EOX は AOX 中のより親油性の部分を定量化する。通常の漂白システムでは、EOX フラクションに入るのは 1% 以下である。

漂白クラフトパルプ工場の AOX は、塩素化炭化水素の永続性の感覚からすれば永続的でない。それは排水処理システムや環境の中で容易に微生物により分解

される。また太陽光により容易に分解する。カナダ、アメリカ、スウェーデン、フィンランドの水域に 50 有余年に亘って可成の AOX が放出されてきたが、パルプ工場からの有機塩素が生態体系に蓄積している例は見いだされていない。

既に述べたように、漂白クラフトパルプ工場の排水の性質は、塩素が二酸化塩素に置換されたことで大幅に改善されている。即ち、排水の化学的性質が変り、その塩素含有量が大きく低下し、毒性もまた減少している。100%二酸化塩素置換の工場経験からこれらのことが確かめられており、塩素化フェノール化合物類も大きく減少している。ウィルソン等は 100%二酸化塩素置換を行うと、tri-, tetra-, penta-クロロフェノールは検出されないこと、また、mono-, di-クロロフェノール化合物は大幅に減少することを見いだした (Wilson, et al 1992)。他の工場で最近行われた研究でも、100%二酸化塩素置換により高塩素化フェノール化合物は事実上除かれることが確かめられている (Pryke, et al, 1993)。

2.3 天然の有機塩素

有機塩素を禁止しようとする際に共通の論旨は“それが天然でない”ということ、即ち、環境に存在しないとする事である。Gribbel が最近詳細な調査を行ったが、自然界で作られる塩素化化合物を 1,500 種以上も見いだした。いくつかの化合物ではその量も多く、人工の有機塩素よりも可成多いものまでである (1992)。

スウェーデンでは、土壌や水の中で自然に塩素化有機物が生成する機構を解明するための研究が行われている (Asplund, 1991)。それによれば、フミン質が塩素化される際に生成する物質は、多くの場合、木材パルプの塩素化の際に生成する物質と同一構造であることが示された。

Table 2 Pulp Mill Generated Organochlorine

	Origin	Status ¹⁾	Bioaccumulative	Toxic	Persistent	Chlorine Content (weight %)	Oxygen Content (weight %)
AOX	Cl ₂ bleaching of kraft pulp	Discharge limit in Ontario. No Canadian government limit. No US EPA limit. (Under review)	99% No < 1 %	Yes	Mainly No	10-16	31-47
AOX	ClO ₂ bleaching of kraft pulp	Below Ontario discharge limit	<<%	No	Mainly No	1-3	41-50

3. パルプ工場排水の有機塩素とその環境への影響

3.1 環境における命運と影響

化学物質の環境における命運（変化・消滅）とその影響は非常に複雑で、多くの因子が加わっている。その結果、データがしばしば混乱しかつ相反する。しかしながら、AOX の環境への影響、毒性、永続性と生体蓄積性に関する科学的な事実は明確に方向づけられている。

環境へのインパクトを考えるためには、いくつかの重要な因子を考えねばならない。パルプ工場の排水の性質は、例えば、木材の種類、パルプ化・漂白・回収のプロセスや設備、及び排水処理により変わってくる。カナダでも 1 次処理（浮遊物を除く）のみの工場もあれば、2 次又は生物学的処理により工場排水の BOD を減少させている工場もある。ある工場では多くの製品を作るのでいくつかの異なったパルプ化法や抄紙法が存在する。用水も色々あり、清水から海水（一部バルト海の海水を使用）、温水から冷水、清浄な水からひどく汚染されている水まである。放出された排水が希釈される度合いも、その水域の流量や洗浄作用により大きく変化する。

このような複雑さにもかかわらず、環境への影響に関してははっきりしていることがある。漂白クラフトパルプ製造による AOX は、排水が環境へ与えている影響と関係がないことが明確に示されている。すべての化学物質が環境に害を及ぼすとは限らず、すべての有機塩素類が環境に害を及ぼすとは限らない。

環境に放出された化学物質の永続性、その命運と移行、加水分解・酸化・光分解や微生物による代謝等による分解はその構造と化学性により決められる。分解のしやすさは化学物質の環境での永続性の決定因子である。すべての化学物質が環境で永続するとは限らず、すべての有機塩素化合物が環境で永続するとは限らない。

生体蓄積性もまた一つの重要な化学の帰結である。生体蓄積性であることの第一の必要条件は永続性である。もし化合物が酸化・光分解や代謝プロセスにより容易に環境から消えるならば生体蓄積は起こらない。第二には、化合物は水に対して親和性が低くなくてはならず（疎水性でなければならない）、従って油脂や脂肪組織に対して高い親和性を持たねばならない（親油性でなければならない）。分子中に塩素が存在することだけでは化学物質を生体蓄積性にするには十分ではない。すべての化学物質が生体蓄積性であるとは限

らず、すべての有機塩素化合物が生体蓄積性とは限らない。

毒性とは何なのか？ 生物が産業排出物に対して示す生物学的反応は大変複雑な科学である。実験室で排水の試験や評価を行う際や環境への排水のインパクトを評価する際に、多くの生物が用いられている。対象になる生物は微生物、藻類からバクテリア、無脊椎動物、沈澱物に住む生物から water fleas, 広い範囲の魚、fathead minnows（北米の鯉科の魚）から rainbow trout（にじます）までである。排水に触れさせる方法は、実験室のように状況をコントロールしたものや、中規模生態系（mesocosm）から、自然の環境におけるものまでであろう。測定される生物の反応も広い範囲にわたる。それらは致死性、再生や成長等の機能、形態上の欠陥、例えば奇形・肝臓異常・生殖腺異常、血液の生化学、ホルモン、肝臓の酵素等である。また、大きなスケールでの生態系や生物社会への影響、例えば種の多様性や生物体密度などの測定も試みられている。

毒性とは結果が有害であることを意味するから、それはよく記述された手順とそれに対するきちんとした基準によって定義されねばならない。毒性とは非常に複雑な定義で、残念なことに、まったく正確さを欠いてしばしば用いられる。毒であると考えられる反応にも範囲があり、致死性から再生機能障害までである。また、毒性となる結果と単に測定できる結果とは区別されなければならない。例えば、魚の肝臓の酵素試験が MFO (Mixed Function Oxidase) 誘導を示したときに、これが毒性の結果を示すといえるであろうか？ あるいは単にそのものに触れたことを示しているにすぎないであろうか？ 肝臓の酵素系は、魚が触れさせられると自身を守るために活性化される自然なシステムである。したがって、魚に害がなくても活性化されるかもしれない。

化学物質の環境中での命運や影響もまた非常に複雑な科学である。永続性・生体蓄積性・毒性はすべて化学と生物学により規定される現象である。たとえば、塩素化有機化合物のような化学物質の族をひとまとめにして仮説をつくることは間違っている。政治的な目的に科学を誤って用いられている。

3.2 漂白クラフト工場の排水の環境に与える影響

いくつかの漂白クラフト工場の排水が環境に重大なインパクトを与えたことが見いだされている。1991 年にカナダ政府の科学者たちによる調査では、“カナダの漂白パルプ工場から放出されるすべての排水のレベルと、その結果として環境及び実験室で観測された急性的及び長期的な影響は生態系に重大な危険をあら

わしている” (Environment Canada, 1991, page 9)。この報告はさらに以下のように結論している。“このため、漂白を行っている工場の排水はカナダ環境保護法 (Canadian Environment Act) のもとで定義されている‘毒である’ (‘toxic’) と考えられる”と。1980 年代初期にスウェーデンで行われ、SSVL-85 プロジェクトとして報告された研究は、漂白クラフト工場の排水が野外の中規模生体系 (mesocosms) に与えるインパクトを測定し、多くの生物にかなりの生物学的な影響を見いだした。Norrundet パルプ工場の近くのバルト海域で行われた詳細な生態学的研究でも可成の影響を見出した。これらの研究は何れも有害な結果を排水中の塩素化有機物に関連づけているが、最近の調査や、上記の研究者や他の研究者のその後の研究はこの結びつきを支持していない。

しかし、問題なのは、これらの影響が漂白排水で引き起こされたのかどうかということである。有機塩素類の放出を減少又は排除することが環境を改善するのであろうか？ 漂白排水が毒であると宣言したそのカナダ政府の報告書は有機塩素とその環境への影響の間に関係がないと結論した。即ち、“AOX 値 (又は EOCL 値) は排水の組成を示さず、また、その潜在的な毒性、永続性、又は命運を示すものでもない” (Environment Canada, 1991, page 38) (EOCL は Extractable Organic Chlorine で、EOX と同意語である)。

1885 年に環境に生じた結果を有機塩素に結び付けた SSVL プロジェクトチームが、1990 年に同じ結果が未漂白クラフト工場でも引き起こされること、そして、その結果と AOX として測定される有機塩素との間に関係がないことを明らかにした。これは図 1 に明確に示されている (Lehtinen, 1992)。SSVL プロジェクトチームのリーダーの一人である Karl-Johan Lehtinen は、彼らの研究から以下のように結論した。“工場の排水のいずれによっても塩素化物質が非塩素化物質より有害であるとは証明できない。未漂白パルプ生産の排水の影響が漂白パルプ生産の排水の影響と同じであるか、あるいはもっと大きい例もあった” (1992, page 718)。

Norrundet Mill 近郊におけるスウェーデンの研究は正常の操業 (“good operation”) を代表していないとして広く批判されてきた。たしかに、サンプリングのときには工場の操業はかなり混乱しており、排出物は正常な場合よりかなり多かった。この研究が更に特殊な状況にあったのは、排水が生物学的処理をされておらず、排出先の水域の流れがかなり限られていた

Fig.1 Biological effect indexes of different total mill effluents tested in mesocosms in the period 1982-90 (Lehtinen, 1992)

ことである。Owens は包括的な調査のなかで Norrundet の研究について以下の結論を引き出している。“Norrundet での研究は有機塩素類との関係を探るためであったが、臨床学的測定では、EOX で測定される有機塩素物の負荷に対し投与量による応答性が示されなかった。塩素の使用が減り EOX 負荷が減少したが……、Forsmark 地域 (比較対象地域) との差の多くはそのまま残った。さらに、全 AOX とクロロフェノールのレベルが Saimaa 湖 (フィンランド、排水流入水域) とこの実験水域で同じであったが、Saimaa 湖での生化学的な影響はより厳しくなかった。即ち、この実験水域では再生的で全生物学的な影響はみられなかった。したがって、化学物質の汚染と生物学的な応答性の間に確実なつながりは依然として存在しない” (1991, page 1530)。

“紙パルプ工場の排水の水性毒性：再調査”と題するカナダ政府のもう一つの報告は以下のように結論している。“水棲生物に重大な環境上の影響が証明された場合は、通常、未処理又は 1 次処理の排水を希釈容量の限られた貧弱な環境水域に排出している紙パルプ工場と結びついている” (1991 年にはカナダの工場の 51% までもが 2 次処理を持っていなかった)。この報告は更に続けて言う。“典型的な生物学的処理の工場排水の放出される水域で有意な毒性結果が示された研究はない” (Environment Canada, 1987, page 31)。

アメリカ合衆国では、2 工場を除いてすべての漂白クラフトパルプ工場は生物学的処理を行っている。この処理された排水の影響は長年に亘って実験水域 (複数) で研究されてきた。Owens はその調査で以下のような結論をだしている。“実験水域での研究では普通の濃度で種々の生物に対し最終点で毒性の結果を示

していない”(1991, page 1522)。

漂白クラフト工場排水の与えるインパクトに関しても一つの権威ある調査が行われた。指導的な水棲生物学者と環境科学者の一団がこの問題に関してすべての公表及び未公表の文献を調べるよう任命された。彼らは以下のように結論した。“良好に管理されかつ操業されている北アメリカの工場からの処理された漂白クラフトの排水は、放出水域に於いてほとんど影響を与えないか、又は、悪くする影響を与えない (little or no adverse impacts)”。有機塩素の役割については、“漂白パルプを生産する工場から排出される塩素化有機化合物と環境上の有意な影響との間に関係があるとは証明できない”と結論した。

3.3 有機塩素と排水が与える影響との関係の欠如 —最近のカナダでの研究—

カナダではいくつかの研究機関がパルプ工場の排水の研究を行っている。1993年1月に発表された研究はパルプ工場の排水中の AOX 量と実験室における生物検定での応答との関係を検討している (O'Connor, 1993)。Ceriodaphnia と fathead minnows による試験では, toxic emission factor (TEF) で測定される長期毒性と AOX のあいだに関係が見出されなかった。これを図2に示す。Ontario 州 Burlington のカナダ政府の研究所における最近の研究は、パルプ工場の排水により、魚の肝臓での酵素活性の増加がありそれが再生障害につながることを示している (Carey, et al, 1993)。この結果は塩素漂白を行っている工場の排水とともに、非塩素漂白を行っている工場の排水にも見出された。これらの結果は AOX とは関連づけられない。

4. 塩素神話

神話とは広く持たれている信仰であり、基礎の無い又は誤った信念である。有機塩素類についても多くの神話がある。環境中の化学物質、特に永続性の毒性物質に対しては留意すべきあり、その理由も数多くある。そして、実際にいくつかの永続性化学物質は有機塩素類である。しかしながら、多くの人々にとって、この環境に対する関心が、化学恐怖症又は塩素恐怖症という極端な恐怖になってきている。塩素の使用禁止を駆り立てるのはこの恐怖である。

塩素神話は化学的事実、経済的事実を曖昧にし、更に議論を押しつづす。我々はこの神話を通り抜けて、環境と経済とに関する問題を調べなければならない。もし、誤ってある特定の化学物質を禁止し、それにより産業界での方法を換えることになるとすれば、それ

Fig. 2 Chronic toxicity for fathead minnow growth expressed as Toxic Emission Factor (TEF) (O'Connor, 1993)

は乏しい資源を無駄にしながら、しかも環境が改善されないことになるかもしれない。次に示すように14の塩素神話が存在する。

神話1：塩素は死の薬品である

塩素に関する議論が白熱すると、それが卑劣な方法で人を殺す化学兵器として用いられたとしばしば言われる。これは正しいが、他方では、塩素は生命の薬品でもある。塩素による水の殺菌は数億の生命を救い、人類社会に対する化学が果たした最大の寄与の一つであろう。

神話2：有機塩素類はすべて同じである

有機塩素類は炭素とそれに結合した塩素を含む化合物である。それらがすべて同じであるとするのは、炭素を含む分子に塩素原子を加える結果、得られる広い範囲の性質を認めないことになる。我々の日常生活で重要な機能を果たす数多くの有機塩素類、例えばドライクリーニング剤、家の外壁材、防腐剤等がある。すべての有機塩素類が同じであるとするのは本質的に固定観念である。それは無知と迷信に基づくもので過激な固定観念でもある。

神話3：すべての有機塩素類は毒である

毒性学の第一法則は、投与量により毒性を示すということである。これから推論すれば、充分な量を投与すればすべてのものは毒になる。水、砂糖、食塩にも毒性投与量がある。もちろん、いくつかの有機塩素殺虫剤のように非常に毒性の強い物質もある。しかし、有機化合物に塩素を加えるだけで有害になるのであろうか？ PVCは高毒性でない有機塩素化合物の優れた例である。

Baby soother のあるブランドはPVCと他の高分子化合物からなり、塩素含有量は27%である。他の一つの例は新しい甘味剤 (sucralose) で、蔗糖 (sucrose) に3個の塩素原子をつけ加えることにより代謝活性を減少している。Sucralose はまちがいなく、高毒性ではなく、しかも塩素含有量は27%である。Sucralose の希釈したものは低カロリー甘味剤として販売されており、その商標は Splenda である。パルプ工場の排水のしめす毒性の中で有機塩素類の占めている割合を考えると、AOX で測定される有機塩素類とパルプ工場の排水毒性との間に関係がないことが充分に証明されている。

神話4：有機塩素は生体蓄積性である

たしかにPCB類、ミレックス (mirex)、デルドリン (dieldrin) は生体蓄積性である。これらの化合物は永続性でかつ親油性であり、脂肪組織に対して親和性があり、したがって、接触した生物に生体蓄積する。しかしながら、すべての有機塩素が生体蓄積するとは限らない。パルプ工場での AOX を構成する化合物類は、その主体が非常に水に溶け親油性でなく、従って生体蓄積性でない。生体蓄積することは有機塩素類の一般的な性質ではない。Sucralose (甘味剤) は生体蓄積しない。

神話5：有機塩素は永続的である

PCB類やいくつかの殺虫剤は永続する。しかし、それは有機塩素化合物類の固有の性質ではない。有機塩素化合物類は微生物、加水分解、光分解により環境中で分解される。パルプ工場の AOX の主体は生態系で自然に塩素イオンに分解する。塩素イオンはよく知られている食塩の半分を構成している。

神話6：有機塩素は非自然である

1,500 種以上の自然に生成する有機ハロゲン化合物が報告されている。その生成量がかなりの場合もある。シューペリオール湖に注ぐカナダ北部の太古からの川で、自然生成された AOX の濃度は 50~100 ppb である。

神話7：工業により作られた有機塩素類はより危険である

これらはすべての有機塩素類に正しいであろうか？

これは基本的に画一化しているのだろうか？ 産業が作った非毒性、非生態蓄積性、非永続性の有機塩素はどうなるのか？ その良い例は sucralose (甘味剤) である。それは確かに危険ではない。

神話8：パルプ工場の AOX の中に、まだ同定されていない危険な化合物があるかも知れない

AOX は完全には同定されていないが、我々はその

性質の多くを知っている。我々はその構造上の特徴を知っており、それが生成される条件を知っている。我々は非常に塩素化された炭化水素の化合物、例えば非常に危険で永続性がある mirex, toxaphene のような化合物類は生成しえないことを知っている。さらに、我々はパルプ工場の AOX が生物学的システムの中でどのように挙動するかを知っている。もし AOX の中に「危険な化合物」が存在するならば、それは濃度が非常に低いので毒性を示さないはずであり、従って危険ではない。

神話9：パルプ工場は五大湖の有機塩素化合物類に責任がある

パルプ工場が五大湖の有機塩素類の大部分を放出しているとしばしば言われ、それが有機塩素類に関する諸問題の多くに責任があるという意味にとられている。たしかに、五大湖では有機塩素殺虫剤や PCB 類に関連する諸問題がある。これらの重大な諸問題はこれらの化合物の毒性と永続性による。しかし、パルプ工場の AOX は非常に異なった性質を持っており、五大湖に永続性毒性化学物質の負荷を与えているものではない。パルプ工場の AOX は五大湖にはいる塩素化有機化合物のかなりの割合を占める。パルプ工場からの AOX は永続性の毒性有機塩素化合物の諸問題に対し有意な寄与者ではない。

神話10：有機塩素類は免疫障害、再生不能、脳障害、癌をひきおこす

これもまた本質的に固定観念である。有機塩素化合物の中には非常に害のある影響を引き起こすものがあるかもしれない。しかし、それが塩素・炭素結合の固有の性質であろうか？ すべての有機塩素化合物が免疫障害、再生不能、脳障害及び癌を引き起こすのであろうか？ そんなことはありえない。我々は特定の化学物質の性質について、非常に害のある影響を引き起こすかどうかを考えなければならない。パルプ工場からの塩素化有機物がこれら悪影響を引き起こすと示唆する正当性は存在しない。

神話11：パルプ漂白での AOX の禁止は環境を改善するであろう

パルプ工場の AOX は毒性と関係がないことは多くの国でよく記述されている。漂白プロセスがすでに有機塩素の放出を最小にするように改変されているので、排水の環境に与えるインパクトは改善されない。それでは、パルプ工場からの AOX 放出を更に減少することの正当性は何なのであろうか？ もし我々が漂白パルプの生産を塩素化合物を用いずに続けなければならないとすれば、他の化学物質と他のプロセスを用いな

ければならない。この新しい排水は環境へどのように影響するであろうか？ 漂白排水の塩素化合物が環境へ与えている影響に対し責任がないのであるから、新しいプロセスがより少ない毒性の排水であるとして分かるのであろう。

神話 12: 塩素フリーの漂白クラフトパルプを生産することは容易である

有機塩素の排出禁止を提案する人々は、塩素又は塩素化合物を用いずに漂白クラフトパルプを生産する技術が容易に出来ると示唆する。すべてのパルプ生産プロセスにそのような技術が適用出来るかどうかは依然いくらかの疑問が残っている。特にカナダで生産されている高強度の漂白クラフトパルプではそうである。さらに、この技術は急速に変わりつつあり、多くの国で多くのプロジェクトが進められている。紙パルプ産業のスケールで新しい技術を実行するには、その開発のみならず設置にも時間を要する。最後に、その新しい技術を設置するコストを考えなければならない。それに値するであろうか？ それは我々が求める環境の改善をもたらすであろうか？ 社会の改善のために捧げられる我々の資源の最善の利用であろうか？

神話 13: 人々は塩素フリーの製品を望んでいる

消費者は塩素フリーの製品を求めているとしばしば言われる。しかし、カナダ、アメリカ、その他の多くの世界の国々ではそうではない。塩素フリーのパルプの供給は需要を上回っている。

神話 14: 塩素は悪である

しばしばこの主題の議論に於いて、塩素は悪であるとする感情がある。さらに、塩素を用いている人々は邪悪であり、彼らは環境と人間の健康への安全性を無視しているとする感情がある。これらの感情が、以下のように考える善良な人々が議論にはいることを困難にしている。それは、塩素は我々の社会に於いて価値があり、塩素は我々の社会では善の物質であると信じている人々である。これは不幸なことである。なぜなら、その専門知識のある人々がそうしたがることを意味するからである。

また、塩素を用いない人々は善であり、愛他的で、商業的な利得以上であるとする感情がある。塩素についての混乱の多くは、消費者の恐れを利用しようと求め、かつ、塩素恐怖症を利用しようとする個人や企業により進められてきた。

これらの神話が我々の社会に存在することは不幸である。我々がこれらの神話を認識し、それらを打ち破れないならば、恐怖と偏見により支配される危険に陥る。環境省が AOX 規制の制定にあたり、この神話に

導かれているように見えるのは特に残念である。

環境化学者で、化学物質の環境中での命運の分野で国際的な指導者として認められている人が、AOX の禁止について以下のように述べている。彼はオンタリオ環境省と IJC の前のアドバイザーでもある。“しかし、1992 年において、目標として零を要求する必要はなく、又、ひどい経済的な混乱を招く必要もない。それらは、すべての塩素を含む化学物質は悪であるとする誤った単純な確信を満足するためだけであるから” (Mackay, 1992)。

5. 提 言

(1) AOX の放出を零に減少する法規制は、その環境に与える影響を評価するために、科学者のパネルにより再調査されるべきである。そのパネルはただちに作られるべきで、2 年毎にその分析を新しくすべきである。

(2) 現在、進行中の調査研究プログラムは、全ての紙パルプ工場やパルプ漂白プロセスの排水の環境における命運とその影響に関する情報をさらに集め、そして科学的理解をより完全にするために行われるべきである。これには塩素や塩素化合物を用いるプロセスのみならず全てのものを含めるべきである。

(3) AOX の放出に関する紙パルプ排水規制の提案は、いかなるものでもその経済的な影響が査定されるべきで、経済的に達成できる技術がすべての規制の基本となるべきである。

(4) 提案されている AOX の放出を零にする規制は中止されるべきであり、その環境及び経済に与える影響を再調査したのちに再検討すべきである。

文 献

- Asplund, G., Grimvall, A. 1991. Environ. Sci. Technol. 25, 1346-1350.
- Carey, J. H., Hodson, P. V., Munkittrick, K. R. and Servos, M. R. 1993. Recent Canadian Studies on the Physiological Effects of Pulp Mill Effluent on Fish. Environment Canada and Fisheries and Oceans.
- Environment Canada. 1987. Aquatic Toxicity of Pulp and Paper Mill Effluent: A Review. Report EPS 4/PF/1.
- Environment Canada 1991. Canadian Environmental Protection Act. Priority Substances List Assessment Report No 2. Effluents from Pulp Mills Using Bleaching.

- Environment Canada. 1991. Toxic Chemicals in the Great Lakes and Associated Effects. Synopsis. Environment Canada, Department of Fisheries and Oceans and Health and Welfare Canada.
- Gribble, G. W. 1992. Naturally Occurring Organohalogen Compounds-A Survey. *Journal of Natural Products*. Vol. 55. No. 10, 1353-1395.
- International Joint Commission, 1992. Sixth Biennial Report on Great Lakes Water Quality. International Joint Commission Ottawa and Washington.
- Kringstad, K. P. and Lindström, K. 1984. Spent liquors from pulp bleaching. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 18, No. 8, 236A-248A.
- Lehtinen, K. -J. 1992. Environmental effects of chlorine bleaching-Facts neglected? *Paperi ja Puu-Paper and Timber*, Vol. 74, No. 9, 715-719.
- Lindström, K. and Österberg, F. 1984. Characterization of the High Molecular Mass Chlorinated Matter in Spent Bleach Liquors (SBL) Part I. Alkaline SBL. *Holzforschung* 38 : 201-212.
- Mackay, Don. 1992. Is chlorine really the evil element? *Env. Sci. & Eng.* Nov. 1992, pp. 49-51.
- Mehrle, P. M., Dickson, K., Hartung, R., Huggett, R., McLeavy, D., Oikari, A. and Sprague, J. August 11, 1989. Pulping Effluents in the Aquatic Environment. A Report prepared by the Scientific Panel on Pulping Effluents in the Aquatic Environment for the Procter and Gamble Company, Cincinnati, Ohio.
- O'Connor, B. I., Kovacs, T. G., Voss, R. H and Martel, P. H. 1993. A Study of the Relationship Between Laboratory Bioassay Response and AOX Content for Pulp Mill Effluents. *Journal of Pulp and Paper Science* : Vol. 19 No. 1, J33-J39.
- Ontario 1993a. News release. Comprehensive Clean Water Regulation for Ontario's Pulp and Paper Industry. Ministry of the Environment. February 2, 1993.
- Ontario 1993b. Draft Development Document for the Pulp and Paper Sector-Effluent Limits Regulation. Report prepared by : Water Resources Branch Ontario Ministry of the Environment. February 1993. ISBN 0-7778-0837-4.
- Ontario 1993c. Clean Water Regulation : Pulp & Paper Sector. Ministry of the Environment PIBS 2264E.
- Österberg, F. and Lindström, K. 1985. Characterization of the High Molecular Mass Chlorinated Matter in Spent Bleach Liquors (SBL) Part II. Acidic SBL. *Holzforschung* 39 : 149-158.
- Owens, J. W. 1991. The Hazard Assessment of Pulp and Paper Effluents in the Aquatic Environment : A Review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 10, pp. 1511-1540.
- Pryke, D. C., Bourree, G. R., Winter, P. and Mickowski, C. 1993. The Impact of Chlorine Dioxide Delignification on Pulp Manufacturing and Effluent Characteristics at Grande Prairie, Alberta. 1993 Non Chlorine Bleaching Conference, Hilton Head, South Carolina, March 15-18, 1993.
- Södergern, A. 1989. Biological Effects of Bleached Pulp Mill Effluents. National Swedish Environmental Protection Board Report 3558.
- Wilson, R., Swaney, J., Pryke, D. C., Luthe, C. E. and O'Connor, B. I. 1992. Mill experience with chlorine dioxide delignification. *Pulp & Paper Canada* 93 : 10, 35-43.
- Yan, G. P. Y. 1992. The Role of Biosorption in Removing High Molecular Weight Organochlorines in Bleached Kraft Pulp Mill Effluents. M.A.Sc. Thesis. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto.